Didactisation de pratiques de savoir scientifiques, transactions avec des publics scolaires et non scolaires. Des scientifiques, de leur laboratoire à la Fête de la science

Catherine Goujon

▶ **To cite this version:**

Catherine Goujon. Didactisation de pratiques de savoir scientifiques, transactions avec des publics scolaires et non scolaires. Des scientifiques, de leur laboratoire à la Fête de la science . Education. Université Bretagne Loire; Université de Bretagne Occidentale (UBO), 2016. Français. NNT : . tel-01692314

HAL Id: tel-01692314
https://hal.science/tel-01692314

Submitted on 25 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UBO
université de bretagne occidentale

UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE
sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne

pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE
en Sciences de l'éducation

École Doctorale
Sciences humaines et sociales
(ED 507 SHS)

présentée par

Catherine Goujon

Préparée au Centre de recherche sur l'éducation, les apprentissages et la didactique.

CREAD EA 3875

Didactisation de pratiques de savoir scientifiques, transactions avec des publics scolaires et non scolaires

Des scientifiques, de leur laboratoire à la Fête de la science

Thèse soutenue le 6 décembre 2016
devant le jury composé de :

Joël LEBEAUME
Professeur des Universités, Université Paris-Descartes
Rapporteur

Andrée TIBERGHIEN
Directrice de Recherche CNRS émérite, UMR ICAR (5191)
Rapportrice

Maria Pilar JIMENEZ ALEIXANDRE
Professeur des Universités, Universidade de Santiago de Compostela
Membre de jury

Gérard SENSEVY
Professeur des Universités, ESPE de Bretagne, Rennes
Membre de jury

André TRICOT
Professeur des Universités, ESPE Midi-Pyrénées, Toulouse
Membre de jury

Jean-Marie BOILEVIN
Professeur des Universités, ESPE de Bretagne, Rennes
Co-directeur

Ghislaine GUEUDET
Professeure des Universités, ESPE de Bretagne, Rennes
Co-directrice

Remerciements

Je remercie tous ceux sans qui ces pages n'auraient pas vu le jour. Mes parents, bien sûr, qui m'ont appris la curiosité, l'envie d'apprendre et le goût du dessin. Un grand merci à toute ma famille et à mes amis pour leur patience.

Merci à mon employeur, l'UBO, et à la direction de l'IUFM puis de l'ESPÉ de Bretagne. Vous m'avez fait confiance en m'accordant du temps pour me consacrer à ce travail. Il me permet aujourd'hui d'aborder la formation sous un angle nouveau.

Merci à tous mes collègues pour leur compréhension, leur soutien, les échanges constructifs et les moments sympas que nous partageons.

Merci à ma directrice de thèse, Ghislaine Gueudet, à mon directeur de thèse, Jean-Marie Boilevin, et à Gérard Sensevy. Vous m'avez fait grandir. Merci à Alain Jameau pour ses précieux conseils. Je n'oublie pas le collectif de pensée du *Séminaire action*, une institution (Douglas, 1999) de l'IUFM puis de l'Espé de Bretagne, tous les enseignants chercheurs et les doctorants qui m'ont accompagnée ainsi que mes chers collègues du CREAD, Jean-No et Marion.

Merci aux institutions et aux personnes que j'ai directement impliquées dans cette étude : L'Antenne Inserm Jeunes et M. Guillou ; le BRGM, avec Flora et Bruno ; l'Espace des sciences, avec Danièle ; l'IPR, avec Alain, Antoine, Lucie, Mickaël, Thao et les enseignants-chercheurs qui m'ont accueillie ; l'OSUR, avec Alain-Hervé et Virginie ; les classes, avec Estelle, ses élèves, et les anonymes.

Je remercie Maria Pilar Jimenez Aleixandre, Joël Lebeaume, Gérard Sensevy, Andrée Tiberghien, et André Tricot qui me font l'honneur de participer au jury.

Résumé

Que savons-nous de la didactisation des pratiques de savoir scientifiques dans le contexte d'un événement public comme la Fête de la science ? Notre recherche étudie ces questions ; nous avons retenu comme terrain d'enquête trois stands d'un village des sciences, à propos des os et articulations, des eaux souterraines et du sable. Les ateliers sont menés par des scientifiques ; le public sur lequel nous enquêtons est scolaire ou non scolaire. Nous menons nos enquêtes auprès des chercheurs dans leur laboratoire pendant la préparation de l'événement, mais aussi dans leur activité ordinaire. Nous suivons une classe d'école élémentaire avant, pendant et après l'événement.
Nos cadres théoriques sont la théorie de l'action conjointe en didactique, et l'approche documentaire. Notre méthode qualitative est basée sur des études de cas et s'appuie sur des films d'étude. Nous développons une méthodologie adaptée à cette recherche, sur la base de traitements d'images et de curation des données. Nous donnons à voir nos descriptions, nos analyses et nos résultats avec des systèmes hybrides texte-image-son.
Nous proposons une typologie des transactions didactiques en situation de travail conjoint de plusieurs professeurs avec le même groupe d'élèves. Dans ce cadre spécifique, nous contribuons à la modélisation de certaines notions clés : le triplet des genèses (topogenèse, mésogenèse et chronogenèse), les transactions didactiques, les sémioses.
Notre recherche met en évidence que l'activité de didactisation des pratiques scientifiques est contiguë et parallèle à leur production. Elle est nécessaire au sein même des laboratoires et s'ajuste aux publics. L'activité de didactisation sur les stands prend en compte toute pratique de savoir. Elle vise à replacer dans leur contexte les pratiques incompatibles avec les pratiques scientifiques. Elle prend en compte les pratiques de savoir compatibles avec les pratiques scientifiques, et amène le public à voir les thématiques abordées comme les scientifiques les voient. Les artefacts utilisés par les « chercheurs-médiateurs » sont ainsi conçus pour donner à voir des phénomènes ciblés. Ils sont combinés entre eux et associés à d'autres ressources matérielles et symboliques, sémiotiques et proxémiques.
Le travail empirique a été conduit dans un contexte spécifique et sur un public particulier. Nos résultats doivent être mis à l'épreuve dans d'autres situations. Les ressources méthodologiques et technologiques demandent à être développées, testées et intégrées dans le système de ressources d'autres chercheurs.

Mots clés :
Approche Documentaire, culture scientifique, curation, enseignement des sciences, ressources, systèmes hybrides texte-image-son (SHTIS), Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (TACD)

Abstract

What do we know about scientific knowledge practices in the specific context of the French event « Festival of science »? The research studies this question. We have chosen to investigate three stands in a "Life sciences village" about bones and articulations, underground water and sand. Activities are being carried out by scientists; the public can come from schools, but can also be a general public. We investigate in the scientists preparation of the event in their laboratory, and we look at their ordinary activity too. We observe students of an elementary school before, during and after the event.
We refer to the theoretical frameworks of the Joint Action Theory in Didactics, and the Documentational Approach. Our qualitative method is based on case studies. The central data we analyze are videos shot during the investigations. We develop a suitable methodology for this research, based on image processing and digital data curation. We provide descriptions, analysis and results with text-picture-sound hybrid systems.
We map out a typology of didactic transactions in the case of joint work of teachers with the same group of students. In this specific framework, we contribute to model concepts as: the genesis triplets (topo genesis, meso genesis and chrono genesis), the didactic transactions, the semiosis process.
The research highlights that the activity of didactisation of scientific practices is contiguous with and parallel to its production. It is necessary within research labs themselves and has to adjust to the public. In the stands all knowledge practices are studied: some knowledge practices, inconsistent with scientific knowledge, are replaced in their original context. The activity of didactisation associates knowledge practices (consistent with scientific knowledge) with this scientific knowledge. Its aim is to bring the views of the public closer from those of the scientists. Researchers communicate their scientific activity to a public of non-specialists with artifacts which evidence phenomena. These artefacts are linked and associated with other material and symbolic, semiotic and proxemic, resources.
The empiric work had been done in a specific context and with a particular public. These results now need to be implemented in other situations. Methodological and technological resources must be further developed and tested in other research.

Keywords:
digital curation, Documentational Approach, Joint Action Theory for Didactics (JATD), resources, science education, science teaching, text-picture-sound hybrid systems

Tu crois que ton panier est plein lorsque tu l'as rempli avec des oranges.

En réalité, il est plein de vide, car tu peux encore y mettre des noix,

puis des pois chiches.

Maxime arabe

SOMMAIRE

Introduction.....11

PARTIE 1 : Contextes.....13

Chapitre 1 - Le Village des sciences et son contexte institutionnel.....15

Chapitre 2 - Contexte scientifique et axes de la problématique.....25

PARTIE 2 : Principes directeurs et questions de recherche.....37

Chapitre 3 - Cadre théorique et positionnement scientifique.....39

Chapitre 4 - Questions de recherche.....49

Chapitre 5 - Méthodologie : des études de cas.....53

PARTIE 3 : Enquêtes et analyses – Les stands et leur institution 93

Chapitre 6 - Os et articulations.....95

Chapitre 7 - L'eau du robinet, ça coule de source ?.....163

Chapitre 8 - Le sable dans tous ses états.....225

PARTIE 4 : Synthèse et perspectives.....359

Chapitre 9 - Synthèse des résultats.....361

Chapitre 10 - Perspectives.....389

Références bibliographiques.....393

Abréviations utilisées.....407

Tables des illustrations.....411

Table des matières.....419

Annexes.....429

Introduction

Nous abordons cette thèse à la suite d'une première étude sur l'action des professeurs dans un travail conjoint entre un médiateur scientifique, une professeure des écoles et ses élèves[1]. Notre questionnement initial était celui de la répartition des rôles quand deux adultes ont en charge le même groupe d'élèves, lors de leur participation à un atelier au village des sciences[2]. Nous avions alors commencé à établir, à partir de nos observations, une typologie des modalités d'intervention du médiateur et de la professeure.

Une spécificité du terrain sur lequel nous enquêtions était la très courte durée des ateliers, et, donc, la brève rencontre entre un groupe classe et un « médiateur » (trente minutes). Nous avions observé l'adhésion des élèves à l'objet abordé et leur participation aux échanges. Les élèves et leur professeure avaient découvert un nouvel environnement et rapidement adopté une partie des ressources proposées par le médiateur. Or, le thème de l'atelier était orienté vers les maladies osseuses et les fractures, en marge des programmes scolaires.

Notre projet, à l'issue de l'étude de cette première situation, est de poursuivre son analyse. En effet, nous n'avons pas exploité toutes nos données. Par ailleurs, nous avons l'intention de trouver des terrains analogues pour faire d'autres études de cas et compléter nos premiers résultats.

Cette expérience de recherche a aussi fait émerger de nouvelles problématiques que nous proposons d'aborder dans cette thèse. L'enseignement des sciences à l'école et la diffusion d'une culture scientifique lors d'événements comme la « Fête de la science » restent au cœur de nos préoccupations. Mieux appréhender la production et la transformation de savoirs scientifiques pour un public de non-connaisseurs nous parait accessible en conservant le

1 Goujon, C. (2013). *Action des professeurs dans un travail conjoint entre un médiateur scientifique, une professeure des écoles et ses élèves de CE2. Sortie scolaire au Festival des sciences. Visite d'un stand Os et articulations* (Mémoire de Master). Rennes 2, Rennes.

2 Événement annuel où des scientifiques partagent leur objet de recherche avec un public de non-connaisseurs. Nous le décrivons plus en détail dans notre contexte d'étude.

même contexte d'étude. Le choix des « chercheurs-médiateurs » sur lesquels nous portons notre attention devient alors un enjeu : il s'agit de prendre contact avec une équipe de chercheurs inscrite au village des sciences, et d'entrer dans son laboratoire pour y observer les pratiques effectives de recherche. Ceci pourrait permettre de préciser les bases à partir desquelles les scientifiques transposent leurs pratiques de laboratoire et leurs résultats de recherche pour le grand public et pour les groupes scolaires.

Dans ce volume, nous présentons notre travail en quatre parties, chacune étant composée de différents chapitres.

- Le contexte de nos enquêtes et l'environnement scientifique de notre problématique se situent dans la partie 1 « Contextes » (p. 13).
- Nos choix théoriques pour formuler nos questions de recherche et instrumenter notre méthodologie sont dans la partie 2 (p. 37), des « Principes directeurs et questions de recherche ».
- Dans la partie 3 (p. 93), le lecteur trouvera nos études de cas, « Enquêtes et analyses – Les stands et leur institution ».
- La partie 4 (p. 359), « Synthèse et perspectives », rassemble les principaux résultats de notre étude ; nous y présentons des perspectives d'approfondissements, des fils à dénouer et des pistes à explorer.

Dans un second volume, se trouvent des documents annexes. Ils sont composés d'exemples de données intermédiaires outils du chercheur, et de données illustrant les trois études de cas.

PARTIE 1 : CONTEXTES

Où nous parlons des contextes

Chapitre 1 - Le Village des sciences et son contexte institutionnel.....15

1.1 Un événement ponctuel mais durable.....16
1.2 À la croisée de plusieurs institutions.....17
1.3 Préparation et mise en œuvre annuelle.....19
1.4 Le village des sciences, un événement sur fond de partenariat.....22
1.5 Médiateurs, scientifiques ou professeurs.....23

Chapitre 2 - Contexte scientifique et axes de la problématique.....25

2.1 Émergence de problématiques dans les sphères de recherche et leurs limites.....25
2.2 À grands traits, notre paysage de références scientifiques.....35

Chapitre 1 - Le Village des sciences et son contexte institutionnel

La *Fête de la science* d'abord nommée « Sciences en fête », est créée en 1991. Elle est pilotée par le ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, pour favoriser les échanges entre la communauté scientifique et le « *grand public*[3] ».

Le *village des sciences* accueille des animations scientifiques pendant trois jours dans une commune de la métropole. Il est conçu comme la rencontre entre des scientifiques et le « grand public », pour une meilleure connaissance de l'activité des chercheurs et pour le partage d'une culture scientifique. Les exposants accueillent les visiteurs et présentent l'objet de leurs travaux dans des stands. L'accès à ces stands est réservé aux groupes scolaires le vendredi, et gratuitement ouverts au « grand public » le samedi et le dimanche.

Culture

A Betton, un village pour fêter la science

11/10/2013 - Mis à jour le vendredi 11 octobre 2013

LE FESTIVAL DES SCIENCES DE RENNES MÉTROPOLE S'INSTALLE À BETTON CE WEEK-END POUR METTRE LA CONNAISSANCE À LA PORTÉE DE TOUS. DÈS VENDREDI, LES SCOLAIRES SONT VENUS, ACCOMPAGNÉS DE LEURS PROFESSEURS.

Les enfants sont toujours curieux de découvrir la science. Photos Franck Hamon

Pas de tableau noir ni d'estrade. Mais que de bavardages ! Au Village des sciences, les bancs de l'école semblent loin. Bizarrement, les enfants n'en sont que plus curieux. Ce vendredi, pas moins de 1600 élèves de l'agglomération rennaise ont défilé devant les stands du quartier général du Festival des sciences de Rennes Métropole, aménagé dans la bruyante fourmilière… pardon… la salle des fêtes de Betton.

Illustration 1: Extrait d'un article paru dans la rubrique d'actualité culturelle du site de Rennes Métropole (Brovelli, 2013)

3 *« Grand public »* est l'expression consacrée pour désigner un public visé par la médiatisation très large (presse écrite, mais aussi radio, affiches, réseaux sociaux…) d'un événement souvent ritualisé, et organisé sur un lieu non dédié à ce type d'activité culturelle (gymnase, place publique…). Le public touché et présent est très hétérogène, et se différencie des publics extérieurs ciblés (les scolaires ou les familles, par exemple) et des publics internes (spécialistes réunis en séminaires par exemple).

En 2012 et 2013, les années où nos recueils de données sont réalisés, elle est confiée à la délégation régionale à la recherche et à la technologie (DRRT[4]) de Bretagne, mais coordonnée et organisée par le centre culturel scientifique, technique et industriel de Rennes Métropole, l'Espace des sciences. Organisé dans un espace public et libre d'accès, le *village des sciences* est une des actions réalisées localement dans le cadre de cet événement annuel.

Nos études de cas concernent trois stands. Nous filmons un premier stand lors de l'édition 2012, « Os et articulations » de l'Antenne Jeune locale de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). Nous renouvelons un recueil de données en 2013 sur deux stands. « L'eau du robinet, ça coule de source ? », est tenu conjointement par deux institutions, une unité de formation et de recherche, composante de l'université, l'Observatoire des sciences de l'univers de Rennes, et un établissement public de recherche, le Bureau de Recherche Géologique Minière de Bretagne. « Le sable dans tous ses états » est présenté par le département « Milieux divisés » de l'Institut de physique de Rennes. Nous abordons les contenus de ces ateliers dans la partie 3 de cette thèse.

Nous développons ici cinq aspects particuliers du *village des sciences*. L'événement est ponctuel (trois jours), mais il est renouvelé chaque année depuis 1991 (1.1, p. 16). Il mobilise trois grands types d'institutions (1.2, p. 17). Ces deux particularités lui confèrent une organisation et une mise en œuvre contraintes (1.3, p. 19). Nous évoquons les relations partenariales (1.4, p. 22) et, en fin de chapitre, le nommage des acteurs (1.5, p. 23).

1.1 Un événement ponctuel mais durable

Depuis 2006, pendant deux semaines à l'automne, Rennes Métropole impulse un événement scientifique de grande ampleur sur son territoire : le *Festival des sciences* (Illustration 1, p.15). Il vise à faire connaître au « grand public » les travaux des laboratoires de recherche et autres projets scientifiques innovants locaux. Issus de grandes écoles, de laboratoires de recherche, d'entreprises, de collectivités territoriales ou d'associations, des collectifs conçoivent, proposent et mettent en œuvre différents projets d'animations. Cet événement est articulé à la Fête de la science nationale.

Pendant trois jours, chaque année, le village des sciences est un moment fort du Festival des sciences. Il était déjà un événement phare de la Fête de la science avant 2006.

4 Toutes les abréviations sont listées, par ordre alphabétique, dans la Tables des illustrations (p.405). Les abréviations institutionnelles ou partagées sont en caractère normal et *les abréviations de l'auteure sont* en caractère italique.

En 2013, il est l'événement du Festival des sciences (parmi les 7 formes d'activités programmées[5]) qui propose le plus d'animations (56 stands sur 262 animations) et qui draine le plus de public (9000 sur 24581 personnes). En 2013[6], dans la salle des fêtes de la commune d'accueil, 56 stands (dont 49 pour les scolaires) sont installés sur une surface de 1400 m². L'organisateur (Espace des sciences, 2014) estime à 9000 visiteurs la fréquentation du village, dont 1610 élèves (869 primaires, 586 collégiens, 135 lycéens, 20 BTS)[7].

1.2 À la croisée de plusieurs institutions

Le VDS est organisé, coordonné et mis en œuvre par l'Espace des sciences, le centre culturel scientifique, technique et industriel (CCSTI) de Rennes Métropole, sous l'égide du DRRT. Dans son cahier des charges, lié, d'une part, à la mission qui lui est assignée par le ministère, et, d'autre part, au contrat avec la collectivité territoriale, l'organisateur doit permettre une représentativité des laboratoires de recherche, mais aussi des universités et des grandes écoles, ainsi que des entreprises innovantes et des associations de culture scientifique. Notre étude concerne des projets issus de laboratoires de recherche.

Avec Douglas, nous entendons *institution* au sens de *« groupement social légitimé »* (1999, p. 66) qui façonne les actes et les pensées de ses membres[8]. Celles que nous étudions sont principalement de trois types, représentées par trois sphères sur notre schéma (Illustration 2, p. 18) : l'institution scolaire dont sont issus les groupes scolaires observés ; l'institution muséale, dont une équipe est missionnée pour organiser et coordonner l'événement ; l'institution scientifique, représentée lors des réunions de préparation, par un porteur de projet, et par un collectif qui accueille le public sur les stands.

5 Rencontres/conférences (39), expositions (15), visites et portes ouvertes (43), films (15), spectacles (3), village des sciences (56), autres animations (42) (Espace des sciences, 2014)
6 Notre recueil de données principal a été effectué lors de l'édition de 2013.
7 Soient 36 classes de l'école élémentaire, 24 classes de collège, 4 classes de lycée, et 1 classe de BTS.
8 *« L'institution en question peut être une famille, un jeu ou une cérémonie ; l'autorité légitimante peut venir d'une personne – un père, un docteur, un juge, un arbitre ou un maître d'hôtel – ou bien, de façon plus diffuse, se baser sur un consensus ou sur un principe fondateur général. »* (Douglas, 1999, p. 66)

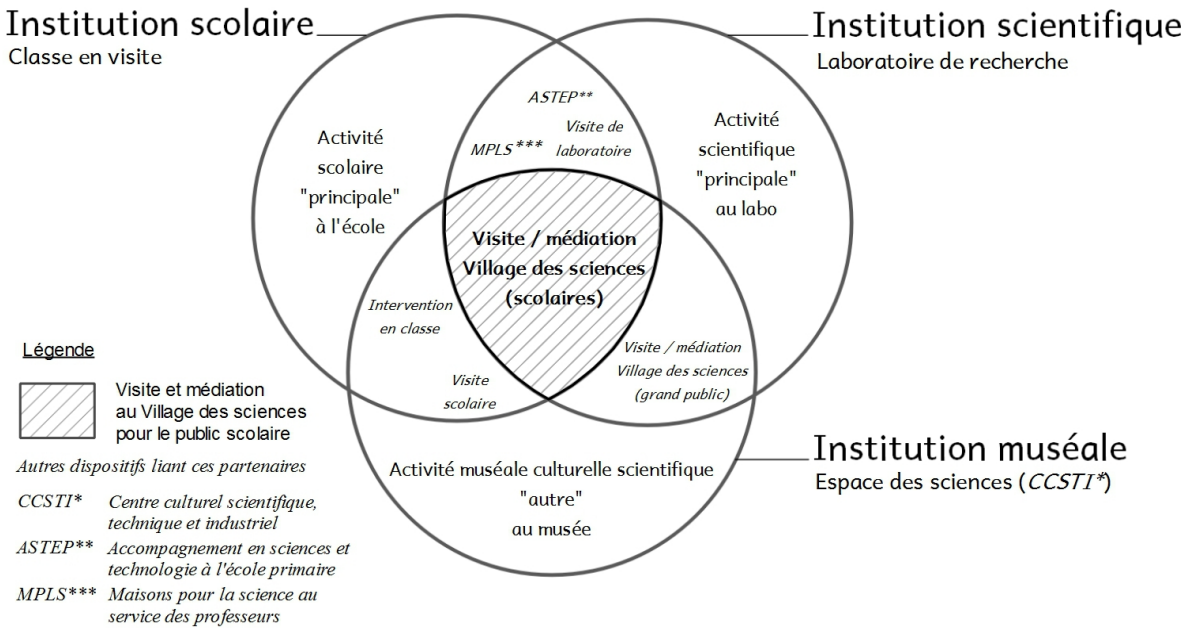


Illustration 2: Contexte partenarial du Village des sciences sur un territoire, et autres dispositifs apparentés

Ces institutions existent sur un territoire : Rennes Métropole finance en partie l'événement et délimite administrativement et géographiquement le réseau partenarial, et une commune accueille le village. Ces partenaires territoriaux sont essentiels à l'impulsion, à l'organisation, à la communication et à la mise en œuvre de l'événement qui vise explicitement la population locale.

Les trois sphères ont leur activité propre en dehors des deux autres, mais des conventions entre les institutions permettent une organisation aisée et anticipée d'événements ou de projets communs.

À l'intersection des trois sphères se trouve le village des sciences tel qu'il est organisé le vendredi, pour les groupes scolaires. À cette échelle, sur chaque stand, des scientifiques prennent en charge une demi-classe sous la responsabilité d'au moins un adulte de l'institution scolaire, PE ou parent d'élève. La rencontre est ponctuelle (entre 30 et 45 minutes), coordonnée et légitimée par des animateurs de l'Espace des sciences. Chaque stand peut être vu comme une mini institution, une structure fonctionnelle qui permet un jeu didactique.

À l'intersection des sphères des institutions scientifiques et muséales, se trouve le Village des sciences tel qu'il est organisé le samedi et le dimanche, pour le « grand public ». Nous y

trouvons aussi d'autres actions communes aux chercheurs et à l'équipe de l'Espace des sciences : la création d'expositions, de conférences ou la rédaction d'articles de culture scientifique, par exemple. Le « *grand public* » est la partie de la population qui se déplace au village des sciences à la rencontre des chercheurs.

Nous évoquons dans notre étude, à l'intersection des sphères Laboratoire et École, le dispositif d'Accompagnement en Science et Technologie à l'École Primaire (ASTEP), les Maisons pour la science au service des professeurs (MPLS) et les visites de laboratoires par des classes.

Pour compléter la description, à l'intersection des sphères École et Musée, se trouve la visite de classes au musée, ou l'intervention, dans les classes, de « médiateurs[9] » du musée.

1.3 Préparation et mise en œuvre annuelle

Un travail de chaque institution existe en dehors du temps événementiel, mais à des moments différents. La temporalité est planifiée par l'organisateur, mais assujettie au calendrier national de la Fête de la science.

Le rétroplanning (annexe 4) orchestré par l'Espace des sciences présente un échéancier des étapes du montage du festival (dont le village) avec les tâches de chacun. La date de la Fête de la science nationale contraint les échéances et les délais. Au Village des sciences, la présence des visiteurs et des exposants relève plutôt d'une activité exceptionnelle (Illustration 2, p.18), même si des habitudes sont prises d'une année sur l'autre. En revanche, l'organisation d'événements culturels en partenariat avec l'institution scolaire et les institutions scientifiques, industrielles et culturelles fait partie de l'activité principale du CCSTI. Le rétroplanning est proposé dès la première réunion de travail, environ huit mois avant l'événement (nous adoptons l'écriture « M – 8 »).

Les porteurs de projets, en fonction de l'engagement des membres de leur institution, participent à la réunion d'organisation de l'événement (Illustration 3, p. 20)[10]. Ils annoncent alors leur candidature pour animer un stand, et les grandes lignes de leur projet. Quelquefois, plusieurs institutions s'associent pour animer le même stand. Le Village des sciences semble

9 Le terme « médiateur » fait référence ici au métier de *médiateur* culturel.

10 La légende du schéma mentionne le concept de *jeu d'apprentissage* que nous définissons dans la partie théorique de notre travail. Ce jeu permet à chaque participant des réunions de préparation d'informer, de s'informer et de s'ajuster aux propositions d'autrui. L'ensemble des jeux des participants est appelé *transaction*.

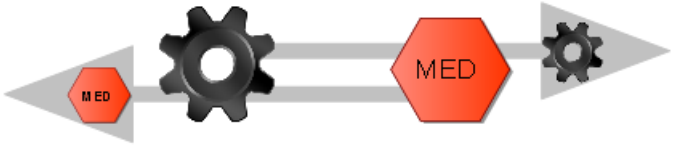
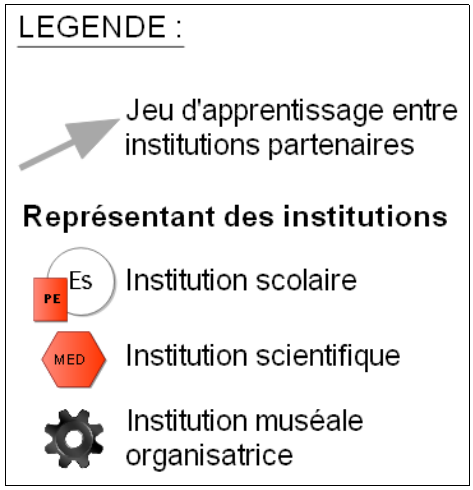


Illustration 3: Transaction préparatoire entre les institutions scientifiques et l'institution organisatrice (M – 8 à M – 3)



pouvoir créer des rencontres entre laboratoires et aboutir à des partenariats scientifiques.

Les thèmes proposés dépendent du champ de compétence de l'institution scientifique d'origine. Au niveau national, la Fête de la Science n'a plus de thème spécifique et le ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche souhaite que toutes les sciences puissent être abordées. Cependant, les intervenants sont attentifs, quand cela est possible, à respecter une des thématiques de l'Année internationale proclamées par l'UNESCO (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture ; en anglais, *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization).* À sa création, en 1946, l'objectif de l'Organisation était de

> *"contribuer au maintien de la paix et de la sécurité en resserrant, par l'éducation, la science et la culture, la collaboration entre nations, afin d'assurer le respect universel de la justice, de la loi, des droits de l'homme et des libertés fondamentales pour tous, sans distinction de race, de sexe, de langue ou de religion, que la Charte des Nations Unies reconnaît à tous les peuples." (« Archives de l'UNESCO », 2010)*

Aujourd'hui, elle est, entre autres, un *« centre d'échange pour diffuser et mettre en commun les informations et connaissances, tout en aidant ses États membres à renforcer leurs capacités humaines et institutionnelles dans divers domaines » (ibid.) :* culture, éducation, sciences naturelles, sciences sociales et humaines et communication et information. Ainsi, 2008 est l'Année internationale de la planète Terre, et 2013, l'Année internationale de la coopération dans le domaine de l'eau. Ces événements sont l'occasion, pour deux institutions sur lesquelles nous enquêtons, de sensibiliser le public à l'exploitation et à la pollution des eaux souterraines.

Quand les exposants proposent un projet de stand, ils rédigent un titre et un petit texte qui apparaîtront dans le programme du village des sciences (entre M – 6 pour le premier jet, et M – 3 pour le programme définitif). Plusieurs rubriques leur permettent de préciser leurs intentions. Le contenu du stand doit alors être anticipé. Il est souvent exprimé par une thématique générale et un titre « accrocheur ». Les exposants doivent annoncer s'ils

participent à l'accueil des scolaires, le vendredi, et à l'accueil du « grand public » le samedi et le dimanche. Le vendredi, le déplacement des groupes (horaires et stands visités) est programmé. Le samedi et le dimanche, l'entrée du village est libre, et le public se déplace à sa guise.

S'ils participent à la journée pour les scolaires, ils déclarent les niveaux de classe auxquels ils pensent s'adresser (à partir du CP). La correspondance avec les programmes scolaires n'est pas recherchée. La conseillère-relais[11] de l'Éducation Nationale à l'Espace des sciences propose son aide aux chercheurs pour évaluer le niveau scolaire de leur intervention, mais elle est peu sollicitée. Ou bien les chercheurs sont déjà intervenus auprès d'un public scolaire et ont acquis une expérience qui leur permet de cibler un niveau. Ou bien ils acceptent un large public s'ils se sentent en capacité d'intéresser tout visiteur, et de s'y adapter.

Quand le porteur de projet rédige le titre et le résumé de l'action, le contenu précis du stand n'est pas encore défini. Souvent, les équipes de chercheurs le mettent au point quelques semaines avant l'événement. Certains exposants ne peuvent quelquefois stabiliser leur intervention (ressources matérielles ou humaines) que quelques jours avant.

Chaque année, l'Espace des sciences fait produire, en amont de l'événement, des capsules vidéos de trois minutes sur des contenus de stand, dans une collection *Les expériences des scientifiques,* produite par *Les Films de L'autre Côté*[12]. En 2013, l'OSUR a l'occasion de présenter une des maquettes du stand que nous étudions (Espace des sciences, 2013c). Les vidéos sont dévoilées au Studio Village du village des sciences (annexe 23), en alternance d'interviews de scientifiques, en direct. Ainsi, en marge de sa médiation sur le stand que nous étudions, Bruno du BRGM (annexe 24), répond-il aux questions du journaliste scientifique de l'Espace des sciences (Espace des sciences, 2013b). Ces vidéos de l'Espace des sciences, hébergées par YouTube, sont ensuite accessibles sur internet.

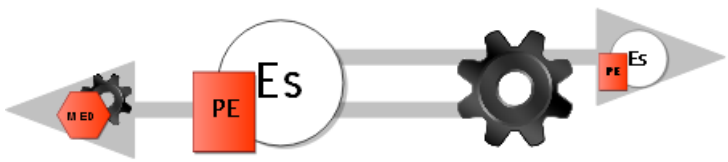


Illustration 4: Transaction préparatoire entre l'institution organisatrice et les institutions scolaires (M – 3 à M – 1)

11 *« Depuis septembre 2007, une convention établie entre Rennes Métropole et le Rectorat de l'Académie de Rennes permet la mise à disposition d'enseignants du 1er et du 2nd degré à l'Espace des sciences. Ces enseignants conseillers-relais assurent la liaison entre les établissements scolaires et l'offre pédagogique de l'Espace des sciences. »* (Espace des sciences, 2012, p. 71)

12 http://www.delautrecote.fr/

Les professeurs reçoivent le programme de la FDS par voie hiérarchique ou bien en ont connaissance par divers médias dès la publication du programme (Illustration 4, p. 21). Certains guettent l'événement. Ils inscrivent leur classe auprès de l'EDS (M – 1 à J – 15), en exprimant des vœux prioritaires de stands. Les choix sont orientés par les informations fournies : la tranche d'âge à laquelle s'adresse l'atelier, et son thème général.

L'Espace des sciences (EDS) satisfait au moins un des vœux formulés. Les demandes sont intégrées dans un planning de visites contractuel entre l'EDS, les exposants et les groupes scolaires.

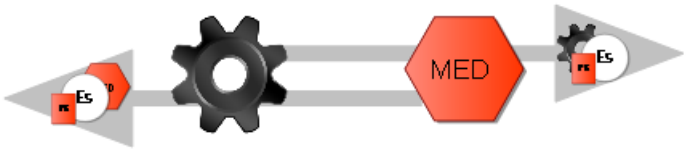


Illustration 5: Transaction préparatoire entre l'institution organisatrice et les institutions scientifiques (J – 15 à J)

Les chercheurs reçoivent le planning des visites de leur stand (annexe 27) avec le niveau des classes qui ont réservé un créneau, environ deux semaines avant le jour J (Illustration 5, p. 22). Chaque classe a son planning, et, le plus souvent, les plannings des deux sous-groupes qui la composent. Un exemple de planning de classe se trouve en annexe 28.

1.4 Le village des sciences, un événement sur fond de partenariat

Les trois institutions, au niveau régional, sont engagés dans des partenariats. *« Le minimum de définition du partenariat comprend l'engagement dans une action commune négociée » (Bautier, Gonnin-Bolo, & Zay, 2002)*.

L'organisateur est une structure de médiation culturelle professionnelle. Dans le service de l'Espace des sciences qui met en œuvre l'événement, la notion de partenariat est endogène au fonctionnement habituel : la délégation académique aux arts et à la culture[13], les collectivités territoriales, les grandes écoles, les universités et les laboratoires de recherche sont des *partenaires* avec lesquels il travaille fréquemment. Il s'agit de partenariats réguliers, d'une part, antérieurs à la mise en œuvre de ce village des sciences, et qui se manifestent, d'autre part, pour d'autres événements ou situations. En 2013, 68 institutions (universités, associations, entreprises, etc.) sont citées comme partenaires de l'Espace des sciences (EDS) pour faire fonctionner la Fête de la science et son village, sans compter les partenaires

13 La délégation académique aux arts et à la culture (DAAC) dépend du rectorat.

territoriaux qui accueillent les événements.

D'après une étude[14] élémentaire des discours des acteurs du village des sciences (document de travail en annexe 6), il nous semble que la notion de *partenaire* n'est pas présente à toutes les échelles des institutions représentées lors de l'événement.

Les exposants, scientifiques issus de laboratoires, qui ne sont présents au Village des sciences qu'exceptionnellement, ne parlent pas spontanément de *partenariat.* En revanche, le chargé de communication de l'une des composantes de l'université que nous étudions évoque des collaborations régulières avec l'Espace des sciences et le rectorat, une tradition d'actions communes.

> CC : au Caren et maintenant à l'OSUR la fonction communication au sens large dont je m'occupe et à l'intérieur de la fonction de communication l'objectif de médiation scientifique d'ouverture vers le grand public ou des choses du type de la valorisation au sens large ou plus spécifique de la valorisation économique ça fait partie dans le domaine de l'environnement de nos préoccupations (.) on l'a institutionnalisé en mettant une personne et des missions là-dessus, il faut communiquer sur ce qu'on fait voilà la vulgarisation des sciences la relation sciences-société ça c'est quelque chose à laquelle on est particulièrement sensible (.) c'est une priorité pour nous en termes de communication (entretien préalable, Chargé de communication de l'OSUR, annexe 22, tdp. 34)

Du côté de l'institution scolaire, la DAAC emploie communément le terme de *partenaire* pour désigner une institution avec laquelle elle a une convention. Les partenariats déclarés le sont au niveau du rectorat d'académie et de la direction académique, mais pas au niveau des professeurs et des élèves dans le cas du village des sciences.

Les instances organisatrices et de communication manient le concept de *partenaire*, en lien avec celui de collaboration habituelle, de longue date et avec des rencontres régulières. Cependant, le terme n'apparaît pas dans les échanges entre les médiateurs[15] ou entre les visiteurs scolaires. Leur présence sur le village des sciences est un événement ponctuel qu'ils ne semblent pas vivre comme un partenariat. Ils ne l'expriment pas ainsi.

1.5 Médiateurs, scientifiques ou professeurs

L'étude lexicale de notre corpus montre que la désignation des partenaires dépend de l'institution qui en parle et du statut qu'elle leur assigne au moment où elle en parle. Pour désigner les personnes qui accueillent les visiteurs sur les stands, l'organisateur parle de

14 Étude réalisée avec la logiciel *Tropes* sur les transcripts des discours des locuteurs des différentes institutions, et sur les écrits qu'ils produisent dans le cadre de l'événement « village des sciences ».

15 Nous présentons cette appellation en page 24.

médiateurs, de partenaires, d'exposants ou de scientifiques ; les professeurs parlent d'animateurs ou d'intervenants ; les élèves parlent du monsieur ou de la dame quand ils ne peuvent désigner la personne par son prénom ; les chercheurs, entre eux, différencient les doctorants, les ingénieurs, hydrogéologues, physiciens, les permanents, chercheurs ou enseignants chercheurs ou se labellisent en fonction de l'établissement dont ils sont issus.

Ce qui est valable pour les institutions partenaires l'est pour nous qui observons les situations et analysons les données. Avec le terme *médiateur* nous faisons référence au contexte d'exposition temporaire : cette personne joue ponctuellement au *médiateur* scientifique et s'adresse à des *visiteurs*. Nous appelons *médiateur*, la personne qui, sur le stand, opère une transformation entre un savoir scientifique et un savoir adapté au visiteur. Nous les nommons *chercheurs* ou *scientifiques* quand ils sont dans leur laboratoire ou que nous avons besoin de spécifier leur qualité. Nous veillons par ailleurs à ne pas créer d'ambiguïté avec notre statut d'auteure chercheur. Le terme *professeur* met en exergue leur statut didactique. Nous en parlons plus loin dans le chapitre théorique (Chapitre 3).

Chapitre 2 - Contexte scientifique et axes de la problématique

Nous inscrivons le contexte scientifique de notre étude dans le modèle présenté plus haut (Illustration 2, p.18). Le village des sciences est à la croisée de trois sphères qui représentent les trois types d'institutions en jeu. Il se trouve aussi à la croisée de problématiques qui entrent en synergie[16] dans le cadre de cet événement. Dans ces espaces, il existe un travail conjoint de personnes aux cultures différentes qui œuvrent dans des actions communes. Douglas définit la culture comme *« la collection publiquement partagée de principes et de valeurs utilisés à chaque moment pour justifier les conduites »* (Douglas, 1986, p. 67, dans Calvez, 2006, paragr. 6). Le paysage de nos recherches se place dans la culture de chaque sphère. Elle s'étend aussi à leurs frontières, là où elles interagissent avec les autres.

Dans un premier temps, nous faisons émerger des axes de problématiques issus des trois sphères. Dans un second temps, nous présentons un panorama de références situées dans ce paysage.

2.1 Émergence de problématiques dans les sphères de recherche et leurs limites

Notre recherche ne s'étend pas sur la globalité des institutions en jeu, mais sur une partie de leur activité. Pour tracer à grands traits le paysage des terrains de nos recherches, nous réduisons ces institutions à l'École, le Laboratoire de recherche, et le Musée, en tant qu'instances représentatives des écoles, des laboratoires (en physique, en hydrogéologie ou en médecine) et des musées de sciences. Nous orientons notre regard du côté des sciences expérimentales, mais nous adaptons notre focale aux besoins créés par l'enquête. Les grands points de vue que nous croisons au niveau macroscopique sont « Produire des savoirs scientifiques », « Enseigner les sciences », et « Diffuser les sciences » (Illustration 6, p.26).

16 *« Action coordonnée de plusieurs organes »* selon Barthez (1778, p. 260)

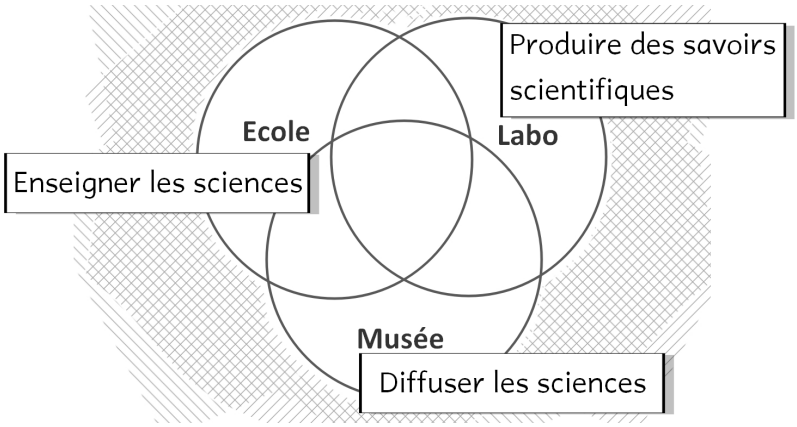


Illustration 6: Première orientation du regard du chercheur

Dans les schémas qui suivent, les étiquettes rectangulaires représentent les actions, et les étiquettes ovales, des « objets » de ces actions. Les flèches indiquent les dynamiques qui convergent vers la sphère étudiée.

La section reprend le point de vue des trois institutions, avec celui complémentaire du passage d'une institution à une autre. Dans un premier temps, nous abordons la diffusion de la culture dans un musée, puis nous évoquons la transformation des savoirs. Nous développons ensuite des problématiques de l'enseignement des sciences à l'école avant de terminer avec quelques aspects de la production des savoirs scientifiques.

2.1.1 Diffuser une culture scientifique dans un musée

Au musée (Illustration 7, p.26), la question du public s'impose différemment qu'à l'École.

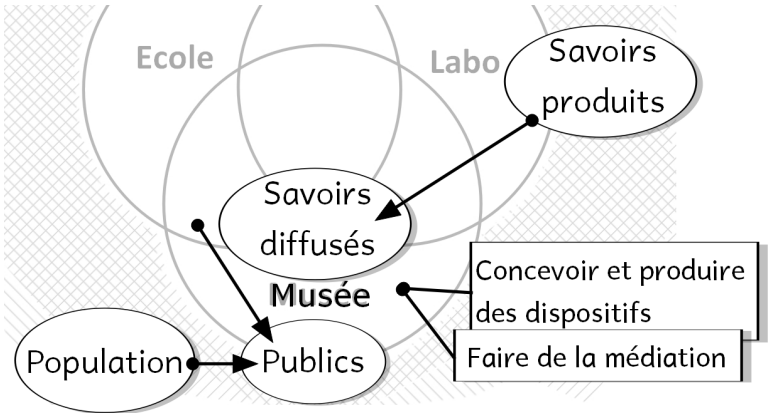


Illustration 7: Orientation « Diffuser une culture scientifique dans un musée »

Dans un cas, le public est libre de venir ou pas, les dispositifs sont conçus pour des visiteurs supposés, des personnes non identifiées. Dans l'autre, la conception des dispositifs

d'enseignement prend en compte les élèves identifiés de la classe dans laquelle le professeur enseigne. Que dit la recherche en muséologie de ce qui motive les visiteurs d'une exposition ou d'un événement culturel ?

La situation d'enseignement des sciences dans un lieu hors-de-l'école amène à s'interroger sur ce lieu particulier qu'est le musée de sciences. Nous associons aux musées tous les lieux de culture scientifique qui proposent des expositions organisées : zoo, aquarium, planétarium, stand dans une manifestation à caractère scientifique. L'institution muséale a ses activités propres : la conservation, le classement, la mise en valeur des objets, la médiation et l'accueil des publics. Indépendamment de l'École ou avec l'École, le musée a pour vocation de transmettre des savoirs. Nous nous interrogeons sur les points communs et les différences entre la médiation scientifique des musées et l'enseignement des sciences ?

Le comité américain sur les apprentissages scientifiques dans les environnements informels (mis en place par *The National Academies*) observe, dans l'introduction de son rapport, que l'on néglige trop souvent le potentiel d'apprentissage des sciences dans des cadres non scolaires (Bell, Lewenstein, Shouse, & Feder, 2009, p.1). Il assure même que l'on ne peut donner à l'école toute la responsabilité de la formation scientifique des citoyens : *« Contrary to the pervasive idea that schools are responsible for addressing the scientific knowledge needs of society, the reality is that schools cannot act alone, and society must better understand and draw on the full range of science learning experiences to improve science education broadly"* (Bell et al., 2009, p. 12). En identifiant la plus-value du musée par rapport à l'école, ne pourrions-nous pas en tirer profit pour l'école ?

Falk et Dierking (2000) présentent un cadre théorique pour analyser les apprentissages issus d'une expérience dans un musée, ou plus généralement d'un lieu d'*éducation informelle*. Le *Contextual Model of Learning* montre qu'apprendre est déterminé par trois contextes emboîtés : le contexte personnel, le contexte socioculturel et le monde physique. Cependant, l'intention des auteurs n'est pas de décrire et d'évaluer les apprentissages dans ces lieux, mais plutôt de caractériser comment ces lieux contribuent à ce que les gens savent, croient, ressentent ou sont capables de faire.

> *Free-choice learning occurs during visits to museums, when watching television, reading a newspaper, talking with friends, attending a play, or surfing the Internet. Free-choice learning tends to be non-linear and personally motivated and to involve considerable choice on the part of the learner as to when, where and what to learn* (Falk & Dierking, 2000, p. 13).

Free-choice, libre choix ? Ce processus caractéristique et fondamental des expériences muséales semble ne pas exister lors des visites scolaires : les élèves sont, semble-t-il, contraints à des règles que n'ont pas les autres visiteurs. Sur quoi porte le libre choix évoqué par les auteurs ?

Le groupe venant d'une école est généralement traité, par l'équipe d'accueil du musée, comme une entité au lieu d'un ensemble d'individus (Griffin, 2004). Griffin propose de mieux définir les rôles de chacun des partenaires, en respectant la part de libre choix individuel propice aux apprentissages.

Tout en conservant leur identité (accueil d'un large public), les musées tentent de proposer des ressources complémentaires pour satisfaire les groupes scolaires. Ils ont mené leurs propres recherches pour améliorer l'accueil, l'accompagnement, la sémiotique dans les espaces d'exposition et de découverte. Cependant, la responsabilité des structures muséales dans les apprentissages, au cours des visites des scolaires, a ses limites : une étude sur les feuilles de route que les musées scientifiques conçoivent pour les visites montre que l'attitude et les apprentissages des élèves dépendent du travail du professeur (Mortensen & Smart, 2007). Nous nous demandons si des ressources proposées par les musées correspondent aux besoins et aux projets des élèves et des professeurs.

Triquet s'intéresse aux situations de visites scolaires d'expositions non guidées et propose le concept de transposition médiatico-didactique. Il substitue *« au triangle didactique le triangle médiatique correspondant avec ses trois places : le concepteur, le visiteur et l'exposition (le média qui véhicule le savoir) »* (Triquet, 2005, p. 32). Nous nous interrogeons : quels médias ou expositions peuvent se passer de médiation ? La médiation n'est-elle pas une forme d'enseignement ? Quelles sont les différences entre médiation et enseignement ?

Parmi les recherches qui s'orientent vers les apprentissages dans les musées de sciences, nous citons les travaux de Eidelman et Jonchery (Eidelman & Jonchery, 2011 ; Jonchery, 2010), et de Ash, en sciences de l'éducation, qui travaille sur des corpus de conversations familiales lors de visites (Ash, 2003). La piste des interactions entre les visiteurs nous paraît susceptible de révéler des leviers didactiques.

2.1.2 Transformer des savoirs pour les communiquer

Le travail de Mortensen (2010) sur les ressources muséales est dirigé vers le processus

d'ingénierie de conception des expositions scientifiques. L'auteure s'intéresse à la transformation des savoirs en s'appuyant sur la théorie de la *transposition didactique* de Chevallard (1985). Une transposition externe au contexte scolaire est opérée par des groupes de connaisseurs du ministère, la noosphère, et une transposition didactique interne est actualisée par les professeurs, en fonction de leur interprétation du programme scolaire. Contrairement à cette double transformation qui se produit dans la transposition didactique scolaire, où les acteurs sont issus de deux sphères, Mortensen décrit la transposition muséographique comme l'émanation d'une seule sphère : les mêmes acteurs prennent à leur charge la transformation des savoirs scientifiques en rédigeant un carnet d'exposition, *« curatorial brief »,* puis en choisissant une forme muséographique adaptée aux savoirs de référence. Quelles sont les étapes de transformation des savoirs pour les médiations au village des sciences ? La conception des dispositifs destinés au village des sciences ressemble-t-elle à la conception des dispositifs muséaux ?

Parmi les recherches qui concourent à nourrir notre étude, nous sommes proche de l'intérêt de Achiam[17] pour la transposition didactique vue comme une *« transplantation of knowledge between institutions, and the subsequent and necessary adaptation of that knowledge to the new conditions in each institution »* (2014, p. 1). Selon les études de cas que nous proposons, les dispositifs exposés et utilisés sur les stands que nous étudions ont été construits dans un laboratoire de recherche, à la source du savoir de référence. Le médiateur-chercheur qui accueille les visiteurs est un connaisseur de ce savoir de référence et peut, *a priori*, le contextualiser. Les dispositifs conçus par les chercheurs ont-ils un rôle dans la transposition des savoirs lors des médiations ? Sont-ils des ressources (Adler, 2010 ; Gueudet & Trouche, 2010) pour les chercheurs qui prennent en charge les médiations ?

2.1.3 Enseigner les sciences à l'école

Parmi les combinaisons d'interactions possibles entre les institutions, nous sélectionnons les synergies qui entrent en résonance avec des problématiques déjà identifiées dans l'institution scolaire (Illustration 8, p.30) : proposer une démarche d'investigation, sortir de la classe, enseigner à plusieurs.

17 Achiam et Mortensen désignent la même personne dont le nom d'usage a changé.

2.1.3.1 Proposer une démarche d'investigation

Les pratiques d'enseignement des sciences et des technologies cherchent à rendre les apprentissages plus actifs et plus motivants pour les élèves (Calmettes, 2012 ; Boilevin, 2013b). Un des enjeux de la *démarche d'investigation* est de rendre attractives les études scientifiques et technologiques (Boilevin, 2013b). Pour cet auteur (ibid., 2013a), ainsi que pour Venturini et Tiberghien (2012), cette démarche apparaît dans le contexte international plus large de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation, *Inquiry-based science education (IBSE)*. Boilevin s'étonne cependant, à la lecture de très nombreux textes et rapports d'origine institutionnelle : *« on y évoque souvent la culture scientifique et technologique mais sans prendre le temps d'expliciter le propos »* (ibid., p. 197-198). Nous nous demandons si l'investigation par des enquêtes et des visites contribue à une culture scientifique et technologique ? De quelle culture s'agit-il ? Ne peut-elle aussi fonder des apprentissages scientifiques *précurseurs* de modèles plus élaborés (Weil-Barais, 1997) ?

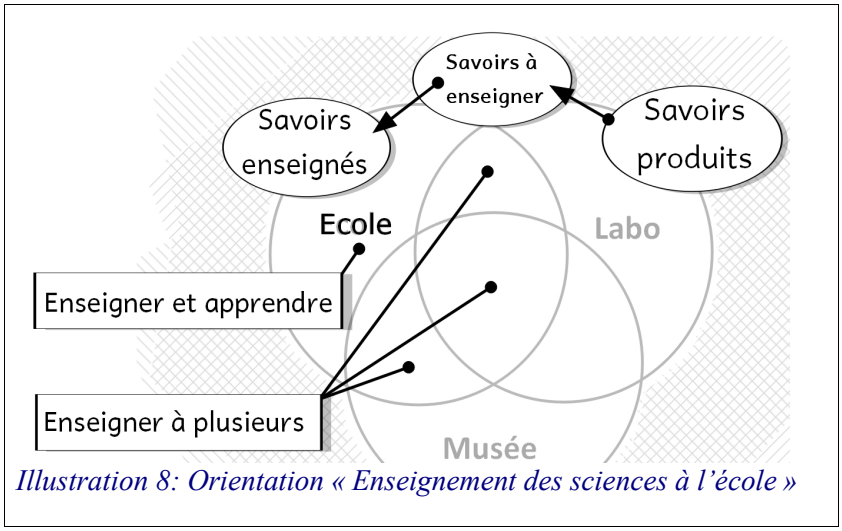


Illustration 8: Orientation « Enseignement des sciences à l'école »

Comme Lebeaume[18], nous pensons que la démarche d'investigation porte en elle bien plus que la rapide recette[19] d'une démarche d'enseignement des sciences. Elle est une combinaison d'approches : *« référence épistémologique au débat scientifique, référence pédagogique au rôle des interactions entre élèves, enjeu d'apprentissage de la langue, enjeu d'apprentissage civique »* (Bisault, 2010, p. 5). À l'école primaire, celles-ci font écho, nous semble-t-il, à la mise en

18 Lebeaume remarque que *« les étapes de conduites des séances d'investigations risquent de n'être interprétées que comme une technique de classe et donc de se transformer en un nouveau rituel pédagogique sans fondement et sans signification réelle »* (2011, p. 32).

19 Nous condensons la démarche : Une situation de départ débouche sur un questionnement. Des investigations, sous la forme d'enquêtes ou de visites, avec des observations, permettent de répondre à ces questions. Une synthèse validée des résultats obtenus construisent, dans la classe, de nouveaux savoirs.

cohérence des domaines disciplinaires. En particulier, la production de traces, d'écrits et d'énoncés oraux nous parait centrale pour apprendre. Selon Vygotsky (1934), les idées ne préexistent pas au langage. Le savoir peut naître au moment où l'on travaille pour l'exprimer. Notre travail s'inscrit dans une réflexion sur les liens entre les langages et la production de savoirs.

2.1.3.2 Sortir de la classe

En France et en dehors de nos frontières, les institutions scolaires invitent les professeurs à fréquenter les musées avec leurs élèves. De nombreuses recherches décrivent des utilisations de musées, expositions, zoo, aquariums par les enseignants.

Certaines recherches étudient les stratégies pour optimiser les apprentissages. Allard (1999) élabore avec son équipe du GREM[20], un modèle d'utilisation des musées à des fins éducatives. La proposition d'Allard (Vue_synoptique 1, p. 31) préconise une préparation en classe, avec un questionnement sur l'objet, la visite elle-même qui permet le recueil de données, et un troisième temps, en classe, pour analyser ces données et répondre aux questions initiales. Ce modèle est compatible avec la *démarche d'investigation* telle qu'elle a été décrite dans les documents d'application des programmes de l'école primaire (Ministère de l'Éducation Nationale, 2002). Nous observons, au passage, pour les écoles, une tendance à la construction d'un référent commun à tous les élèves, peut-être en contradiction avec le libre choix prôné par les musées.

Etapes	Espaces	Progression	Démarche de recherche	Approche de l'objet muséal
Avant	Ecole	Préparation	Interrogation	Questionnement sur l'objet
Pendant	Musée	Réalisation	Collecte de données et analyse	Observation de l'objet
Après	Ecole	Prolongement	Analyse et synthèse	Appropriation de l'objet

Vue_synoptique 1: Proposition d'utilisation des musées pour les enseignants (Allard, 1999, p.29)

De nombreuses études mènent au même résultat : quand la conception des projets

20 Fondé en 1981 à l'université du Québec à Montréal, le Groupe de recherche sur l'éducation et les musées (GREM) regroupe des professeurs et des étudiants, des muséologues, des enseignants ainsi que des conseillers pédagogiques.

d'enseignement est adaptée, les bénéfices sur les apprentissages en dehors de la classe sont démontrés (Dillon et al., 2006, p. 110). Un aspect particulièrement important est la mise en projet des élèves ; ils doivent connaître le but de la visite pour éviter une trop grande dispersion au moment où ils arrivent dans le nouvel environnement (Pugh & Bergin, 2005). Comment mettre en projet les élèves dans le cadre d'un événement ponctuel où les contenus sont peu précis ?

Aujourd'hui, Dillon centre une partie de sa recherche sur l'enseignement des sciences en dehors de la classe, dans des musées ou sur le terrain avec des scientifiques. Une thématique comme le développement durable se prête aux investigations menées avec les élèves auprès d'une communauté de professionnels scientifiques. Les problèmes sont ceux de la société, les observations et expérimentations sont menées sur le terrain à la rencontre de professionnels : *« How scientists work ? »* et *« How science works ? »* (Dillon, 2010) sont les moteurs de Dillon pour engager les élèves dans les investigations, les intéresser aux sciences à long terme. Quelles images de la science et des pratiques de ses acteurs veut-il véhiculer ?

Cet intérêt pour l'authentique et la volonté de montrer comment le savoir scientifique se construit en lien avec des problèmes de société, trouve un écho dans notre étude. L'entrée par la maladie ou les pollutions anthropiques (comme dans nos études de cas) ne contient-elle pas aussi des dimensions sociales ou identitaires choisies pour mieux capter l'intérêt des élèves ?

2.1.3.3 Enseigner à plusieurs

« Enseigner à plusieurs » est une problématique liée à la nécessité ou à la contingence de la présence d'autres professionnels aux côtés du professeur. Si cette modalité de travail est observée dans le cadre des situations que nous étudions au village des sciences, elle est interrogée dans de nombreuses situations de plus en plus ordinaires de l'école.

L'organisation de sorties scolaires et la présence, dans la classe, d'intervenants extérieurs pour des pratiques artistiques, sportives ou culturelles sont réglementées (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992, 1999). Les textes comportent des préconisations et des principes de fonctionnement. Cependant, leur mise en œuvre est très variée et des études sont menées qui interrogent l'organisation de la classe, la place du professeur, l'alternance des modalités de travail et les positions respectives de chaque adulte, les savoirs en jeu, etc. Le modèle du professeur seul maître de sa classe nous parait persister. Il nous semble cependant que les évolutions institutionnelles et sociales le remettent en question.

Les cycles à l'école primaire (Ministère de l'Éducation Nationale, 1991) instaurent une nécessité de partager des pratiques avec des collègues, mais chacun reste dans sa classe. L'enseignement des langues vivantes à l'école (Ministère de l'Éducation Nationale, 2005) crée l'obligation d'échanges de service[21], car tous les professeurs ne sont pas légitimés pour le faire. La *polyvalence d'équipe* complète la *polyvalence individuelle*, dans le sens où *« les enseignants collectivement ont des compétences qu'ils n'ont pas individuellement »* (Florin, Guimard, Le Dreff, & Walkestein, 2004, p. 108). Des recherches sur la polyvalence du maitre (Baillat, Espinoza, & Vincent, 2001 ; Philippot & Baillat, 2011) croisent les études sur l'introduction des partenariats à l'école et leurs conséquences (Bautier, 1995 ; Garnier, 2003).

L'offre d'emplois jeunes (1997) introduit la notion de personnel supplémentaire dans l'école. Nous connaissons aujourd'hui la présence d'agents territoriaux spécialisés des écoles maternelles (ATSEM), d'auxiliaires de vie scolaire (AVS), de *professeurs surnuméraires* (Nédélec-Trohel & Toullec-Théry, 2010) pour accompagner l'inclusion d'élèves en situation de handicap (Isabelle Nédélec-Trohel, Joffredo-Lebrun, & Magnen, 2012). Thomazet et Merini (2015) réinterrogent l'école inclusive comme projet commun, un *objet-frontière* permettant de regrouper ses acteurs issus de cultures et de métiers différents. Le dispositif *« Plus de maître que de classes »* (Ministère de l'Éducation Nationale, 2013), engagé par la direction générale de l'enseignement Scolaire (DGESCO) dans certaines écoles, permet à des classes d'obtenir des *maîtres surnuméraires*. Toullec-Théry et Marlot (2016) s'interrogent sur les conditions nécessaires aux modifications des pratiques, sur des solutions pour plus d'efficacité. En effet, même avec des professeurs issus de la même institution, le dispositif ne va pas de soi. Des réflexions sur ces situations sont engagées et nous sommes sensibles aux questions qui s'y posent.

Dans les domaines scientifiques, l'accompagnement en sciences et technologie à l'école primaire (ASTEP) est un exemple de co-intervention encouragée par l'institution scolaire (Ministère de l'Éducation Nationale, 2010). Les études de Caumeil et Gardet (2009 ; 2010, 2012) posent la question de l'articulation entre le travail des enseignants et celui du partenaire scientifique sur des thèmes scientifiques, techniques ou « d'éducations à ». Ces partenaires sont des étudiants ou des chercheurs issus de grandes écoles ou d'universités. Être connaisseur d'un domaine scientifique est-il suffisant pour enseigner ce domaine à des élèves

21 Le professeur des écoles, habilité pour enseigner la langue étrangère, enseigne plusieurs fois par semaine dans la classe d'un (ou plusieurs) collègue(s) de l'école. Il laisse sa classe au collègue qu'il remplace.

de l'école primaire ? Le travail collaboratif entre le professeur de la classe et ces scientifiques est-il formateur pour chacun de ces acteurs ?

2.1.4 Produire des savoirs scientifiques

Nous retraçons des travaux qui contribuent à notre compréhension de l'épistémologie, de la philosophie et de la sociologie en sciences ainsi que de la littératie scientifique. Nous proposons quelques extraits qui nous ont nourrie et dont le lecteur retrouvera des traces dans l'ensemble de notre étude (Illustration 9, p.34).

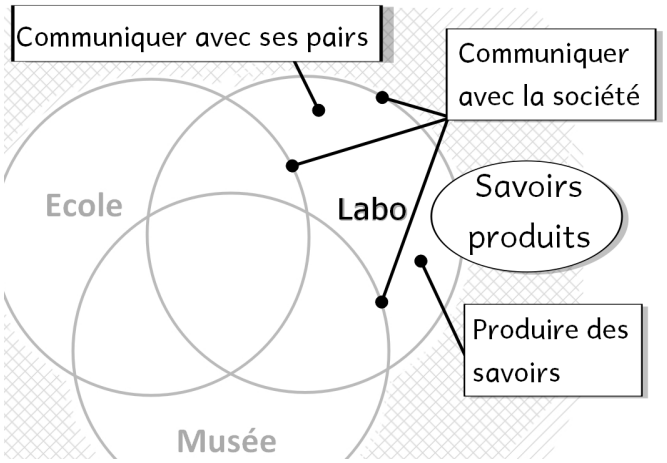


Illustration 9: Orientation « Faire des sciences dans un laboratoire »

D'après Fleck, les savoirs scientifiques sont produits dans un *collectif de pensée* :

> *si nous définissons un collectif de pensée comme la communauté des personnes qui échangent des idées ou qui interagissent intellectuellement, alors nous tenons en lui le vecteur du développement historique d'un domaine de pensée, d'un état du savoir déterminé et d'un état de la culture, c'est-à-dire d'un style de pensée particulier* (Fleck, 1935/2008, p. 74).

Les *exemples exemplaires* de Kuhn, *"solutions de problèmes concrets, acceptés par le groupe comme paradigmatiques"* (Kuhn, 1990, p. 397) complètent la vision du *collectif de pensée*, mais nous interrogent : les savoirs naissent-ils uniquement dans de tels collectifs ? Sensevy[22] établit les relations entre le *style de pensée* de Fleck et le *voir-comme,* les *jeux de langages*, et la notion d'*air de famille* de Wittgenstein (1956/2004). Comment ces concepts sont-ils

22 *« Les jeux engendrent ainsi un voir-comme, un style de pensée (Fleck, 2005), qui détermine leur logique. C'est parce que l'agent voit tel état de choses comme ceci ou cela qu'il agit de telle ou telle manière. C'est parce que le jeu auquel il s'est pris, auquel il est accroché, attaché, demande qu'on voie tel état de choses comme ceci ou cela qu'il agit de la sorte. Le travail de l'analyste consiste ainsi à comprendre le jeu, c'est-à-dire le voir-comme, le style de pensée, que le jeu actualise, et celui qu'il ne peut actualiser »* (Sensevy, 2011c, p. 33).

associés aux apprentissages ?

Bachelard contribue grandement à agiter notre esprit et à nous donner un cap :

> *quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit.* (Bachelard, 1938/2011, p. 16).

Pour définir les *phénomènes, théories et modèles*, nous choisissons de suivre Hacking : *« Les modèles sont des intermédiaires triant quelques aspects des phénomènes réels et les reliant, en simplifiant les structures mathématiques, aux théories qui gouvernent les phénomènes »* (Hacking, 1989, p. 350).

Nous retrouvons les notions de production de savoirs liées aux productions de *traces* avec les auteurs qui suivent. Dans son essai sur L*a domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc,* Callon fait un raccourci saisissant :

> *les coquilles sont transformées en larves, les larves en nombres, les nombres en tableaux et en courbes illustrant des papiers facilement transportables, reproductibles et diffusables (Latour, 1985). Au lieu d'exhiber des larves et des filières à Brest devant leurs collègues, les trois chercheurs se contentent de montrer des graphiques et de présenter des résultats chiffrés »* (Callon, 1986, p. 197).

Latour et Woolgar nous inspirent pour notre méthodologie de recherche en enquêtant au plus près de la production de faits scientifiques : *« ce n'est pas un grand miracle si les énoncés apparaissent correspondre si exactement à des entités extérieures : ils sont une seule et même chose »* (Latour & Woolgar, 1988, p. 181).

Enfin, la multimodalité de l'écriture scientifique nous parait une piste pour approcher le monde des sciences ainsi que pour rendre compte de notre étude :

> *in science, we use language only in coordination with many other modes of semiotic representation : visual images, diagrams, graphs, mathematical formulas, and the semiotics of artifacts, apparatus, and the meaningful activities of using them. Scientific communication and scientific literacy are fundamentally multimodal* (Lemke, 2004, p. 33).

Comment les chercheurs produisent-ils des savoirs scientifiques et des énoncés scientifiques, en vue de les communiquer à des pairs et à des non-connaisseurs ?

2.2 À grands traits, notre paysage de références scientifiques

Nous proposons, ci-dessous, de situer les recherches qui nous paraissent composer notre paysage scientifique. Issues de différents champs (sociologie, philosophie, didactiques,

anthropologie, etc.) nous les associons ici pleinement à une sphère, à l'intersection de deux sphères, ou à leurs frontières.

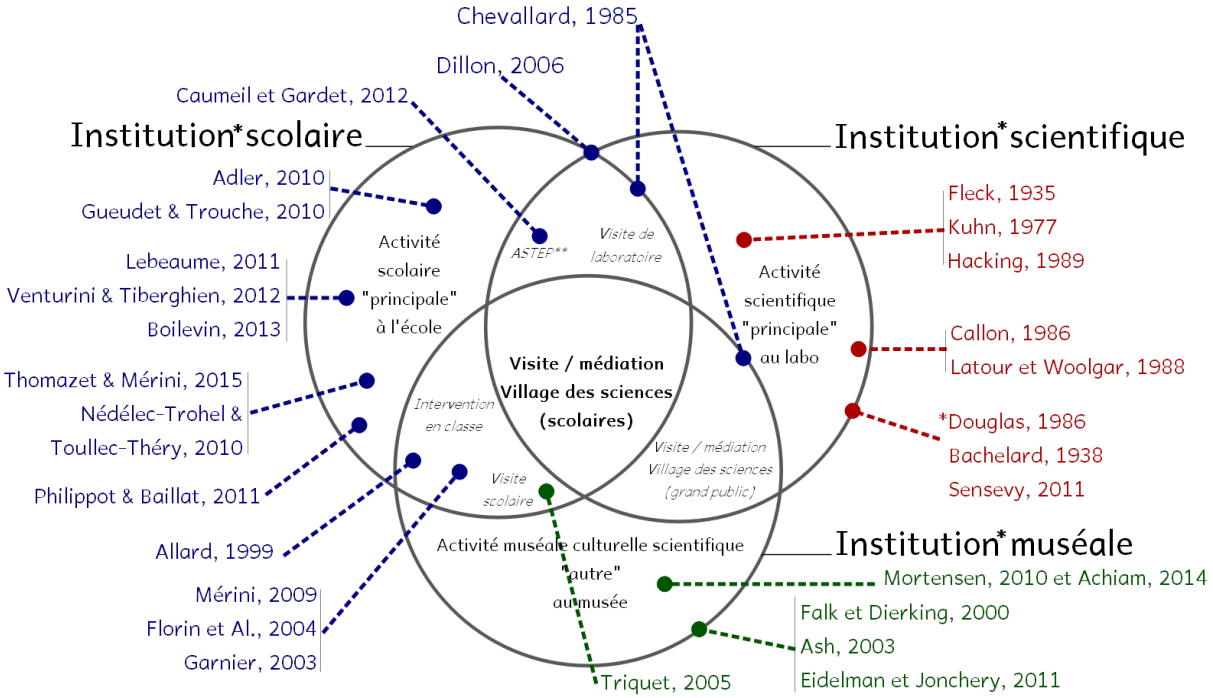


Illustration 10: Panorama de nos principales références dans le paysage de nos terrains d'enquête

Les choix des références présentées sur l'illustration 10 (p. 36) sont ceux de nos premiers questionnements. Sous le spectre de nos cadres théoriques, nos axes de problématique s'affinent.

PARTIE 2 : PRINCIPES DIRECTEURS ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Où nous présentons nos principes directeurs et nos questions de recherche

Chapitre 3 - Cadre théorique et positionnement scientifique.....39

3.1 La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD).....39
3.2 L'approche documentaire.....43

Chapitre 4 - Questions de recherche.....49

4.1 Jeux didactiques sur les stands.....49
4.2 L'utilisation et le rôle des ressources.....50
4.3 Pratiques de savoirs et leur didactisation.....51
4.4 Questions de méthode pour rendre compte de situations didactiques.....51

Chapitre 5 - Méthodologie : des études de cas.....53

5.1 Principes méthodologiques.....53
5.2 Le film d'étude et ses traitements.....54
5.3 Le choix des enquêtés.....60
5.4 Le recueil de données pendant les médiations sur les stands.....65
5.5 De la dépiction à la description.....71
5.6 La présence in situ et l'ouverture de pistes.....80
5.7 Le chapitre de méthodologie en bref.....92

Chapitre 3 - Cadre théorique et positionnement scientifique

Dans ce chapitre, nous décrivons les cadres conceptuels qui nous guident dans nos analyses : la *théorie de l'action conjointe en didactique* (3.1, p. 39) et l'*approche documentaire (3.2, p. 43)*.

3.1 La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)

La TACD nous apporte une grammaire pour décrire et interpréter les situations didactiques de notre corpus. Elle nous paraît également utile pour envisager les apprentissages dans des contextes et des relations plus diversifiés que les formes scolaires ordinaires.

Dans une première partie nous abordons la notion de *jeu*. Puis, nous définissons les *transactions didactiques*, les actions qui se jouent dans le *milieu*. Nous précisons dans la troisième partie les notions de *contrat et milieu*.

3.1.1 La notion de *jeu*

La TACD utilise la notion de jeu en filiation avec différents auteurs : notamment Bourdieu, avec l'idée de *jeu du monde social* (1987) ; Wittgenstein (2004), avec la notion de *voir-comme* sous-jacente aux jeux, et les *jeux de langage/formes de vie* afférents. La notion de jeu est conçue comme un *modèle* des situations didactiques, de leur grammaire. La notion permet d'identifier ds enjeux, des règles définitoires ou stratégiques, ds stratégies (Sensevy, 2011c, 2011b, 2012a, 2012b). Les jeux didactiques concernent les savoirs, incorporés dans des *jeux épistémiques* et des *jeux d'apprentissage* (Sensevy, 2011c ; Gruson, Forest, & Loquet, 2012 ; Santini, 2013).

Le *jeu épistémique source* fait appel aux savoirs qui s'actualisent dans les *pratiques de référence* (Martinand, 1986), il *« existe en dehors de la situation didactique »* (Gruson et al., 2012, p. 357). Nous considérons la situation didactique comme une succession de *jeux*

d'apprentissage de savoirs entre le professeur et les élèves.

3.1.1.1 Des *formes symboliques* pour jouer

Nous modélisons les actions du professeur comme la mise à disposition, pour les élèves, d'un ensemble de *formes* que ces derniers doivent mettre en relation et interpréter pour développer un savoir. Ces formes sont qualifiées de *symboliques* (Sensevy, 2015). Elles sont langagières, iconiques, matérielles, proxémiques ou de tout autre ordre, produites intentionnellement ou pas, et déchiffrées ou pas. En retour, les élèves agissent stratégiquement avec et sur ces formes matérielles et symboliques. Ils « jouent » à faire des liens entre des éléments de savoir symboliques, plus ou moins multiformes et plus ou moins épars (selon la stratégie du professeur), pour gagner un savoir. Cependant les joueurs sont partenaires, ils ne jouent pas l'un contre l'autre.

> *L'action du professeur et de l'élève est du type gagnant-gagnant, c'est à dire que les deux partenaires gagnent ou perdent ensemble. Ainsi le professeur gagne dans son enseignement si, et seulement si, l'élève gagne dans son apprentissage, c'est-à-dire qu'il devient autonome dans ses savoirs et n'a plus besoin du professeur, à ses côtés, pour réussir »* (Sensevy, 2011c, p. 102).

Nous revenons sur la notion de formes symboliques dans la section, relative au milieu, qui les contient.

3.1.1.2 Les *sémioses* comme jeux de signes

L'incorporation des signes dans le jeu didactique est appelé *sémiose* (ibid., p. 191). Nous prêtons aux transactants des intentions de produire des signes pour autrui et de les déchiffrer, mais aussi d'en montrer et d'en percevoir de manière non consciente (Forest, 2008). La *sémiose du milieu* est le processus de déchiffrement du milieu. Le jeu didactique est essentiellement sémiotique.

3.1.1.3 Le professeur maître du jeu

Les actions du professeur dans son jeu avec les élèves (Sensevy, 2011c, p. 143) sont décrites avec les termes *définir, dévoluer, réguler,* et *instituer.* Le professeur *définit* le jeu qui est joué dans la situation ; il *dévolue* le jeu aux élèves ou fait en sorte qu'ils s'y investissent de manière adéquate ; il *régule*[23] ou influe sur l'évolution de la situation pour favoriser les

23 Par défaut, quand nous employons « *régulation* » ou « *réguler* », dans notre étude, il s'agit du sens employé dans la TACD : « *la régulation de la situation* » ou « *réguler la situation* ». Notre étude présente deux occurrences de l'emploi de la *régulation* en didactique professionnelle. Elles sont marquées par les adjectifs « *pro-active* » et « *rétro-active* » (3.2.3, p.46).

apprentissages ; il *institue,* ou fixe une production, comme une avancée dans le savoir.

3.1.2 Transactions didactiques

Le jeu didactique entre le professeur et les élèves prend la forme de *transactions didactiques*, où chaque joueur est un *transactant*. Les formes symboliques contiennent des *éléments de savoir* qui sont le substrat-même de ces transactions. *« La tâche du professeur est alors immense, car c'est à lui que revient d'organiser les expériences que vont vivre les élèves, l eur continuité et leur cohérence avec les contenus dont il vise l'appropriation. »* (Santini & Sensevy, 2012, p. 100).

Dans cette introduction à la TACD, nous donnons à voir les transactions didactiques au moyen d'une première représentation graphique. Nous modélisons le jeu (didactique et sémiotique) du professeur (P) sur l'élève avec une flèche (Illustration 11, p. 41) qui désigne les formes symboliques, exprimant des éléments de savoir (S), que le professeur (P) organise (S_P). Réciproquement, nous modélisons le jeu des élèves (Es) sur le professeur par une flèche portant les éléments de savoir exprimés par les élèves : S_{Es}. Comme nous l'avons dit précédemment, le jeu didactique est essentiellement sémiotique. Les flèches n'indiquent donc pas la transmission des savoirs directement reçus par les élèves. Nous revenons sur cet aspect dans la synthèse de notre étude relative aux outils pour décrire le travail conjoint (9.1.3, p. 370).

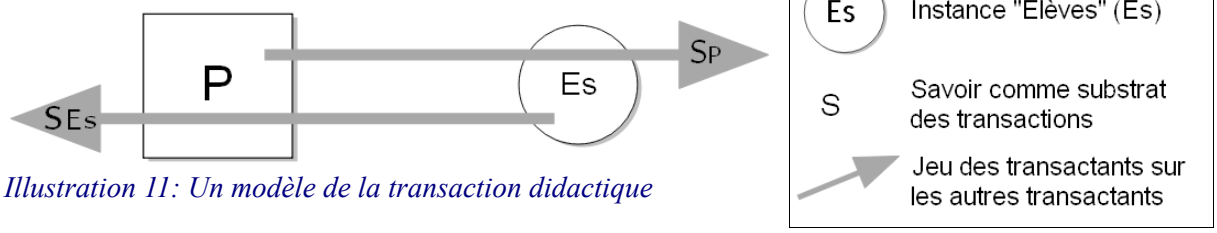


Illustration 11: Un modèle de la transaction didactique

Nous faisons évoluer cette représentation dans notre étude (6.5, p. 153, 7.5.3, p. 218, et section 9.1.3.1, p. 371, de la synthèse).

3.1.3 Contrat et milieu didactiques

Une des entrées didactiques pour analyser la construction de savoirs est la description de deux systèmes articulés : d'une part les savoirs déjà contractualisés, le *contrat didactique*, et d'autre part, de nouveaux éléments sur lesquels portent les transactions, un système dynamique, souvent réactualisé, le *milieu didactique*. Le triplet des genèses est fortement corrélé à la

constitution du milieu.

3.1.3.1 Le contrat didactique

L'institution scolaire crée un système d'attentes réciproques entre le professeur et les élèves. Brousseau (1986) le décrit comme

> *une relation qui détermine, explicitement pour une petite partie, mais surtout implicitement ce que chaque partenaire, l'enseignant et l'enseigné, a la responsabilité de gérer et dont il sera responsable d'une manière ou d'une autre devant l'autre. Ce système d'obligation réciproque ressemble à un contrat .*

Brousseau (1998) envisage le *contrat didactique* comme un système composé d'une partie explicite actualisée dans la situation, et d'une partie implicite propre aux habitudes installées, dans l'institution scolaire, entre le professeur et les élèves.

Dans la TACD, nous définissons le *contrat didactique* de façon plus large. Il est vu comme le système des connaissances « déjà-là » (Sensevy, 2011c, p. 45) avec lequel l'élève aborde une nouvelle situation. Le système de responsabilités réciproques, avec sa partie explicitée dans l'action et sa partie implicite liée aux habitudes, fait partie du contrat didactique, mais n'en est pas la seule composante. Un système d'attentes lié à des éléments de savoirs est inclus dans le contrat. En effet, une bonne partie des connaissances ou éléments de savoirs déjà-là avec lesquelles l'élève aborde un problème dépendent étroitement de l'action conjointe antérieure.

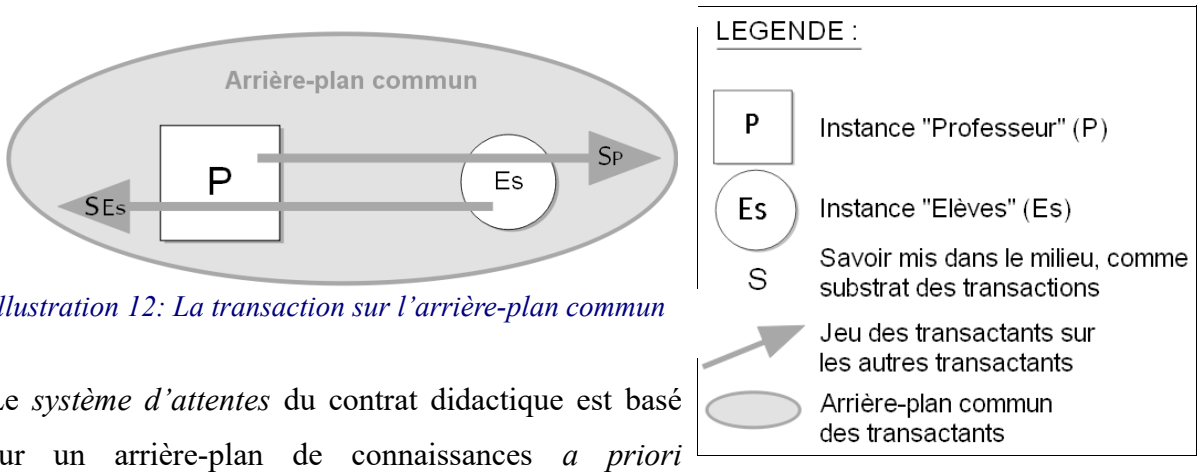


Illustration 12: La transaction sur l'arrière-plan commun

Le *système d'attentes* du contrat didactique est basé sur un arrière-plan de connaissances *a priori* partagées par les transactants (Illustration 12, p. 42). Ce sont des systèmes de responsabilités réciproques explicites, des systèmes d'habitudes plus ou moins implicites, les savoirs construits ensemble, et des *voir-comme* (Wittgenstein, 2004). *« L'arrière-plan est donné par les significations communes dans l'institution didactique qui structurent l'esprit objectif de l'institution. »* (Sensevy, 2011c, p. 103).

3.1.3.2 Le milieu didactique

Le *milieu didactique* est l'ensemble des *formes symboliques* que les transactants doivent interpréter et mettre en relation pour construire des savoirs. Le professeur l'agence pour ses élèves avec une intention didactique mais tous les transactants l'alimentent. Le *milieu didactique* a des dimensions à la fois sémiotiques, proxémiques et épistémiques (Forest, 2012).

C'est dans le *milieu didactique* que sont jouées les transactions didactiques. Dans un arrière-plan commun, les transactants ont un « déjà-là construit par l'action conjointe antérieure », le *contrat didactique.*

3.1.3.3 La dialectique réticence-expression

Brousseau (op. cit.) décrit la situation singulière dans laquelle se trouve le professeur et l'appelle *le paradoxe du contrat* : *« le savoir et le projet d'enseigner vont devoir s'avancer sous un masque »* (Brousseau, 1998, p. 73). Nous utilisons avec Sensevy (2011c, p. 390) la dialectique *réticence-expression*. Ces descripteurs mettent en lumière ce que dit, ce que montre (expression), ce que tait et ce que cache (réticence) le professeur.

3.1.3.4 Le triplet des genèses

Le processus de production du milieu est nommé *mésogenèse*. Sensevy déclare : « *Disposer de la catégorie de mésogenèse pour décrire l'activité didactique, c'est donc étudier comment le contenu, tel qu'il est formé et perçu par les transactants, donne forme, en continu, aux transactions, et comment celles-ci se trouvent co-élaborées par le professeur et les élèves* » (2011c, p. 147). Chaque acteur prend donc une part dans la production du milieu. Le partage et l'identification de cette responsabilité forment la *topogenèse*. La *chronogenèse* décrit comment la réactualisation du milieu s'inscrit dans le temps, comment l'avancée des savoirs s'actualise.

Plusieurs représentations graphiques concernant le triplet des genèses émergent de notre étude. Nous les synthétisons dans la section (9.1.3, p. 370).

3.2 L'approche documentaire

Dans nos enquêtes, les « ressources » sont centrales. Pour décrire les situations où elles entrent en jeu, nous adoptons l'*approche documentaire* initiée par Gueudet et Trouche (2010). Dans un premier temps, nous différencions la *ressource* de l'*artefact*. Ensuite nous définissons

ce qu'est un document. L'*approche documentaire* nous permet enfin de décrire une évolution de l'activité.

3.2.1 De l'artefact à la ressource

L'*approche instrumentale* développée par Rabardel est un des modèles à l'origine de l'*approche documentaire*. Le concept d'*artefact* en est à la base.

Rabardel conçoit l'artefact comme une production humaine : *« chaque artefact a été conçu pour produire une classe d'effets, et sa mise en œuvre, dans des conditions prévues par les concepteurs, permet d'actualiser ces effets »* (Rabardel, 1995, p. 60). Nous préférons utiliser le terme de *ressources* au sens qu'Adler leur donne : ce qui permet de *« re-sourcer »* sa pratique professionnelle, de la *« nourrir à nouveau, ou différemment »* (Adler, 2010, p. 25). Nous étendons cette définition à d'autres domaines que l'enseignement des mathématiques, en incluant ce qui permet de ressourcer ses connaissances.

Les ressources, dans l'acception d'Adler, recouvrent, non seulement les ressources matérielles construites par l'homme[24], mais aussi les ressources matérielles naturelles, comme le corps humain, les roches et l'eau, ainsi que les ressources humaines mobilisées dans les transactions, et les ressources sociales et culturelles, comme le temps et les langages (ibid., p. 38-39).

Nous empruntons à Adler (2010, p. 31) la notion de *transparence* des ressources avec les termes de visibilité et d'invisibilité. Une ressource est *visible* quand elle est *« objet de l'attention »*, quand les sujets se familiarisent avec elle et son mode opératoire. Elle devient *invisible* quand les sujets ne prêtent plus attention à sa présence. Entre les deux, la transparence indique une forme d'équilibre : la ressource est vue, mais elle n'est plus le centre de l'attention, elle peut être utilisée.

3.2.2 Des ressources au document

En substituant les ressources aux artefacts, Gueudet et Trouche (op. cit.) étirent la dialectique artefact/instrument de Rabardel[25] à celle de ressources/document.

Leur schéma (Illustration 13, p. 45) explicite le processus de constitution d'un document.

24 Nous utilisons alors aussi artefact, au sens anthropologique de l'anglais *artifact*, un objet produit par l'être humain en vue d'une activité humaine finalisée.

25 Rabardel définit l'*instrument* comme *« l'artefact en situation, inscrit dans un usage, dans un rapport instrumental à l'action du sujet, en tant que moyen de celle-ci »* (op. Cit.)

Celui-ci s'inscrit dans une institution, et pour une classe de situations[26] donnée.

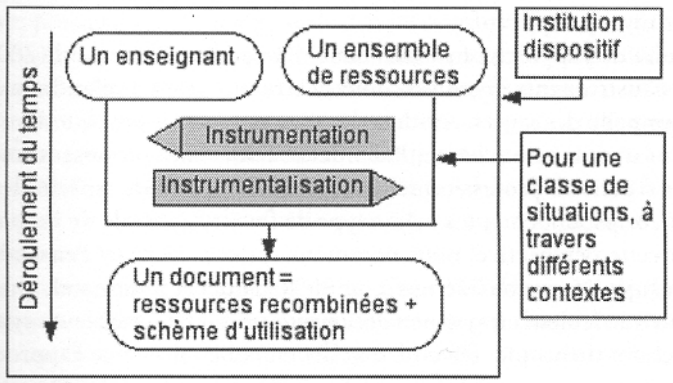


Illustration 13: Représentation schématique de la genèse d'un document (Gueudet & Trouche, 2010, p. 59)

Dans l'intention professorale, une ressource n'est pas employée seule. Elle est associée et combinée à d'autres ressources. Ce travail peut aller de la prise en main d'une ressource telle qu'elle a été conçue, à l'idée de détournement de telle autre pour son projet d'enseignement. Le professeur met les ressources à sa main, les adapte et les articule (intrumentalisation). Au cours de ce processus, il développe aussi des connaissances, et ce développement est influencé par les caractéristiques des ressources mobilisées. (instrumentation).

3.2.2.1 Mobilisation des schèmes en situation

Dans la mise en œuvre de la situation didactique, le professeur utilise l'ensemble des ressources. Il se trouve dans son institution, dans la classe de situations et dans le contexte prévus. Le professeur utilise, avec les élèves, les ressources selon ce qu'il avait anticipé, planifié. Pour agir avec ses ressources, il active un *schème d'utilisation* des ressources. Vergnaud définit le *schème* comme *« une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée »* (Vergnaud, 2001, p. 112) Il développe la notion après Kant, et Piaget qui parle de *schème d'action*[27].

le *but* ou *les sous-buts, les anticipations* sont la partie du *schème* qui représente l'intention, le désir, le besoin, la motivation, l'attente. Cet élément précède et accompagne l'action ;

les *règles d'action*, *de prise d'information et de contrôle* sont la partie moteur du schème. Elle conduit au résultat recherché ;

26 La classe de situations se caractérise par *« des tâches à accomplir et des conditions à prendre en compte »* (Rabardel & Bourmaud, 2005, p. 216).

27 *« Un schème est la structure ou l'organisation des actions telles qu'elles se transfèrent ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues »* (Piaget & Inhelder, 1967, p. 11)

les *invariants opératoires* permettent le prélèvement et la sélection de l'information pour en inférer des conséquences utiles pour l'action, le contrôle et la prise d'information. Ils sont de nature conceptuelle et pas forcément explicite. Cet élément constitue la partie épistémique du schème. Il est composé de *concepts-en-acte* et de *théorèmes-en-acte* ;

les i*nférences* sont présentes dans toutes les activités en situation car une activité n'est jamais automatique mais au contraire régulée (Ibid.).

Gueudet et Trouche (2010) nomment *document* l'association de l'ensemble des ressources utilisées et du schème d'utilisation de ces ressources. Nous considérons que le schème d'utilisation des ressources commence à se développer lors de la préparation de la situation didactique.

3.2.2.2 Orchestration documentaire

De même que l'approche documentaire prolonge l'approche instrumentale, le concept d'orchestration documentaire (Sanchez, 2010) généralise celui d'orchestration instrumentale. L'orchestration instrumentale est définie comme : *« Une orchestration instrumentale est exactement l'agencement systématique par un agent intentionnel des éléments (artefacts et humains) d'un environnement en vue de mettre en œuvre une situation donnée et, plus généralement, de guider les apprenants dans les genèses instrumentales et dans l'évolution et l'équilibrage de leurs systèmes d'instruments. »* (Trouche, 2005, p. 127)

Comme Sanchez, nous appelons la gestion didactique des ressources « *orchestration* documentaire ».

3.2.3 Évolution de l'activité des professeurs

Nous considérons que les professeurs, individuellement, au fil des usages de ces ressources pour une activité finalisée, développent des *schèmes d'utilisation* de ces ressources. Le *schème* décrit à la fois une organisation stable de l'activité du professeur, et les possibilités d'adaptation de cette activité aux spécificités de la situation. En effet, les situations ne sont jamais exactement les mêmes, le professeur doit s'adapter aux incidents dans la classe, faire des *régulations*.

Nous différencions deux types de *régulations* de l'activité, selon la description de Coulet : *« les régulations proactives ont pour fonction l'ajustement d'un schème au regard de la spécificité de la situation à travers la variabilité des actions portées, tandis que les régulations rétroactives*

montrent la réorganisation de l'activité en conséquence des retours sur l'action (feedback) pris en compte par le sujet » (Coulet, 2010, p. 185).

Le processus d'*instrumentation* qui désigne le développement du schème se poursuit généralement pendant l'activité avec les élèves.

Nous clôturons ainsi le chapitre relatif aux cadres théoriques qui nous permettent de nous positionner scientifiquement.

Chapitre 4 - Questions de recherche

Nous présentons ci-dessous un ensemble de questions articulées autour d'éléments mis en tension : des jeux didactiques sur des stands (4.1, p. 49) ; de l'utilisation et du rôle des ressources (4.2, p. 50) ; des pratiques de savoir et de leur didactisation (4.3, p. 51) ; des méthodes pour rendre compte de situations didactiques (4.4, p. 51).

4.1 Jeux didactiques sur les stands

4.1.1 *Milieu didactique* et *environnement de la situation*

Plusieurs des situations que nous étudions se situent en dehors du cadre scolaire. Dans une classe, l'environnement matériel et symbolique est organisé, produit et déchiffré par le professeur et les élèves. Son organisation et son usage sont dans un arrière-plan commun aux élèves et aux professeurs. Une partie du milieu est souvent circonscrite de façon tacite par un contrat, celui des habitudes de travail. Par exemple, les éléments du milieu (sous entendu « avec lesquels on travaille exclusivement au moment où l'on entre dans une activité ») sont ceux qui ont été désignés par le professeur. Ils sont cités, pointés, écrits ou affichés au tableau (dans une zone symbolique partagée), tenus dans la main du professeur ou distribués aux élèves. Selon les classes, les élèves savent que dans le milieu associé à une séance de sciences, ils peuvent/doivent prendre leur cahier d'expérience. Ce cahier contient leur propre production qui fait milieu, c'est dans le contrat. Sur les terrains de nos enquêtes, l'environnement est aussi riche que dans une classe, mais aucun contrat antérieur ne donne de clé de lecture a priori. L'environnement matériel et symbolique est nouveau.

Question 1 : Comment le *milieu* est-il identifié dans un environnement inconnu par les élèves ?

4.1.2 Médiateurs professeurs

Quand les chercheurs endossent leur costume de médiateur et qu'ils s'engagent à enseigner quelque chose aux visiteurs, nous considérons qu'ils jouent un rôle didactique, celui de *professeur*. Le public, même non scolaire, à qui ils s'adressent joue un rôle d'*élèves*.

> *Cette réflexion provient d'un point de vue, celui de la didactique, conçue comme science du didactique, le didactique étant défini « au minimum », dans la tradition de recherche inaugurée par Yves Chevallard (par exemple 1991, 2007), comme ce qui se passe quand quelqu'un (le « professeur ») agit, dans une situation donnée, pour que quelqu'un d'autre (« l'élève ») apprenne quelque chose (« le savoir »).* (Sensevy, 2015, p. 109)

Nos études de cas concernent des transactions entre des visiteurs et des médiateurs, sur les stands, ainsi que notre visite d'une salle d'expérience, guidée par le chercheur qui en est l'hôte pendant ses recherches. Nous considérons que toutes ces situations relèvent de *situations didactiques* où des « *professeurs* » agissent pour que des « *élèves* » apprennent quelque chose.

Question 2 : Comment les *transactions didactiques* s'articulent-elles entre les *transactants* dans le cadre de séances de sciences de très courte durée au village des sciences ?

4.1.3 Un professeur bicéphale

La genèse de notre travail est une réflexion sur le travail conjoint de deux adultes (un PE et un médiateur) aux statuts de professeurs avec le même groupe d'élèves. Le PE a un arrière-plan commun avec ses élèves. Le système d'attentes partagé entre le PE et ses élèves dans le nouvel environnement est-il anticipé, évolue-t-il ? Les médiateurs découvrent ce public, le professeur et ses habitudes avec son groupe sont inconnus. Ils s'adaptent.

Dans les cas que nous étudions de séances ponctuelles sur un stand du village des sciences, nous assimilons le contrat aux éléments de savoirs raisonnablement attendus par les médiateurs, les élèves, les PE et leurs accompagnateurs.

Question 3 : Si des éléments de *contrat didactique* existent réellement dans ce contexte, quels sont-ils ? Comment le *contrat didactique* est-il établi sur une si courte durée ? Comment évolue-t-il ?

4.2 L'utilisation et le rôle des ressources

Le stand présente un *répertoire de ressources* (Gueudet & Trouche, 2010) rassemblées, lors de

la préparation du stand, par le collectif de chercheurs et d'ingénieurs.

Question 4 : Comment les scientifiques sélectionnent-ils, conçoivent-ils et organisent-ils les *ressources* qu'ils utilisent sur les stands étudiés ?

Question 5 : Quelles sont les *ressources* convoquées et quel est leur rôle dans les *transactions didactiques* ?

Les médiateurs-chercheurs utilisent individuellement les *ressources* du stand. Le répertoire de ressources du stand forme-t-il un même *système de ressources* pour chaque médiateur ? Évolue-t-il ? Tous les médiateurs d'un même collectif mettent-ils en œuvre des *jeux d'apprentissage* apparentés avec les mêmes *stratégies didactiques* ?

Question 6 : Les chercheurs font-ils évoluer leur *jeu didactique* au fil de leurs maintes présentations sur les stands ? Comment les chercheurs deviennent-ils *professeurs* ?

4.3 Pratiques de savoirs et leur didactisation

Le *jeu épistémique source* fait appel aux savoirs qui s'actualisent dans les pratiques des hydrogéologues et des physiciens. Comme ils prennent eux-mêmes en charge la médiation, l'ancrage de la situation dans une *pratique de référence* est forte.

Question 7 : Quelles sont les *pratiques de savoir* didactisées ? Sur quels *jeux épistémiques* les différents médiateurs s'appuient-ils ?

Question 8 : Dans le cas particulier de *didactisations* de pratiques scientifiques de savoir, quelles sont les caractéristiques spécifiques du phénomène de *transposition* ?

4.4 Questions de méthode pour rendre compte de situations didactiques

Nous sommes sensible à rendre intelligible l'action conjointe professeur-élève. Il nous parait alors nécessaire de poursuivre le développement de *modèles* et de *systèmes sémiotiques* pour percevoir, décrire et analyser des situations didactiques variées.

Question 9 : Comment *modéliser* (caractériser et représenter) les éléments grammaticaux (transactions didactiques, contrat/milieu, sémiose, ressource/document…) qui constituent nos cadres théoriques, pour rendre compte de ce qui les caractérise ?

Question 10 : Quels *systèmes sémiotiques* participent et aident à la reconnaissance des formes qui se jouent dans les situations didactiques ?

Nous rappellerons l'ensemble de ces questions dans la synthèse de notre étude (Chapitre 9).

Chapitre 5 - Méthodologie : des études de cas

Les situations qui nous questionnent sont la rencontre de scientifiques avec des élèves lors d'un événement ponctuel situé en dehors de l'environnement ordinaire des acteurs. Notre enquête se centre sur des scènes qui se jouent sur les stands du village des sciences : l'environnement matériel, les transactions, les acteurs et les savoirs en jeu à ce moment et en ce lieu. Nos investigations nous mènent ailleurs, en dehors de ces rencontres particulières, sur la trace des acteurs dans leur activité et leur environnement ordinaires (Latour & Woolgar, 1988). Enfin, des pistes sont explorées en fonction des indices trouvés sur le terrain.

Tricot et Comtat considèrent *« la recherche d'information comme un dialogue entre un lecteur-utilisateur et un document (ou système documentaire) »* (2012, p. 15). Nous construisons notre méthodologie autour d'un système documentaire varié que nous tentons d'articuler à nos propres productions.

Nous introduisons ce chapitre avec les *principes méthodologiques* qui guident et instrumentent nos enquêtes (5.1, p. 53). Nous faisons ensuite une description du *film d'étude* de ses traitements et des codages que nous utilisons (5.2, p. 54). Nous explicitons nos choix de terrains d'enquêtes (5.3, p. 60) et nous décrivons le recueil des données (5.4, p. 65). Puis, nous développons un espace dédié à la dépiction qui donne des clés de lectures de nos productions (5.5, p. 71). Nous abordons ensuite l'aspect présentiel de nos enquêtes qui donnent de nouvelles ouvertures, des pistes documentaires que nous explorons (5.6, p. 80). Nous clôturons ce chapitre brièvement (5.7, p. 92), sur certains éléments duquel nous reviendrons en fin d'étude.

5.1 Principes méthodologiques

Nos principes méthodologiques entrent en résonance avec notre cadre théorique, la TACD et l'approche documentaire (Gueudet & Trouche, 2010). Ils sont issus de l'articulation entre des enquêtes anthropologiques et des enquêtes épistémologiques. Ils guident à la fois le recueil et

le traitement des données. Ils peuvent être introduits par les assertions suivantes :

- Nous visons la production de connaissances en enquêtant au plus près de l'action et de ses acteurs. La prise d'indices en des lieux et à des moments quelquefois non prédéfinis est rendue possible par l'attention (Ingold, 2013) portée aux situations vécues ;
- Le recueil des données *in situ* (Quilio, 2013 ; Sensevy, 2013 ; Tiberghien & Veillard, 2013a), films des pratiques et entretiens, constitue le socle des éléments à analyser ;
- Nous suivons des pistes d'investigations ouvertes sur les *systèmes de ressources* de nos enquêtés (Gueudet & Trouche, 2010) qui sont eux-mêmes chercheurs : ils lisent, produisent et didactisent ;
- Notre outil d'analyse didactique est construit sur l'hypothèse que les systèmes de ressources orientent les transactions ;
- Nous n'imaginons pas d'action didactique sans une production d'éléments sémiotiques (Sensevy, 2011a) . Nos propos sont donc articulés à une palette de procédés de représentations : des *systèmes hybrides texte-image*, par exemple.

Les formes d'investigations privilégiées sont empiriques : notre présence sur tous les lieux filmés prolonge, par des observations directes, les enregistrements audio et vidéos effectués dans les situations étudiées. Les données premières sont qualitatives. Dans le même temps, nous avons accès à un corpus d'artefacts qui nous paraissent de deux natures différentes : (1) nous récoltons et assemblons des artefacts produits ou utilisés par les acteurs enquêtés, et (2) nous accédons à un corpus plus ou moins autonome et déjà organisé d'archives, constitué à partir de pistes, ouvertes par des indices pris sur le terrain (Ginzburg, 1980).

Nous prenons en compte, autant que faire se peut, notre participation aux situations. Elle est voulue et influence inévitablement le recueil de données.

5.2 Le film d'étude et ses traitements

La fugacité et la complexité des situations vécues, la défaillance de notre mémoire, et notre subjectivité, nécessitent des moyens d'inscription des situations sur des supports. Nous utilisons des recueils matériels, l'écriture dans des carnets de notes et des collectes, et des enregistrements numériques, vidéos et audio (Tiberghien & Veillard, 2013b).

Dans cette section, nous définissons le film d'étude, puis nous donnons au lecteur quelques indications sur les techniques et codages que nous utilisons.

5.2.1 Le film d'étude, un *analogon* de la pratique

Le film d'étude est un *analogon* de la pratique et de l'action (Sensevy, 2011a). Le film est un analogue de la réalité. Il permet de voir ce qui n'est pas immédiatement perçu, par l'analyse des *« systèmes d'inscriptions qui se substituent aux phénomènes que l'on veut étudier »* (ibid., p. 218). Un mouvement peut être décelé en accélérant la vitesse du film, et reproduit par une suite de photogrammes. Un détail peut être mis au jour avec le ralentissement de l'image, son arrêt ou le zoom.

Il suppose un cadrage adapté à l'agencement des situations et aux questions de recherche. Nous utilisons majoritairement une caméra fixe pour rendre compte de l'évolution des mouvements dans un même cadre. Nous lui adjoignons une seconde captation avec une caméra mobile ou, au minimum, des photos complémentaires sous différents points de vue.

Le film permet des manipulations différées pour re-découvrir les situations, les analyser et les représenter. Des données secondaires, qualitatives mais aussi quantitatives, en sont extraites.

5.2.2 Transcription et traitement des données audio et vidéo avec *Transana*

Transana est un logiciel d'analyse qualitative de vidéos. Il nous paraît adapté aux analyses de situations didactiques et à leur comparaison.

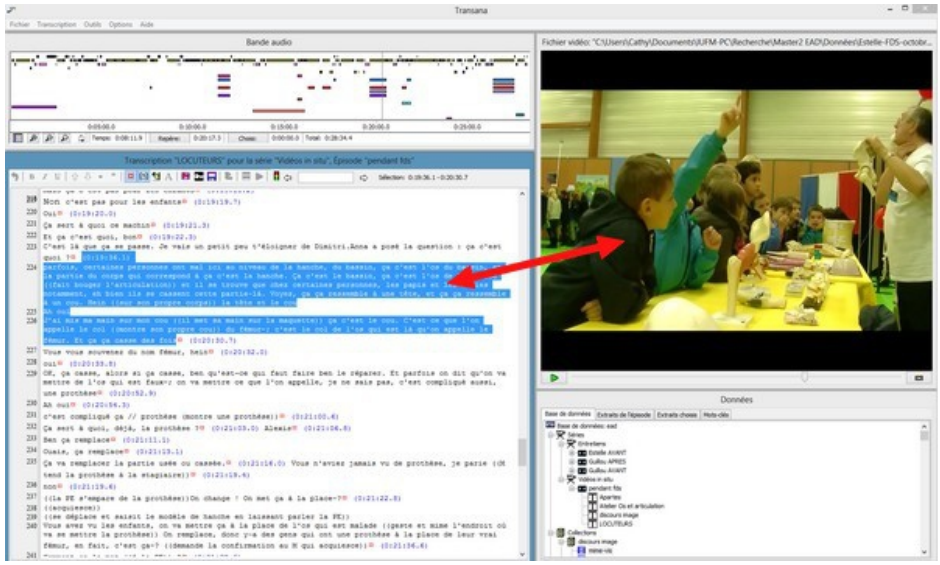


Illustration 14: synchronisation de l'extrait vidéo et de l'extrait de transcription, dans Transana

Dans l'application, nous synchronisons les enregistrements audio (ou vidéo) et de leur transcription. La manipulation des données est facilitée par des raccourcis claviers et une interface qui rassemble la fenêtre de la bande audio/vidéo et la fenêtre de la transcription. Le logiciel permet de créer un lien direct (Illustration 14, p. 55) entre des extraits de transcription et leur visualisation (ou audition).

La classification des données que nous traitons (fichiers audio et vidéo) se fait dans des répertoires. Nous stabilisons leur emplacement dès qu'ils sont indexés dans le logiciel. En effet, chaque média traité sur *Transana* est lu depuis son emplacement physique : les métadonnées créées sur Transana sont liées au média identifié et repéré par son nom de fichier et son URL.

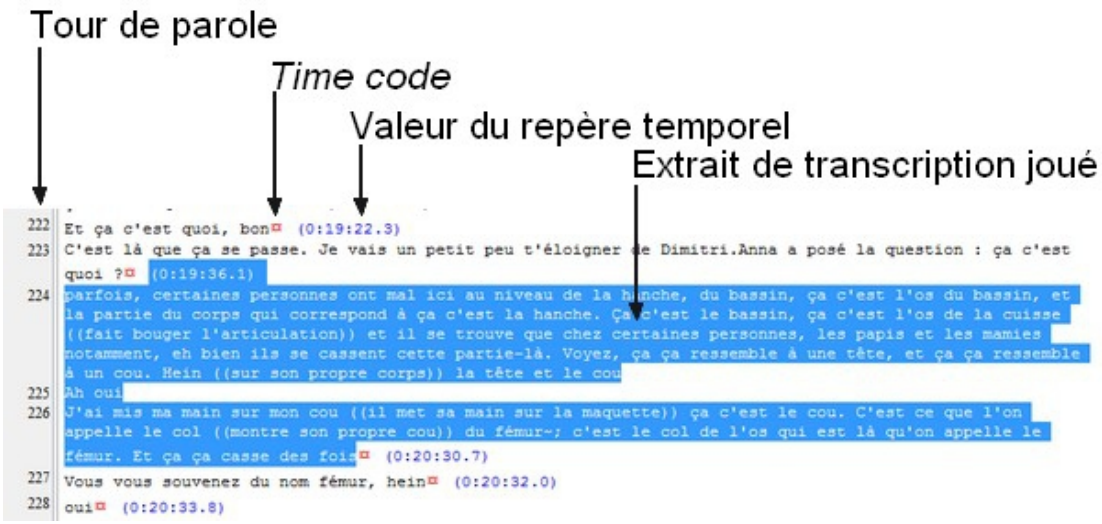


Illustration 15: Découpage de la transcription dans Transana

Lors de la transcription, nous insérons des repères temporels, *time codes*, qui définissent les extraits sélectionnés. La bande vidéo peut ainsi être parcourue avec le curseur du lecteur vidéo, ou par l'intermédiaire du texte (Illustration 15, p.56). Quand nous traitons les images, par ailleurs, nous reportons les *time codes* (tc), graphiquement, sur les photogrammes que nous utilisons.

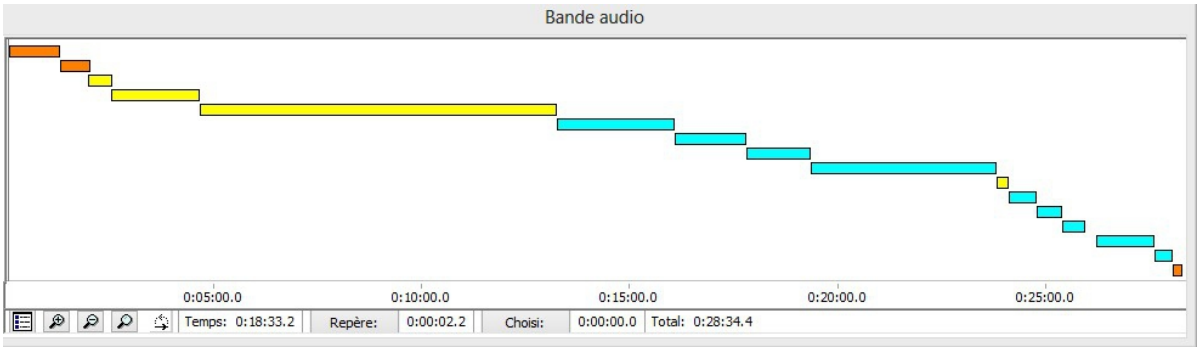
5.2.2.1 Un outil de traitement qualitatif des données audio et vidéo

Dans l'interface, une fenêtre permet de créer et de visualiser la base de données associée à l'étude : un dossier *Séries*, avec l'ensemble des bandes vidéo et audio ; un dossier *Collections* avec les extraits nommés et synchronisés de transcriptions/vidéos ; un dossier de *Mots-clés* organisés en catégories ; un dossier *Recherche* pour faire des requêtes sur les données avec

des opérations booléennes.

Nous indexons chaque extrait avec nos propres descripteurs : locuteurs, contenus, transactant locuteur, espace, ressource.

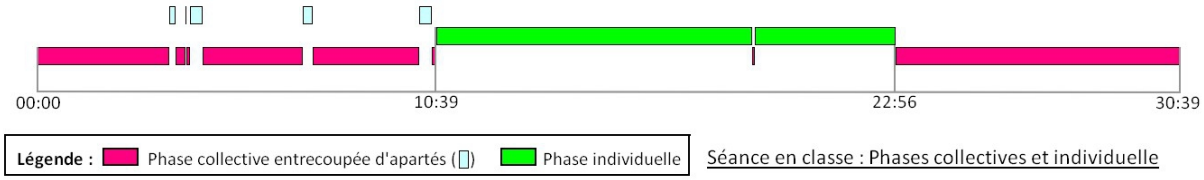
La bande audio peut être paramétrée en oscillogramme (fréquence du son en fonction du temps), ou en diagramme (délimitation d'extraits en fonction du temps). Ce dernier permet de visualiser, dans le temps, des mots-clés affectés aux extraits, et peut donc servir de



Vue_synoptique 2: Bande audio de Transana départ de nombreuses vues synoptiques de notre étude

représentation graphique pour les synopsis de séances ou d'épisodes. Sur le diagramme (Vue_synoptique 2, p. 57), le descripteur choisi est le locuteur initiateur de l'épisode, et les extraits sélectionnés sont ceux relatifs aux épisodes.

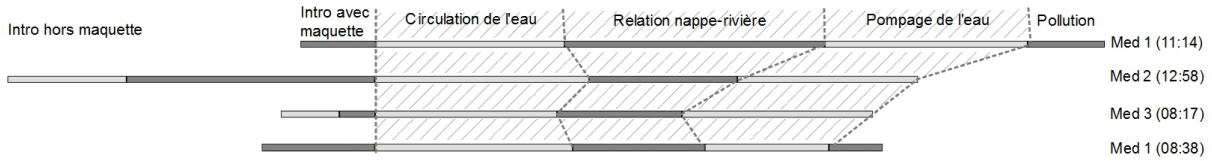
Cet outil, associé à un logiciel de traitement de l'image (*PhotoFiltre7*), nous permet de construire des vues synoptiques des séances (Vue_synoptique 3, p.57).



Vue_synoptique 3: Séance en classe : mise en évidence des apartés hors temps didactique

Cette dernière est destinée à faire apparaître trois grandes phases dans le déroulement de la séance, selon que le travail est individuel ou collectif. Le produit de l'indexation, cette vue synoptique, nous révèle un aspect de cette séance « ordinaire » : les nombreuses interruptions du temps didactique opérées par la PE pour réguler la vie de la classe. Ce sont les apartés qui apparaissent en bleu clair au-dessus de la première phase (Illustration 3, p. 20).

Nous proposons également des comparaisons de séances (Vue_synoptique 4, p. 58). Nous avons réalisé les synopsis de chaque séance séparément, et les avons assemblés selon notre choix, avec un logiciel de présentations pour tableau numérique interactif, *OpenSankoré*.



Vue_synoptique 4: Synopsis comparés de quatre séances sur le stand des eaux souterraines

5.2.2.2 Mises en formes synoptiques et textuelles

Notre étude propose de nombreux systèmes sémiotiques. La présentation formelle des traitements que nous opérons n'est pas intégrée dans la présente étude. Nous en abordons quelques aspects dans la section dédiée à la méthodologie, De la dépiction à la description (5.5, p. 71) et dans la synthèse associée (9.1, p. 362). Nous décrivons ci-dessous différents types de vues synoptiques que nous utilisons, et décrivons notre codification des transcripts.

A. Vues synoptiques

Nous proposons, au fil de cette étude, plusieurs types de vues synoptiques selon le grain, la nature ou les besoins de l'analyse (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2011c).

Dans notre travail, les *vues synoptiques* représentent une typologie d'illustrations (cf. Table des illustrations, p. 411). Elles peuvent prendre la forme de tableaux (7, p. 114), de frises chronologiques (11, p. 159), de schémas (24, p. 367) ou d'histogrammes (9, p. 120). Elles donnent à voir, dans le temps, avec une succession de moments ou de périodes chronométrées, le découpage d'une séance ou d'un épisode. D'autres se présentent sous des formes discursives, des textes mis en parallèle (10, p. 150).

Certaines vues synoptiques n'apparaissent pas dans le corps de notre étude. Nous les produisons pour des présentations orales ou comme outils personnels de repérage (annexes 3, 6, 7, 8, 9, 10 et 11).

B. Transcripts

Les transcripts des entretiens et des séances contiennent les discours ainsi que d'éventuelles informations contextuelles et temporelles. Ils sont une trace écrite de ce qui a été transcrit à partir des enregistrements. Nous nous y référons pour construire notre compréhension de l'activité étudiée. Ils deviennent la trace citée pour illustrer notre propos. Nous nous sommes inspirée des conventions ICOR[28] pour les coder[29].

28 http://icar.univ-lyon2.fr/projets/corinte/documents/2013_Conv_ICOR_250313.pdf (Groupe ICOR, 2013)
29 Cette codification est adoptée dans le corps du texte de la thèse, mais les annexes présentent des transcripts « bruts » non codés.

- Les repères temporels sont indiqués quand cela contribue à la compréhension de l'analyse. Ils sont donnés par les *time codes (tc)* du logiciel Transana (h : min : s'ou min : s).
- Les locuteurs identifiés sont indiqués dans le corps du texte, et abrégés dans les transcripts : la professeure des écoles (PE), les médiateurs (Med), les stagiaires (St), un élève (E) ou les élèves (Es) et le chercheur (C). Au fil de l'apparition des transactants, les noms et abréviations sont donnés.
- Chaque tour de parole (tdp) est identifié par un retour à la ligne, si la transcription est dans le corps du texte ou dans une nouvelle ligne s'il s'agit d'un tableau. Par défaut, les transcripts cités dans les études de cas sont les transcripts de cette étude de cas. Nous indiquons le tour de parole dans la situation étudiée.
- Si un extrait d'entretien est cité dans le texte, il est suivi de sa référence en tour de parole `(Émilie, Entretien rétrospectif, tdp. 72)` ou avec un mot clé : `(Préparation du stand, «Bretagne»)`. La référence (tdp. 72 ou le mot-clé) renvoie à la citation sur fond gris dans l'annexe correspondante.
- Si certains passages se recouvrent, ils sont entre crochets :

L : si on se débat c'est ça qui se passe on va casser les structures d'argile et du coup on va couler tu vois lui
Ado2 : [il s'enfonce]
L : [il descend très vite] il s'enfonce c'est ça (.) lui il s'enfonce mais un peu moins (tdp. 15-17).

- Les didascalies, descriptions, par le chercheur, de l'action, du jeu, du comportement, sont entre doubles parenthèses ((il se retourne)).
- Les extraits inaudibles sont représentés par `xxx`.
- Les pauses sont notées `(.)`, `(..)` ou `(…)` suivant leur longueur (1 à 3 secondes).
- Les segments caractérisés par une saillance perceptuelle particulière (intensité accrue et autres) sont notés en majuscules : `«ça s'appelle une PROthèse».`
- L'intonation montante est notée `/` et l'intonation descendante `\.`
- Anonymat : les noms propres ont été remplacés par des pseudonymes ou des noms générique (visiteur 1), sauf pour les scientifiques sur lesquels nous avons enquêté et dont nous citons les travaux.

5.3 Le choix des enquêtés

Le projet initial vise à enquêter sur l'ensemble des acteurs présents lors d'un atelier : d'une part les classes (élèves et professeur) et d'autre part les médiateurs scientifiques. Les données exploitées dans cette thèse sont issues de deux éditions du village des sciences, mais avec deux approches différentes :

- en 2012, nous étudions la classe d'une collègue maîtresse formatrice, et nous nous invitons, avec l'accord des médiateurs, sur les stands qu'elle choisit de visiter ;
- en 2013, avec le concours de l'organisatrice de l'événement, nous faisons une sélection des stands. En effet, elle nous fait part, dès le mois de juin, de la liste des « exposants » participants. Par courriel, nous présentons notre projet de thèse aux porteurs de projet des trois « exposants » sélectionnés. Deux d'entre eux acceptent volontiers, intéressés par notre démarche. En septembre, avec l'accord et le concours de l'organisatrice et des porteurs de projets des stands, nous contactons les neuf classes inscrites à ces stands pour nous assurer de leur coopération. L'atelier serait filmé et nécessiterait une autorisation des parents. Les professeurs responsables des groupes pourraient éventuellement nous recevoir pour un entretien préalable. Deux professeures d'une même école acceptent. L'une est inscrite sur le stand « Le sable dans tous ses états » et l'autre est inscrite sur le stand de « L'eau du robinet ça coule de source ».

5.3.1 En 2012, une entrée par la classe

15. OS ET ARTICULATIONS

Qu'appelle-t-on rhumatisme ? Connaissez-vous les principaux rhumatismes ? Quand parle-t-on d'arthrose ? D'arthrite ? D'ostéoporose ? De hernie discale ? Qu'est-ce qu'un ciment chirurgical ? Un biomatériau ? Où en est la recherche à ce sujet à l'Inserm ? Dans la région ouest ? Autant de questions et autant de réponses qui vous seront données, en vous permettant de voir et de manipuler du matériel utilisé en milieu hospitalier. Une découverte inédite.

ANTENNE INSERM-JEUNES DE BRETAGNE (INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE, VITRE)
NIVEAUX SCOLAIRES : du CE au BTS

Illustration 16: Stand 15- Os et articulations, extrait du programme du village des sciences 2012

En 2012, nous saisissons l'opportunité de suivre le projet d'une collègue, professeure des écoles maître-formatrice (PEMF). Nous suivons le groupe de CE2 sur les stands choisis : « Os et articulations », animé par un bénévole, pour l'Antenne Inserm-Jeunes (Illustration 16, p. 60) et « La ronde des planètes », animé par des médiateurs de l'Espace des sciences. Nous

étudions, dans le cadre d'une première recherche en Master (Goujon, 2013), l'atelier sur les maladies osseuses car inclus dans une séquence de classe. Le médiateur adhère aussi à notre projet. Nous échangeons par téléphone avant l'atelier, et nous nous rencontrons pour un entretien semi-directif après la séance au village des sciences.

À l'issue du travail de recherche, mené lors du Master nous relativisons nos résultats : la situation nous paraît singulière, peu représentative des co-interventions au village des sciences. D'une part, la PE et le médiateur sont tous les deux des professionnels expérimentés de l'enseignement : l'une, formatrice de professeurs des écoles, et l'autre, professeur de biologie à la retraite. Nous nous interrogeons d'autre part sur la transposition des savoirs en jeu dans ce type d'atelier. Nous décidons alors d'étudier des stands animés par des chercheurs. Par comparaison avec la situation précédente, nous sommes prête à étudier de nouvelles interventions du médiateur enquêté en 2012, s'il propose un atelier similaire en 2013.

5.3.2 En 2013, une entrée par des laboratoires de recherche

Dans le premier cas étudié, en 2012, le médiateur possède ce que Collins et Evans (2002) appellent une « *expertise interactionnelle*[30] » : il n'a pas de pratique scientifique dans les domaines de la recherche en médecine. Il peut en parler aisément du fait de ses interactions prolongées avec des médecins et des chirurgiens[31] et représente, à ce titre, une institution de l'Inserm. En 2013, nous désirons étudier des scientifiques : chercheurs ou ingénieurs de recherche et producteurs de savoirs scientifiques.

Dans cette section nous entrons dans les détails de notre sélection, nous décrivons les stands retenus et précisons les contacts établis pour nous organiser.

5.3.2.1 Les critères de sélection

En 2013, notre enquête commence par des échanges avec l'Espace des sciences. Nous travaillons avec la responsable régionale de l'organisation de Fête de la science depuis la mise en œuvre du plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école

30 *The interactional expertise* est un concept issu des travaux de Collins et Evans, sur ce que ces auteurs nomment la « *Troisième vague des Science Studies* » : « *Third Wave of Science Studies* » (2002).

31 *« Devenir un expert peut alors être pensé comme le résultat réussi d'une période prolongée d'interactions avec une communauté adéquate qui permet en particulier l'acquisition d'une aisance linguistique, sans qu'elle soit forcément accompagnée par un gain équivalent en compétences pratiques »* (Evans, 2008 traduit et cité par Calvez, 2010).

(PRESTE[32]) en Bretagne. Sa collaboration nous permet de prendre connaissance des intervenants et de leur projet dès la programmation de l'événement (juin 2013). Nous sélectionnons alors, dans le tableau récapitulatif des exposants, les stands qui pourraient être candidats à notre étude. Ainsi, nous écartons :

- les stands qui ne sont pas portés par des laboratoires scientifiques (Espace des sciences, Petits débrouillards, établissements scolaires, associations diverses) ;
- les thématiques de stands éloignées des préoccupations actuelles des chercheurs du laboratoire : présentation de généralités autour du sujet de recherche, présentées par un chargé de communication, pas par un chercheur ;
- les ateliers qui ciblent des classes du secondaire, ou qui nous semblent trop éloignés des sciences abordées à l'école primaire (nanotechnologies, biomolécules) ;
- les thématiques qui relèvent d'autres domaines que les sciences expérimentales et la technologie (géographie, archéologie, art numérique, mathématiques, histoire) ;
- des laboratoires trop éloignés de notre lieu de travail (pour des raisons d'organisation pratique).

5.3.2.2 Les stands sélectionnés

Parmi les nombreux stands restants après ce premier tri, nous retenons et contactons les porteurs de projet de trois ateliers (Tableau 1, p. 63) :

- ***Le mal de dos*** est le nouvel atelier proposé par le responsable de l'Antenne Inserm-jeunes, étudié en 2012. Bien que le médiateur ne soit pas chercheur, il nous semble intéressant de prolonger les enquêtes avec de nouvelles données.
- ***Le sable dans tous ses états***, nous paraît être une thématique en lien avec certaines parties des programmes (Ministère de l'Éducation Nationale, 2008) de l'école primaire (« liquides et solides » au cycle 2 ; « la filtration », au cycle 3), sans y être explicitement, car la matière en grains n'y est mentionnée nulle part. Or le sable est un matériau familier des enfants, qui trouble élèves et professeurs quand il s'agit de le classer et d'en décrire quelques propriétés. Il n'apparaît, en tant que tel, dans aucune classe du secondaire non plus. Aucun savoir à enseigner ne semble avoir été défini par

32 Le PRESTE (Ministère de l'Éducation Nationale, 2000) est promulgué le 15 juin 2000, et nous sommes affectée à la mission départementale de *maître ressources* pour coordonner les opérations de rénovation en Finistère, le 1er septembre 2001.

la noosphère pour l'école et le collège. Entre les professeurs venant visiter le stand avec leurs élèves, et les doctorants médiateurs, le seul *arrière-plan* commun ne serait fondé que des expériences empiriques éprouvées de façon individuelle, a priori sans approche théorique.

B	C	D	E	F
Titre	**Description**	**Public /scolaire**	**Établissement organisateur**	**Fonction des intervenants**
Le mal de dos	Qu'appelle-t-on "le mal de dos" ? Quels sont les éléments qui peuvent faire souffrir ? Qu'est-ce qu'une scoliose, une cyphose, une lordose, une sciatique, une cruralgie, un tassement vertébral, un pincement vertébral, une arthrose lombaire, une arthrodèse, etc ? Qu'appelle-t-on "hernie discale" ? L'opère-t-on ? Quels sont les principaux médicaments du mal de dos ? Le repos : ami ou ennemi ?	du CE au BTS	Antenne Inserm-jeunes	responsable régional
Le sable dans tous ses états	Le sable, les gravillons, les poudres sont parmi les matériaux les plus employés par l'homme (après l'eau). Cependant certains phénomènes ne sont toujours pas expliqués ou compris tels que les précurseurs d'avalanche.	du CP à la Terminale	IPR, Institut de Physique de Rennes, UFR des Milieux divisés	doctorants, chercheurs, enseignants-chercheurs
L'eau du robinet ; ça coule de source ?	L'atelier propose de faire découvrir au public quelle est l'origine de l'eau potable en Bretagne qui coule de nos robinets et en particulier quelle est la part et le rôle du milieu souterrain dans le cycle de l'eau. Une animation sera présentée à partir de maquettes d'aquifères permettant de visualiser les circulations de l'eau en milieu souterrain et la vulnérabilité des nappes vis-à-vis des pollutions anthropiques.	du CE1 à la Terminale	BRGM Bretagne, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, et l'OSUR, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes	hydro-géologues

Tableau 1: Extrait de notre pré-sélection de stands pour nos enquêtes futures (tableur)

- La thématique du stand ***L'eau du robinet, ça coule de source ?*** est en lien direct avec le programme du cycle 3 : « le trajet de l'eau dans la nature », et « l'eau, une ressource, le maintien de sa qualité pour ses utilisations ». Entre les enseignants venant visiter le stand avec leurs élèves, et les doctorants médiateurs, il existerait un *arrière-plan* commun : les modèles de bassins versants et les schémas de cycle de l'eau rencontrés dans les manuels scolaires ou lors de formations. Au moment de cette pré-sélection, nous ne pensons pas à la possibilité d'inscription de classes de cycle 2.

Finalement, le stand ***Le mal de dos*** se retire des animations pour les scolaires. Les organisateurs des stands ***L'eau du robinet ; ça coule de source ?*** et ***Le sable dans tous ses états*** répondent favorablement à notre projet d'étudier leur atelier pendant la Fête de la science. Ils acceptent également notre enquête sur les médiateurs, non seulement en situation de médiation, mais aussi dans leur activité de chercheurs au laboratoire. Ces deux ateliers constituent donc nos études de cas pour l'édition 2013 du village des sciences.

5.3.2.3 Les contacts et collaborations effectives

A. La responsable de l'organisation de la Fête de la science

L'organisatrice régionale de la Fête de la science nous permet d'entrer dans le fonctionnement de l'événement. Nous participons à toutes les réunions de préparation et de bilan, et recevons les comptes rendus comme tous les participants du village des sciences Nous avons aussi accès à des documents internes relatifs au planning, aux « exposants » engagés, aux classes inscrites, ainsi qu'à des études réalisées, dans d'autres régions, à propos de la *Fête de la science*. La liste des données obtenues se trouve en annexe 3.

B. Les laboratoires

A l'IPR, nous sommes reçue par quatre doctorants volontaires pour l'édition 2013 du village des sciences, et par de l'assistant ingénieur, mémoire des médiations réalisées lors des éditions précédentes. Avant l'événement, nous assistons à la préparation du stand, découvrons l'environnement de travail de chacune de ces personnes, et avons un entretien semi-directif avec elles. Après l'événement, nous nous entretenons avec les doctorants, et assistons à la soutenance de thèse de deux d'entre eux. Nous rencontrons des permanents du laboratoire et avons l'occasion de revoir du matériel exposé au village des sciences, utilisé à des fins de recherche, des permanents du département « Milieux divisés » ainsi que des départements « Matières molles » et « Matériaux-Nanosciences[33] ».

A l'OSUR, nous rencontrons, pour un entretien semi-directif, dans un premier temps le chargé de mission et l'ingénieure de recherche très engagée dans le projet du stand. Nous assistons ensuite à la préparation du stand avec tous les chercheurs volontaires qui se relaient sur le stand pendant les trois jours de l'événement. Deux ingénieurs hydrogéologues du BRGM sont aussi acteurs de ce moment d'anticipation de l'atelier. Nous rencontrons les ingénieurs hydrogéologues du BRGM et de l'OSUR pour des entretiens rétrospectifs. Nous visitons leur environnement de travail et les observons brièvement dans leur activité quotidienne.

C. Les classes

L'organisatrice nous donne le liste des classes inscrites sur les ateliers que nous avons sélectionnés. Nous envoyons un courriel aux personnes désignées comme contacts dans les écoles (PE de la classe, ou directeur) pour solliciter un entretien préalable à leur participation.

33 Une enseignante-chercheur du département « Matériaux-Nanosciences » nous procure un document (production d'un stagiaire) sur les métiers dans un laboratoire de physique (Annexe 5).

Aucune classe de cycle 3 n'est inscrite. Quatre classes de CP sont concernées pour le stand du sable, cinq classes de CE1 pour le stand sur l'eau. Deux professeures des écoles y répondent favorablement : une pour chaque stand. Nous menons un entretien préalable et obtenons les autorisations de filmer, mais, après l'événement, les professeurs renoncent à participer à la suite de la recherche, par manque de temps.

Lors du filmage du stand sur l'eau, nous nous entretenons *in situ* avec une PE qui n'a pas répondu à notre appel par courriel. Elle est prête à poursuivre des entretiens à la suite de l'exploitation de la sortie en classe. Mais elle y renonce ensuite aussi, en minimisant l'intérêt de l'exploitation réalisée dans sa classe, et en invoquant un manque de temps.

5.4 Le recueil de données pendant les médiations sur les stands

En ethnographie, les sources primaires sont constituées de prises de notes, d'enregistrements d'entretiens, de dessins, de photographies et d'objets collectés sur le terrain. Les données collectées sont principalement numériques.

Pour capturer, enregistrer et stocker nos données, dites de première main, nous utilisons :

- une caméra sur pied, avec un microphone intégré et un microphone plat de visio-conférence ;
- une caméra sur pied avec un microphone intégré
- des enregistreurs Mp3 ;
- un appareil photo, et un *smartphone* (moins encombrant que l'appareil photo) ;
- un ordinateur personnel (PC) portable et un disque dur externe.

Des données de seconde main sont organisées et indexées sur notre PC, mais aussi sur des plates-formes, et quelquefois collectées et partagées sur des réseaux sociaux.

5.4.1 Pendant les médiations sur les stands

L'enregistrement des données s'effectue dans un contexte où les acteurs sont debout et se déplacent dans un espace ouvert et bruyant. Les caméras et les micros doivent être positionnés de façon à filmer les manipulations sur le stand choisi, et à enregistrer les échanges entre les acteurs concernés, sans perturber les mouvements de ces derniers, sans déranger le déroulement de l'atelier. Dans ce contexte, le matériel doit aussi être protégé des bousculades et des vols. Les contraintes ne sont cependant pas les mêmes le vendredi, jour d'accueil des groupes scolaires, et les samedi et dimanche, jours d'accueil du « grand public ». Le samedi et

le dimanche, nous filmons en continu le stand du « sable ».

Photogramme 1: Stand « Os et articulations »

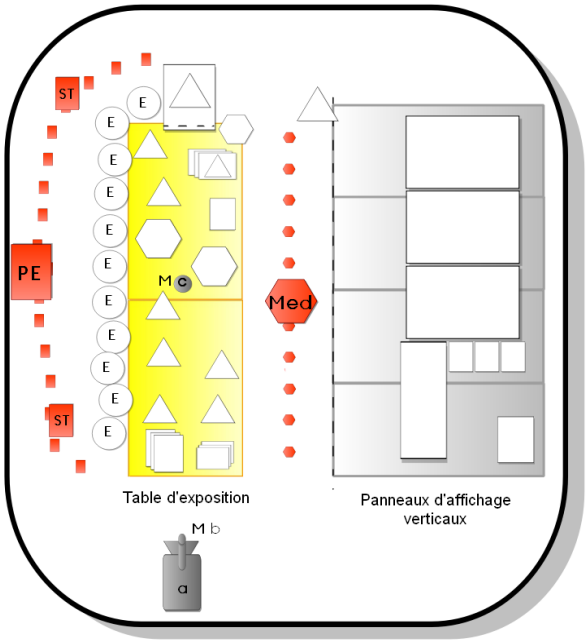
Le premier recueil de données (« Os et articulations », public scolaire, 2012) s'effectue dans de très bonnes conditions et fournit des enregistrements de qualité. Aussi, en 2013, équipons-nous de la même manière le stand « Le sable dans tous ses états ». En effet, l'organisation de l'espace nous paraît le même. Pour le stand « eau », organisé de façon différente, nous adaptons les prises de vues et de son à la situation. Lors de la prise de données de 2012, nous sommes présente lors de l'atelier et du déplacement de la classe dans le village des sciences. En 2013, nous ne pouvons pas être présente sur deux stands distants, en même temps. Nous bénéficions de la présence d'une technicienne pour réaliser les prises de vue et prendre des indices à notre place. Un collègue nous rejoint, à la mi-journée, pour nous seconder dans ces tâches. Revenons sur nos choix et analysons-en les effets, conjugués à ceux de contextes mal anticipés.

5.4.2 L'expérience de 2012 sur le stand « Os et articulations »

Illustration 17: Matériel de captation sur le stand « Os et articulations »

Lors de la séance (30 minutes environ), une caméra fixe (a), placée à la hauteur de la tête des élèves, sur le côté du stand, permet de visualiser tous les acteurs de part et d'autre de la table d'exposition (Photogramme 1, p.66). Le micro de la caméra (Mb) capte les apartés proches de la caméra, et un micro de visioconférence (Mc) est posé au milieu de la table, au centre des principaux échanges (Illustration 17, p.66 et Plateau_de_jeu 1, p.67). Nous sommes équipée

d'un appareil photo, et d'un enregistreur audio autonome, en cas d'échanges en dehors de l'espace filmé.



Plateau_de_jeu 1: Stand « Os et articulations »

Après l'atelier « os » le groupe se dirige vers le second stand visité. Une pause de 10 minutes est enregistrée entre les deux ateliers, durant laquelle les élèves utilisent leur carnet pour prendre des notes à propos de la situation qu'ils viennent de vivre. La caméra et le micro synchronisés sont réutilisés ; l'espace est plus vaste (Photogramme 2 , p. 67) et les élèves travaillent individuellement sur leur support (Photogramme 3, p. 67).

Photogramme 2: Pause entre les ateliers

Photogramme 3: Plan resserré sur les transactions inter-individuelles

L'enregistreur audio et l'appareil photo complètent efficacement le plan large filmé par la caméra fixe.

5.4.3 Deux stands à filmer en 2013

La caméra fixe et le micro de visioconférence sont dédiés au stand du « sable » : le public doit peu s'y déplacer. En revanche, notre technicienne suit et filme le mouvement des groupes qui

visitent le stand sur « l'eau ». Pour prendre des indices sur les deux stands enquêtés, nous circulons entre les deux espaces, équipée d'un baladeur enregistreur. Nous enregistrons, en continu, les échanges auxquels nous participons ou auxquels nous assistons, la matinée puis l'après-midi.

5.4.3.1 « Le sable dans tous ses états »

Le vendredi matin, la caméra est installée en bout de table, dans un espace où le public ne circule pas (Illustration 18, p. 68). Le champ de la caméra filme les dispositifs posés sur la

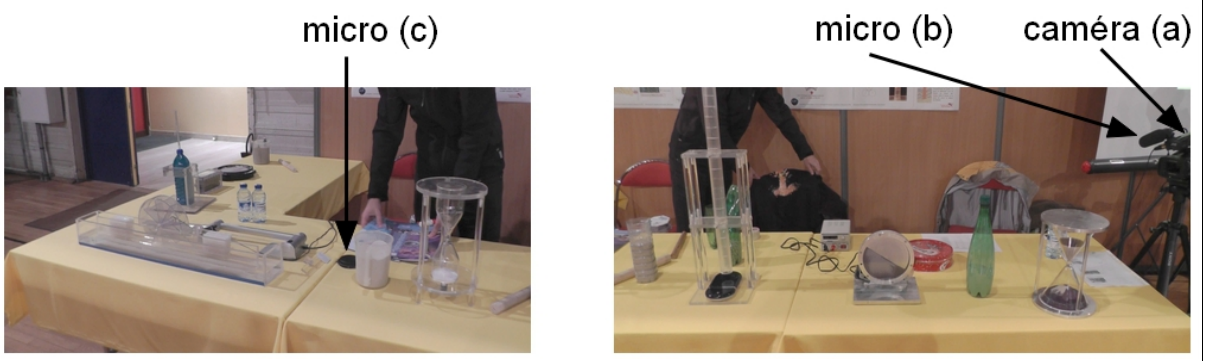
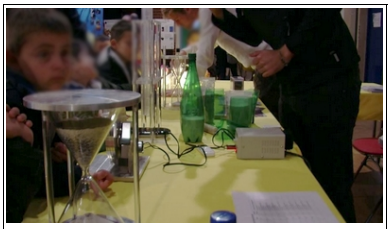


Illustration 18: Matériel de captation initial, sur le stand « Le sable dans tous ses états »

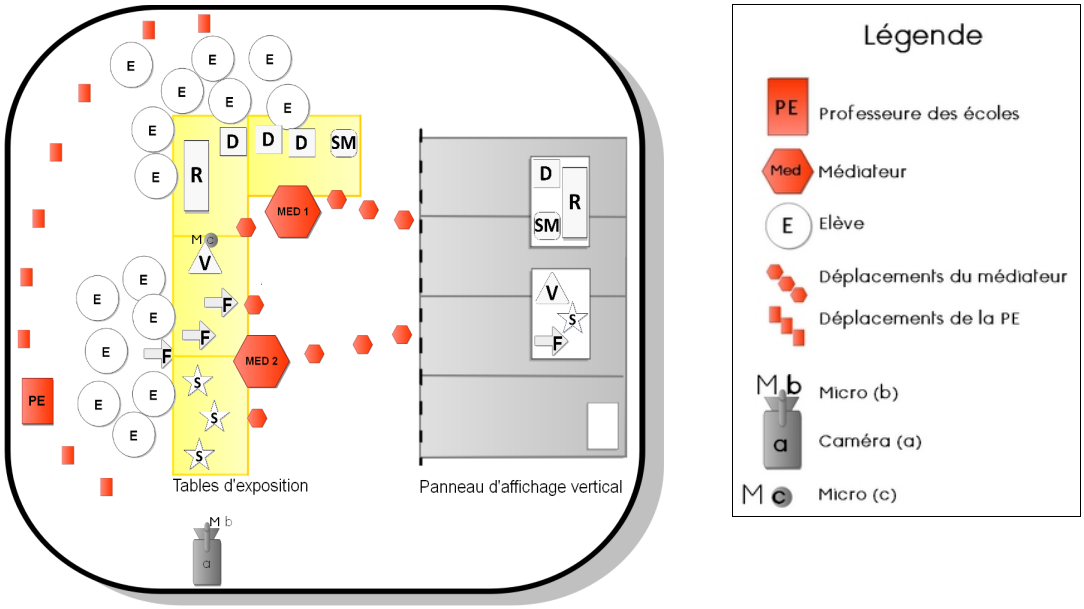
table, les médiateurs d'un côté et le public de l'autre côté. La connectique pour les micros et l'alimentation passe sous la table, sans être exposée aux mouvements des visiteurs. Cependant, trois éléments plus ou moins prévisibles perturbent le recueil de données :

- la configuration du stand n'est pas identique à celle des « Os et articulations ». La table d'exposition, plus grande que la précédente, est disposée en L. La caméra, en bout de table, ne peut filmer l'ensemble de l'espace. Par ailleurs, elle ne peut être posée dans l'angle du L, car le couloir adjacent est très emprunté ;
- les médiateurs dédoublent chaque groupe d'élèves et animent le stand à deux, selon les deux thématiques « sable sec » et « sable humide ».
- un stand voisin, dont la thématique concerne les ondes radio, émet des sons et de la musique qui couvrent la voix des acteurs du stand filmé.



Photogramme 4: Stand « le sable dans tous ses états »

La configuration initiale est abandonnée après le passage de deux groupes. En effet, les voix se mêlent dans le micro central et l'animation la plus éloignée de la caméra est couverte par l'animation au premier plan (Photogramme 4, p.68 et Plateau_de_jeu 2, p. 69). Nous décidons



Plateau_de_jeu 2: Stand « Le sable dans tous ses états », vendredi (configuration initiale)

d'utiliser le micro de visioconférence pour enregistrer l'action filmée par la caméra au premier plan. Nous ajoutons, pour recueillir les échanges, dans l'angle de la table, un enregistreur audio non synchronisé avec la caméra. Cette configuration ne nous satisfait pas, car nous n'avons pas d'image exploitable de ce qui se passe du côté opposé de la table. Nous déplaçons alors la caméra du côté de l'angle de la table, mais sous surveillance. L'après-midi, nous improvisons, avec l'aide d'un collègue supplémentaire, la mobilité de la caméra. Il suit, pour chaque classe, un groupe d'élèves. Un second enregistreur audio est posé sur la table. À chaque départ de la caméra, celle-ci et les enregistreurs autonomes sont synchronisés.

Les données issues de ce stand sont difficiles à exploiter, principalement à cause des bruits extérieurs. Le samedi et le dimanche, nous ne filmons qu'une partie de la table, la zone du sable humide, en continu.

5.4.3.2 « L'eau du robinet, ça coule de source ? »

Ce stand représentant deux institutions se déploie sur une grande longueur. Les médiateurs se relaient pour encadrer les groupes d'élèves. Ils accompagnent chaque groupe, du même côté de la table que le public (Photogramme 6 et Photogramme 7, p. 75), avec une station près de la maquette 1 (M1), puis une autre près de la maquette 2 (M2).

Photogramme 6: Plan pris du côté de M1

Photogramme 5: Plan pris du côté de M2

Nous décidons de poser la caméra dans l'allée, entre les deux maquettes principales (Illustration 19, p.70), protégée en continu par la personne qui filme.

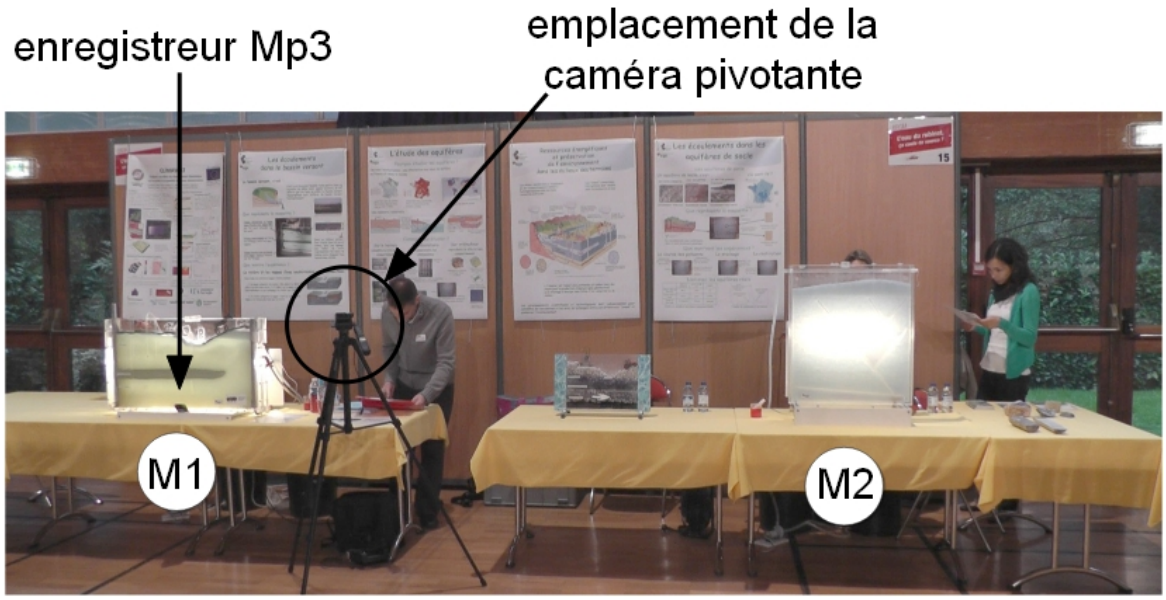
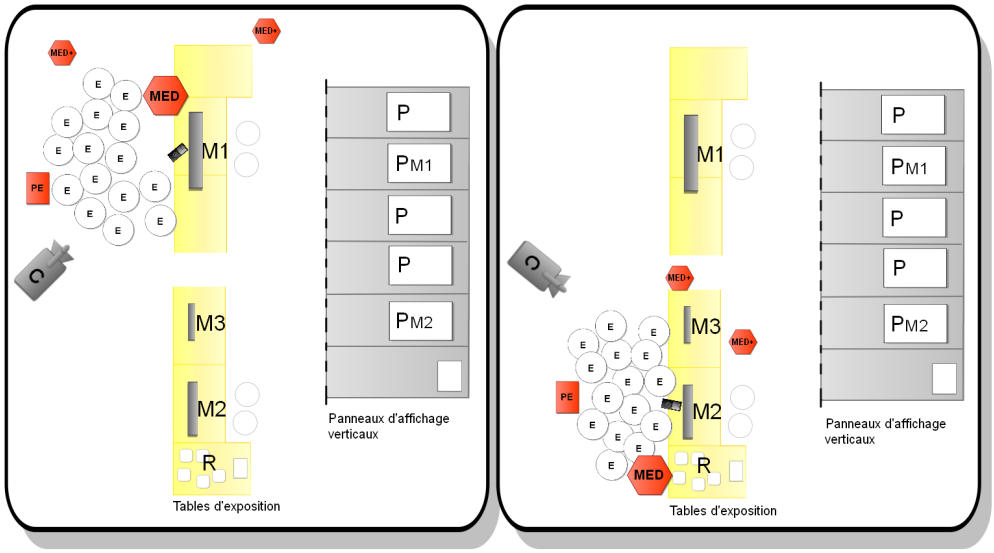


Illustration 19: Matériel de captation sur le stand « L'eau du robinet… » entre les maquettes M1 et M2

La caméra qui surplombe les visiteurs est alternativement tournée vers M1 (Photogramme 6, p.70) puis M2 (Photogramme 5, p.70). La prise de vue plongeante provoque un léger écrasement des transactants. C'est une conséquence de l'agencement du stand et de la circulation dans les allées et n'est pas recherché. En revanche, la plongée nous paraît utile pour décrire la topographie et montrer la position des transactants.

Un enregistreur est posé alternativement devant M1 puis M2 (Plateau_de_jeu 3, p. 71). La captation de l'image et du son, sur cet atelier, requiert la présence d'une technicienne en continu, pour protéger et surveiller le matériel, mais aussi pour déplacer et synchroniser les appareils. Les données recueillies sont exploitables, mais le son doit être postérieurement synchronisé à l'image.



Plateau_de_jeu 3: Stand « L'eau du robinet, ça coule de source !", vendredi, caméra vers M1 puis M2

5.4.4 En résumé

Nous disposons de données sur et à propos de trois stands : **Os et articulations** (village des sciences, édition 2012), **L'eau du robinet ; ça coule de source ?** (édition 2013) et **Le sable dans tous ses états** (édition 2013). Notre corpus est composé de données relatives aux ateliers menés dans le village des sciences, avec un public scolaire, mais aussi avec le « grand public ». Nous rencontrons les scientifiques après l'événement et restons en contact avec l'organisateur et les enquêtés. Nous disposons également de nombreuses données recueillies dans les laboratoires de recherche. Nous n'avons pas de données recueillies dans les classes en 2013, uniquement la séquence sur les os, accompagnée du témoignage de la PEMF et de ses élèves de CE2 (édition 2012).

5.5 De la dépiction à la description

Nous utilisons des techniques pour voir, analyser et montrer l'action, les objets et les sujets en présence, ainsi que leurs relations. Nous proposons un détour en histoire de l'art pour voir les solutions trouvées par des maîtres d'une autre époque. Puis nous regardons comment nous pouvons en tirer parti avec les moyens techniques à notre disposition aujourd'hui.

5.5.1 Chronophotographie et la représentation du mouvement

La chronophotographie est inventée par Marey (Illustration 20, p.72), à partir des années

1870, et utilisée par Eadweard Muybridge pour étudier la locomotion animale. Il s'agit d'une solution technique, le déclenchement d'une série de photographies sur le même support, qui permet un effet graphique : donner l'illusion du mouvement sur une photographie.

Illustration 20: Homme qui marche (Marey, 1891)

Illustration 21: Gestuelle du bras (p. 141)

Nous utilisons nos vidéos pour produire et montrer un tel mouvement discontinu (Illustration 21, p. 72). L'effet est obtenu après le traitement des photogrammes sur des calques[34].

5.5.2 De la fresque aux photogrammes

Avant l'avènement de la vidéo et de la photographie, les hommes cherchent à donner à voir les histoires qu'ils racontent. Dans les églises, les fresques et autres peintures sur bois sont commentées pendant les offices et servent de support pour transmettre les savoirs institutionnels véhiculés par l'ancien et le nouveau testaments, l'histoire des saints de Voragine (1266/1999) ou l'histoire de héros locaux. Ces histoires sont par ailleurs écrites, racontées et commentées.

Les artistes humanistes de la Renaissance italienne font évoluer les techniques de peinture pour donner « l'illusion de la réalité ». Les personnages désincarnés sur fond doré du Moyen-Age laissent la place, au Quattrocento[35], à des personnalités reconnaissables, dans des paysages de plus en plus réalistes. Les riches commanditaires des œuvres se font représenter dans les scènes religieuses. Le peuple, souvent analphabète, apprend et mémorise les histoires saintes mais aussi l'actualité politique contemporaine et locale, grâce aux représentations qui couvrent les murs des édifices publics[36]. Ces œuvres sont montrées et commentées avec une visée didactique.

Il nous semble que l'utilisation du photogramme puisse avoir un pouvoir didactique similaire.

34 Pour produire cet effet, nous utilisons des calques avec *PhotoFiltre7*. http://www.photofiltre-studio.com/pf7.htm

35 Le *Quattrocento* représente la période des années '400 en Italie, soit le XV^e^ siècle italien.

36 *Publics*, dans sens qu'ils concernent le peuple, la population.

Il est d'abord un moyen de dépiction de la situation. Bien que l'image soit très dense, notre lecteur doit pouvoir en faire une première lecture et y prendre des repères. Ainsi, pour restituer une part de la réalité, Forest sélectionne-t-il les moments qui lui paraissent pertinents de montrer. Puis, il découpe ses films d'étude en *photogrammes* : « *le parti-pris pour les photogrammes choisis est que chaque moment puisse être décrit par une succession de quatre à six d'entre eux, et que cette succession puisse permettre d'illustrer au mieux la situation du point de vue de la proxémique* » (Forest, 2006a, p. 247). L'association de plusieurs photogrammes permet de décomposer l'action, les mouvements, les regards, de les montrer au lecteur, de les décrire et de les analyser. Les photogrammes sont ensuite annotés.

5.5.2.1 Annotation des images

Pour exemplifier notre propos, nous comparons deux images, une œuvre picturale du Quattrocento et un photogramme issu de notre corpus. Contrairement à l'artiste peintre nous ne maîtrisons pas complètement la composition de nos images : nos sujets mènent leur propre vie, dans un environnement que nous ne contrôlons pas. Cependant, certaines analogies entre un photogramme (ou une suite de photogrammes) et un tableau du Quattrocento nous paraissent fructueuses pour exprimer les étapes d'une méthodologie d'utilisation des photogrammes en didactique. En effet, n'ayant pratiquement aucune clé d'interprétation de l'œuvre, nous sommes contraints à une première lecture plus distanciée, celle des espaces et des transactions dans les scènes. Nous nous référons ici à deux éléments de proxémique[37] : l'étude des regards, et celle de l'occupation de l'espace.

A. Étude des regards

L*a flagellation*, de Piero della Francesca (Illustration 22, p. 74) est une tempera sur bois de petite taille, partie aujourd'hui isolée d'une œuvre très probablement composée de plusieurs panneaux. Impassible, le Christ regarde son bourreau. Pilate, à gauche, coiffé d'un chapeau rouge et noir, assiste impuissant à la scène, tandis que le personnage au turban semble commander la flagellation. Trois hommes inquiets sont regroupés, en aparté, au premier plan.

Piero della Francesca est artiste et mathématicien. Il rédige des traités de géométrie et étudie, entre autres, les représentations graphiques et géométriques, des regards. Les relations que nous pouvons observer dans l'œuvre ont été construites.

37 La proxémique (Hall, 1971) étudie la gestion par l'individu de son espace et des distances entre personnes dans les processus de communication.

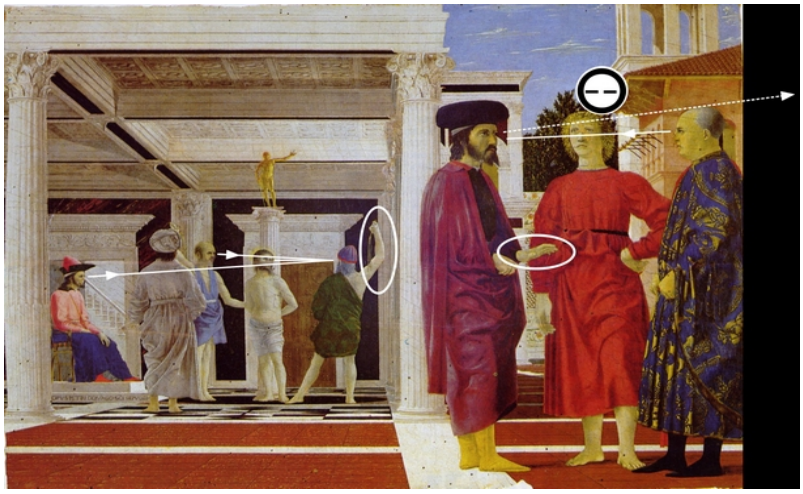


Illustration 22: La flagellation, gestes et regards

Le bras levé armé d'un fouet est au centre du tableau, mais Pilate, le second bourreau et le Christ ne lèvent pas les yeux sur le fouet, ils regardent le visage de celui qui le tient. Un faisceau de regards converge vers le visage du bourreau. Au premier plan, le personnage vêtu de bleu regarde le personnage qui lui fait face. Ce dernier fait un geste de la main, comme pour demander de patienter. Son regard est attiré par quelque chose qui est au-delà de la scène représentée. Entre les deux, le personnage vêtu de rouge a le regard absent.

Les deux scènes ne sont pas synchrones, plus de 1400 ans les séparent. Celle qui est au premier plan fait référence à celle qui est en arrière-plan. Cependant, des personnages contemporains de ceux du premier plan se trouvent dans la scène de flagellation (au second plan). Au XXI^{e} siècle, les hypothèses concernant le sens de cette œuvre sont nombreuses. Nous ne rendons pas compte ici des différentes interprétations de cette œuvre.

L'organisation de l'œuvre suggère une relation entre un événement (qui contrarie des personnages contemporains) et l'action d'autres personnages d'autres contrées (à leur tenue vestimentaire) présentés dans une scène biblique symbolique. Il est probable qu'au XVI^{e} siècle, les contemporains de la création de l'œuvre avaient les clés de lecture. La pratique d'événements sociaux locaux permettait de reconnaître les personnages contemporains ou d'apprendre qui ils étaient.

Dans notre étude, à la suite de Forest (2006b, 2008, 2012), nous montrons de la même façon les relations interpersonnelles dans l'espace des scènes. Le film d'où est extrait le photogramme ci-dessous (Photogramme 7, p. 75) est extrait de nos données vidéo sur le stand *Os et articulations*. Au centre, la table d'exposition sépare le public scolaire (à gauche) du médiateur (à droite).

Des élèves observent le matériel chirurgical brandi par le médiateur, d'autres regardent le médiateur qui parle. La représentation de la direction de leur regard crée deux faisceaux : l'un

autour du visage du médiateur, et l'autre autour de l'objet montré. Un élève semble regarder ailleurs, en dehors du champ de la caméra, et son voisin a le regard absent. La PE les observe avec intensité.

Photogramme 7: Extrait de la médiation sur les os, gestes et regards

L'emplacement de la caméra a été choisi en fonction de la connaissance préalable de la disposition des transactants. La hauteur de la caméra tient à notre décision de filmer à la hauteur des yeux des élèves. Ce qui y est visible sur le photogramme dépend de la position du matériel de captation, mais aussi de la sélection que le chercheur fait parmi les images du film.

Le tableau (Illustration 22, p. 74) et le photogramme 7 (p. 75) ainsi annotés permettent une première description des transactions.

B. Étude de l'occupation de l'espace

Dans l'œuvre de Piero della Francesca, les personnages agissent dans un environnement que nous pouvons mesurer et reconstituer. La photo du tableau (Illustration 23, p. 76) suffit à reconstruire le plan de la situation représentée (Illustration 24, p. 76)[38]. Selon des règles de la perspective linéaire, décrites par Leon Battista Alberti, l'artiste fixe *« la fenêtre ouverte sur l'histoire » (1365/1868, liv. 1 §19)*. Il anticipe le cadrage de ce qu'il veut montrer, et la hauteur de l'œil qui regarde. Ainsi, pour nos films, nous choisissons le cadrage de nos situations et la hauteur de notre caméra.

L'œuvre de Piero est connue pour la rigueur de la construction de la perspective. Elle permet la représentation des relations entre les personnages qui prennent possession des lieux, mais

38 Extrait d'un manuel scolaire (Dorfles, Pinotti, & Ragazzi, 1999, p. 186).

aussi la lecture des espaces architecturaux. Les descriptions de ces espaces sont multiples. Elles peuvent pointer l'anachronisme de la scène biblique sous un portique de style classique, avec, à l'extérieur, un paysage urbain de la Renaissance. Elles peuvent consister en une reconstitution du plan de la scène pour y localiser les acteurs, ou pour identifier le lieu représenté.

Illustration 23: Tempera sur bois, La flagellation, Piero della Francesca (1460)

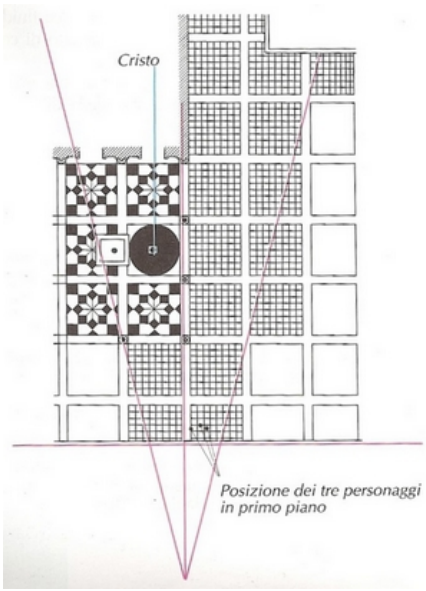
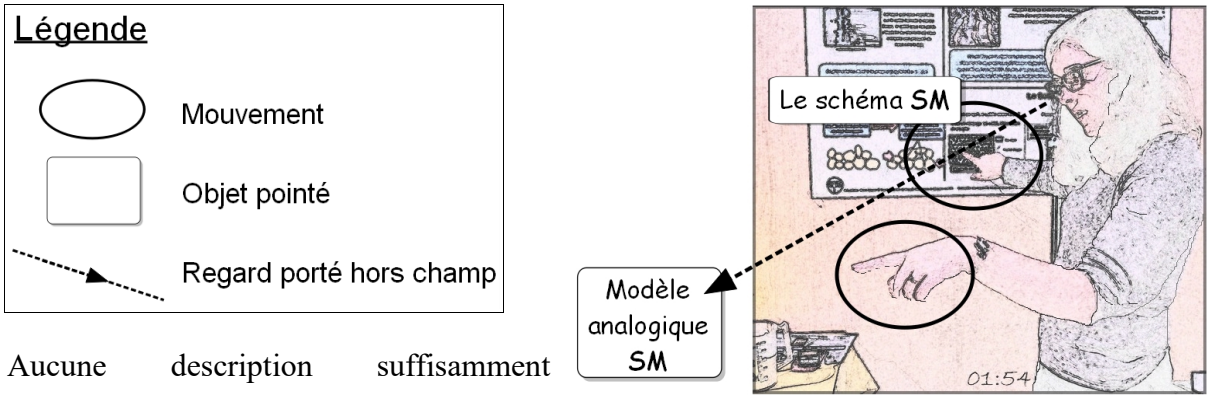


Illustration 24: Reconstitution du plan de la scène peinte

La construction de l'espace et de la proxémique (Hall, 1971) sont mis au service du spectateur pour déchiffrer la situation, bien que manquent toujours ici des éléments majeurs pour interpréter l'image : l'identité des personnages, le contenu et l'enjeu de leurs échanges, le lien entre les deux scènes.

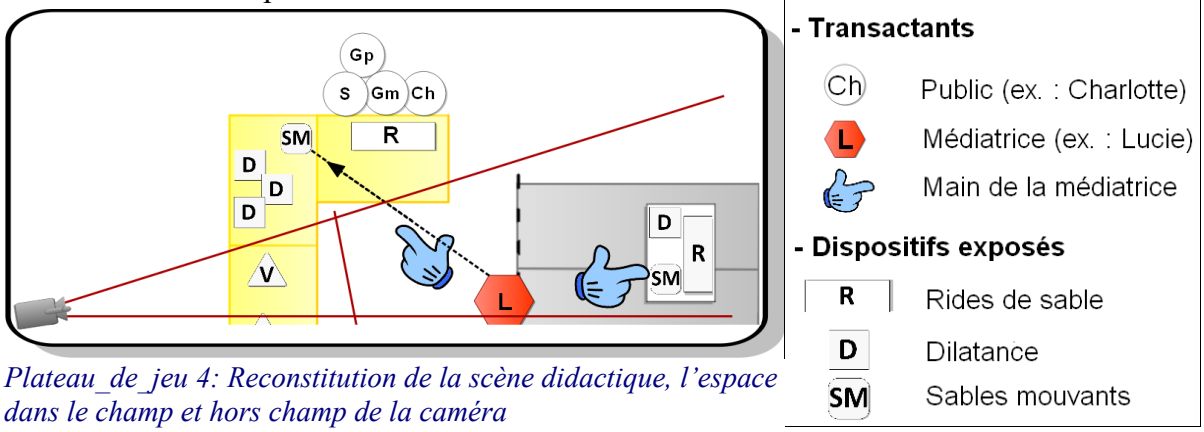
Dans notre étude, nous associons aux photogrammes des plans reconstruits des lieux où se jouent les situations didactiques. Nous les nommons *plateaux de jeu*. Par exemple, la combinaison du Photogramme 8 (p. 77) et du Plateau_de_jeu 4 (p. 77) est un usage que nous faisons de ces représentations de l'espace où se joue la situation didactique.

Nous devons par ailleurs annoter les images avec des flèches et des légendes, mais aussi combiner ces représentations analogiques avec des textes qui explicitent le contexte, l'identité des transactants, mais aussi la situation et l'analyse que nous en faisons.



Photogramme 8: Relations produites par Lucie dans son espace personnel

Aucune description suffisamment détaillée[39] ne permet aujourd'hui d'interpréter la composition du tableau de Piero della Francesca, et les scènes contiennent encore de nombreux mystères. À l'époque, les fresques et autres tableaux étaient décrits et commentés oralement. Il nous paraît essentiel que nos productions graphiques soient annotées à leur tour par des textes.



Plateau_de_jeu 4: Reconstitution de la scène didactique, l'espace dans le champ et hors champ de la caméra

5.5.2.2 Système d'annotations réciproques, système hybride texte-image

Nous associons toute production iconographique à une description, susceptible de la contextualiser pour l'interpréter correctement. Nous restituons nos observations au moyen de *systèmes hybrides texte-image-son, dits SHTIS* (Sensevy, 2011a ; Blocher, Joffredo-Le Brun, Kerneis, & Magnen, 2013). Le discours verbal et le discours iconique sont peu redondants car porteurs de significations différentes. Ils sont parfois volontairement répétés pour manifester

39 Une inscription en latin aurait existé (rapporté par Passavan, en 1839) sur le support mais a disparu : *« convenerunt in unum »* peut être une simple didascalie ou alors un extrait de la bible (Psaume 2 verset 2). Nous mesurons les difficultés d'interprétation liées à l'existence-même de l'inscription, au lien avec la Passion du Christ ou pas, et à la traduction, intention de l'artiste et interprétation du texte latin par les observateurs d'alors, et d'aujourd'hui : « ils se sont ligués » ?

une insistance ou revêtir une nouvelle signification dans leur relation avec un nouveau discours, un nouvel environnement graphique. Le digital et l'analogique sont des modes de communication complémentaires :

> *Il est d'ailleurs de connaissance commune que les références aux relations interpersonnelles sont difficilement digitalisables (« un regard en dit plus qu'un long discours », etc.) et que les références aux choses sont mal rendues par l'image (comment réaliser la présente étude en bande dessinée ?)* (Winkin, in Sensevy, 2011a, p. 220).

5.5.3 La bande dessinée

Nous venons d'évoquer la production de photogrammes et la nécessité de systèmes hybrides d'annotations entre le texte et les images. Regardons à présent comment des techniques de bandes dessinées enrichissent nos études anthropologiques.

Roesslé fait l'analogie entre les suites de photogrammes et la bande dessinée (BD). Comme elle, nous considérons la BD comme

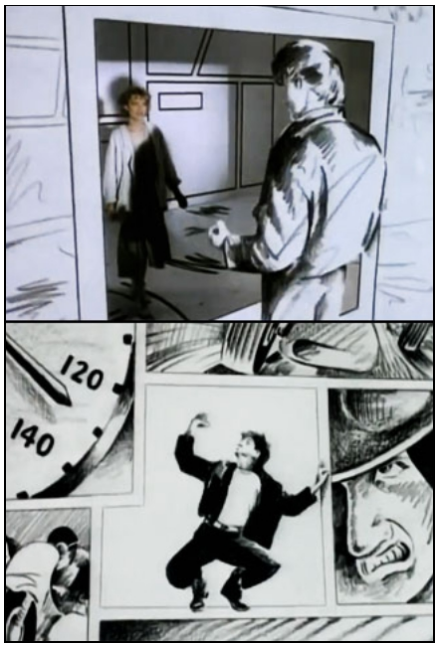
> *un ensemble sémiotique et iconique défini. Elle permet de raconter des histoires au moyen d'un enchaînement signifiant de dessins. Les éléments qui la composent répondent ainsi à certains problèmes auxquels nous devions faire face afin de transcrire le plus justement possible la sémantique de l'action* (2009, p. 146).

Suite à Roesslé, Morales-Ibarra (2014, p. 173-175) et Besnier (2016, p. 147-150) nous développons la technique dite de la « bande dessinée » pour décrire les situations didactiques. L'association de plusieurs images permet de décomposer l'action, les mouvements, les regards, de les montrer au lecteur, de les décrire et de les analyser. Mais jusqu'alors, les séquences d'images sont surtout des séquences de photogrammes, à la manière des romans-photos.

Nous proposons de mixer les techniques et de les faire cohabiter : nous conservons la version photographiée quand elle est lisible ; pour renforcer les aspects de proxémique, nous remplaçons les photogrammes des transactants par leur silhouette crayonnée. La technique est automatisée avec le logiciel VLC[40], à partir des vidéos d'origine. Outre la possibilité d'extraire des photogrammes dessinés, l'application permet de traiter la vidéo qui peut alors être lue sous la forme de dessins animés.

40 Une de nos perspectives de travail est la production d'un tutoriel concernant ce type de techniques et des formes d'usages, à des fins de formation.

Rappelons le clip artistique du groupe A-Ha, en 1985. La partie dessinée de cette production hybride « vidéo-dessin animé » est alors réalisée image par image (A-Ha – Take On Me, 1985). L'effet attendu dans notre travail n'est pas d'abord esthétique. Il vise à rendre plus aisée la lecture des images.



Photogramme 9: Extrait du clip « Take on me » du groupe A-Ha (1985)

Nous signalons que dans nos vignettes, les événements sont en adéquation avec le monde physique. Certains effets sont des ruptures rhétoriques, mais ne relèvent pas d'un univers de fiction. Ainsi, outre l'annotation réciproque du texte et de l'image, les photogrammes sont-ils commentés à l'intérieur des vignettes : la main gantée de l'auteure s'invite dans l'espace de la vignette ou y laisse une trace (Photogramme 42, p. 205). Des flèches explicitent des directions, l'incrustation d'initiales sur leur vêtement permet d'identifier les transactants.

Nous intervenons dans des *récitatifs* : des rectangles sur fond blanc pour situer les scènes, et de petits rectangles sur fond gris pour identifier les *moments clés* (mc), des unités sémantiques que nous analysons. Des *time codes* (*tc*) relatifs à la vidéo sont posés discrètement sur l'image.

De l'univers de la BD, nous nous approprions quelques codes mais les adaptons à notre travail de recherche. Les vignettes contenant les photogrammes sont souvent isolées. Elles apparaissent également sous la forme de bandes, horizontales ou verticales, pour assurer une continuité narrative. Des cadres nous paraissent nécessaires pour délimiter une succession de vignettes : de simples traits pour des scènes relativement longues ou un effet pellicule pour signifier une séquence rapide. Groensteen fait remarquer : « *contrairement à ce que l'on pourrait penser, une image immobile n'est pas nécessairement dépourvue de durée interne. En fait, une vignette de bande dessinée est rarement un instantané. Quand le personnage parle, on doit prêter à la vignette une durée au moins égale au temps nécessaire pour prononcer (ou lire) les paroles inscrites dans la bulle*. » (Groensteen, 2008)

Nous utilisons plusieurs modes d'introductions de discours verbaux dans un pur style de bande dessinée : des onomatopées, des bulles et des cartouches. Nos *phylactères* (bulles), reliés par un trait au transactant qui parle, contiennent des extraits issus de la transcription de

la vidéo. D'autres, aux formes plus arrondies sont reliés aux transactants avec des cercles de grandeur décroissante. Ils ne contiennent pas de texte mais nous permettent de faire un *tressage* de l'action *hic et nunc* avec une situation passée, un arrière-plan que le transactant convoque dans l'instant. Elle est mise en lien avec la situation principale. Telle une citation, l'image peut être extraite d'une autre œuvre, et rappelée à la mémoire du lecteur. Ce procédé « d'intertextualité » est utilisé si l'événement rappelé est évoqué par le transactant, ou s'il permet de renforcer notre analyse.

Des images sont mises en résonance ou en opposition, dans la même vignette, côte à côte, et, quand cela est possible, sur des pages en vis-à-vis.

Illustration 25: Tressage de deux images de sauvetages dans des sables mouvants

Dans le tableau de Piero della Francesca, les deux scènes sont séparées par une colonne. La proximité suggère une analogie ou un rapport entre les deux. La juxtaposition n'est pas le fruit d'un hasard : le peintre « cite » un extrait du nouveau testament dans une situation moderne. La technique narrative nous paraît puissante. La juxtaposition des deux scènes invite le lecteur à la comparaison et crée un maillage, un jeu d'intertextualité : il s'agit ici de voir la situation actuelle avec la même lecture que ce que la situation biblique (en arrière-plan) véhicule dans la culture locale. Nous utilisons des techniques similaires d'associations d'images pour engager notre lecteur dans des comparaisons et enrichir une image avec la sémiose produite par une autre (Illustration 25).

5.6 La présence in situ et l'ouverture de pistes

Notre présence *in situ* nous paraît nécessaire. Nous nous appuyons sur les données recueillies, mais notre présence *in situ* nous permet de saisir le sens de la situation dans le contexte. Tous nos sens s'en imprègnent et nous fournissent une somme d'indices dont nous ne pouvons préjuger de l'importance au moment où nous les percevons. Beaucoup de liens entre les données obtenues et les observations *in situ* sont effectués a posteriori.

5.6.1 L'attention *in situ* ouvre des pistes

Les seuls enregistrements vidéos apportent peu d'indices contextuels. Le champ de la caméra et le moment de l'enregistrement excluent des éléments. Présente sur un stand, nous avons par exemple été témoin d'une inondation, indétectable sur les images enregistrées. Cet événement semble être une explication plausible et suffisante à la station debout du groupe d'élèves en visite à ce moment-là, alors que les groupes précédents étaient assis par terre.

Les enregistrements audio et vidéos sont programmés et dirigés selon des intentions préalables du chercheur qui ne prennent pas toujours en compte les découvertes réalisées en chemin. Ils se présentent nécessairement comme des actions ponctuelles localisées dans l'espace et le temps, alors que la présence physique de l'observateur nécessite un parcours, la traversée d'un espace inconnu qui peut être révélateur de pistes pas toujours envisagées *a priori*. Ingold (2011b/2007) nous invite à redevenir les « itinérants », marcheurs (*wayfarer*) pour percevoir le monde et les lignes qui le constituent. Ainsi, les couloirs et les salles des laboratoires nous accueillent, couverts de posters tels les murs d'églises du *Quattrocento* couverts de fresques (Illustration 26, p. 81). Les uns et les autres, selon des techniques propres à leur époque, mettent en scène les savoirs qui fondent leur existence, témoignent de leurs pratiques, dans un contexte particulier (artistique, politique ou scientifique) et révèlent les acteurs en jeu (sujets, mais aussi auteurs et mécènes). Les délégations invitées à l'IPR ne visitent pas uniquement les salles de réunion et les salles de manip. Les posters aussi sont commentés (annexe 44, billet de blog[41] du 30 novembre 2015, sous l'onglet « Grand public » du site de l'IPR). Notre attention ne vise pas seulement l'objet, but de notre visite, ou le sujet interviewé, mais la découverte du chemin pour y arriver. Les couloirs racontent des histoires aux visiteurs : les faits produits dans les lieux, l'histoire de ces faits et l'intention des maîtres des lieux. Notre parcours pour aller à la rencontre de nos enquêtés est semé d'indices à explorer. Ni l'étude du fac-similé d'un tableau, ni la rencontre avec une œuvre originale dans un musée, ne remplacent la découverte d'une œuvre dans son contexte originel, mais toutes les données alimentent différemment l'enquête.

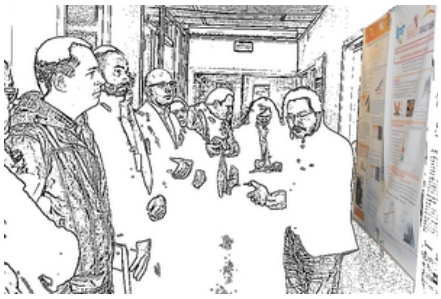


Illustration 26: Explications devant les posters

Nous tentons de définir notre rôle dans les situations observées. Au fil des enquêtes, la posture

41 https://ipr.univ-rennes1.fr/archives/category/grand-public

d'observatrice extérieure à la situation, initialement imaginée et recherchée, se transforme naïvement et spontanément en diverses formes de participations.

En 2012, c'est parce que nous entretenons une relation de confiance avec la maîtresse formatrice que celle-ci nous invite dans sa classe, partage avec nous son système de ressources, et joue le jeu des *interviews*. Elle facilite le projet, qui devient, par la suite, un support commun de formation continue, en co-intervention. Nos chemins se rejoignent encore régulièrement.

En 2013, les laboratoires qui acceptent d'être le support de nos enquêtes se disent intéressés par notre démarche et notre projet. Leur participation au Village des sciences, sur laquelle nous proposons d'enquêter, n'est pas leur activité principale, mais fait partie de leurs préoccupations. Le chargé de communication d'une des institutions le spécifie dès notre première rencontre :

> CC : la fonction communication au sens large dont je m'occupe et à l'intérieur de la fonction de communication/ l'objectif de médiation scientifique/ d'ouverture vers le grand public/ ou des choses du type de la valorisation au sens large/ ou plus spécifique de la valorisation économique/ ça fait partie/ dans le domaine de l'environnement/ de nos préoccupations\ (.) on l'a institutionnalisé en mettant une personne et des missions là-dessus\ il faut communiquer sur ce qu'on fait\ voilà\ la vulgarisation des sciences/ la relation sciences-société/ ça c'est quelque chose à laquelle on est particulièrement sensibles\ (.) c'est une priorité pour nous en termes de communication\ (tdp. 34, entretien préalable OSUR).

Nous sommes pleinement accueillie comme observatrice et vecteur de communication. Les acteurs rencontrés dans les laboratoires répondent à nos questions, nous font visiter leurs salles de manip, nous invitent à la soutenance de leur thèse, nous préviennent si un événement est susceptible de nous intéresser.

Les interviews sont des moments d'échanges plus formels. Nos enquêtés sont intéressés par notre analyse, un retour que nous leur promettons, après notre étude.

Au village des sciences, nous avons aussi un double rôle : tantôt enquêtrice pour notre recherche et tantôt visiteuse du stand. Nous filmons et observons les interactions entre les médiateurs et le public, mais nous profitons d'opportunités pour nous faire expliquer des éléments de savoir.

Nous nous sentons *insider* et *outsider*, *insider* en tant que participante à la visite d'un laboratoire ou comme public d'un stand, *outsider* en tant qu'enquêtrice (Spradley, 1980, p. 4). Ingold différencie l'ethnographe de l'anthropologue au fait que le premier a toujours en

arrière-pensée son étude. L'anthropologue, en revanche, s'immerge et prend sa place dans la vie sociale des groupes qu'il étudie. Nos visites dans les laboratoires sont relativement rares et ces situations sont assez exotiques pour nous. Notre attention, pendant ces moments, nous parait exacerbée et « tous azimuts », certes peu ordinaire, mais conforme au rôle d'invité qui nous est attribué. En tant qu'observatrice, nous entrons dans une partie de la vie sociale des scientifiques, de leurs activités didactiques. Nous ne sommes pas complètement étrangère à leurs projets : la vocation de communication des institutions, mais aussi les projets individuels. Lucie et Virginie veulent améliorer leurs médiations et nous demandent régulièrement notre avis. Avec Antoine, nous avons de nombreux échanges à propos de la formation des professeurs des écoles, le métier dans lequel il se projette après son doctorat.

Le recueil des données sur le terrain est principalement constitué des enregistrements audios et vidéos. Notre recueil de matériau pendant les périodes d'observation sur le terrain se prolonge par une forme d'*introspection* (ibid.) : notre blog[42] a joué ce rôle de recueil d'impressions, de jugements, de sentiments, juste après avoir observé et vécu des situations sur le terrain. Ces premières impressions, peu objectives, ont enrichi les données recueillies, et ont été les bases de premières pistes de réflexion.

5.6.2 Collectes auprès des acteurs au cœur de l'action

Nous collectons auprès des acteurs, sous la forme d'entretiens, des informations qui nous paraissent pouvoir alimenter notre corpus de données, affiner notre compréhension des situations, nous donner des pistes d'interprétations, ou de recherche ultérieures. Ces données, discursives (issues d'entretiens ou de discussions informelles), matérielles (plaquette de présentation du laboratoire) sont recueillies lors des enquêtes sur le terrain. Les historiens débattent de la validité en tant qu'archives des sources orales (Voldman, 1992). Nous considérons que le témoignage des agents, et les descriptions orales qu'ils font de leur propre pratique, fournissent un matériau empirique précieux pour mieux comprendre les situations que nous observons. Ces données sont recoupées avec d'autres pour alimenter nos enquêtes.

Les productions scientifiques de nos enquêtés (posters, articles, thèses), mais aussi les écrits que leurs collectifs communiquent au « grand public » sont recueillies lors des entretiens et des rencontres, d'autres sont récupérées de façon différée lors d'échanges de courriels. D'autres encore sont accessibles sur les sites des institutions dans lesquelles nous enquêtons.

42 Nous proposons au lecteur, en annexe 1, un de nos premiers billets, *Blog pour le chercheur,* de ce web-journal de recherche personnel ouvert à nos directeurs.

Ces sources sont conservées : stockées et indexées aux formats papier ou numériques ; leur référence est indexée et éventuellement commentée (annexe 3).

Les acteurs liés à notre enquête sont au cœur de l'action. Nous étudions leurs gestes, leur discours, leur place dans les transactions. Ils sont aussi témoins des situations vécues, sur les stands, dans leur collectif et leur institution.

5.6.3 Mémoire d'une communauté comme base de l'enquête

Les investigations que nous menons dépassent la porte des laboratoires. L'activité sur les stands concerne le partage de savoirs scientifiques. Aussi, une part de notre travail de recherche consiste-t-elle en une enquête dans des domaines aussi variés que la chirurgie, l'hydrogéologie et la physique du sable, sur des sujets très spécifiques qui sont abordés sur les stands enquêtés : les prothèses de hanches ou l'arthrodèse ; la loi de Darcy ; l'effet Janssen, la dilatance de Reynolds ou la thixotropie. Ces investigations doivent nous permettre de comprendre et de décrire les savoirs source dans les institutions où nous enquêtons, dans leurs relations avec les savoirs en jeu sur les stands. Elles mettent aussi en tension les savoirs du public non-connaisseur, avec l'histoire de ces savoirs dans les collectifs scientifiques. Des annexes présentent des traces d'investigations à propos de la *dilatance de Reynolds* (annexe 12) et les *sables mouvants* (annexes 13, 14, 15, 16, et 17).

5.6.3.1 Recherche d'indices

Nos enquêtes relèvent d'un travail sur des archives papier, numériques ou numérisées : des articles récents ou des journaux anciens, la littérature « grise » (rapports, évaluation), etc. Les premiers indices trouvent leur origine dans l'enquête de terrain, dans l'attention portée aux échanges avec les acteurs, à leurs actions, au contexte, etc. Nos recherches sont alors menées en bibliothèque et sur internet. Nous ne nous en remettons pas totalement au hasard pour autant. Ginzburg s'interroge sur le rapport entre le hasard et l'impulsion préalable ou le préjugé :

> *« On parle assez peu de ce rapport, bien qu'il soit au cœur de la recherche, parce que le hasard est mal vu, on le croit incompatible avec une démarche scientifique. Or le hasard est filtré et refaçonné par des éléments préalables. Ou, pour dire les choses autrement, il y a interaction entre le hasard et celui qui le surprend. »* (Ginzburg, 2010)

Revenons un instant au tableau de la Flagellation du Christ. Ginzburg (1981) fait partie des historiens qui ont œuvré à la question de l'identification des personnages présents sur l'œuvre

de Piero della Francesca. Les nombreuses interprétations sont issues d'enquêtes, à partir d'indices repérés sur le tableau, recoupés avec des archives historiques. Le chapeau particulier du personnage qui représente Ponce Pilate, à gauche du tableau, est aujourd'hui identifié comme celui des Paléologues. Le personnage représenté pourrait être Jean VIII Paléologue, empereur de l'empire chrétien d'Orient, dont Pisanello fait plusieurs portraits (Illustration 27, p. 85). L'homme au turban serait l'ennemi turc responsable du massacre de Constantinople. Le Paléologue assiste impuissant à la mise à mort de son empire. Sans entrer dans l'interprétation artistique et historique de l'œuvre, nous pouvons en faire une lecture à partir des éléments sémiotiques placés sciemment par le peintre.

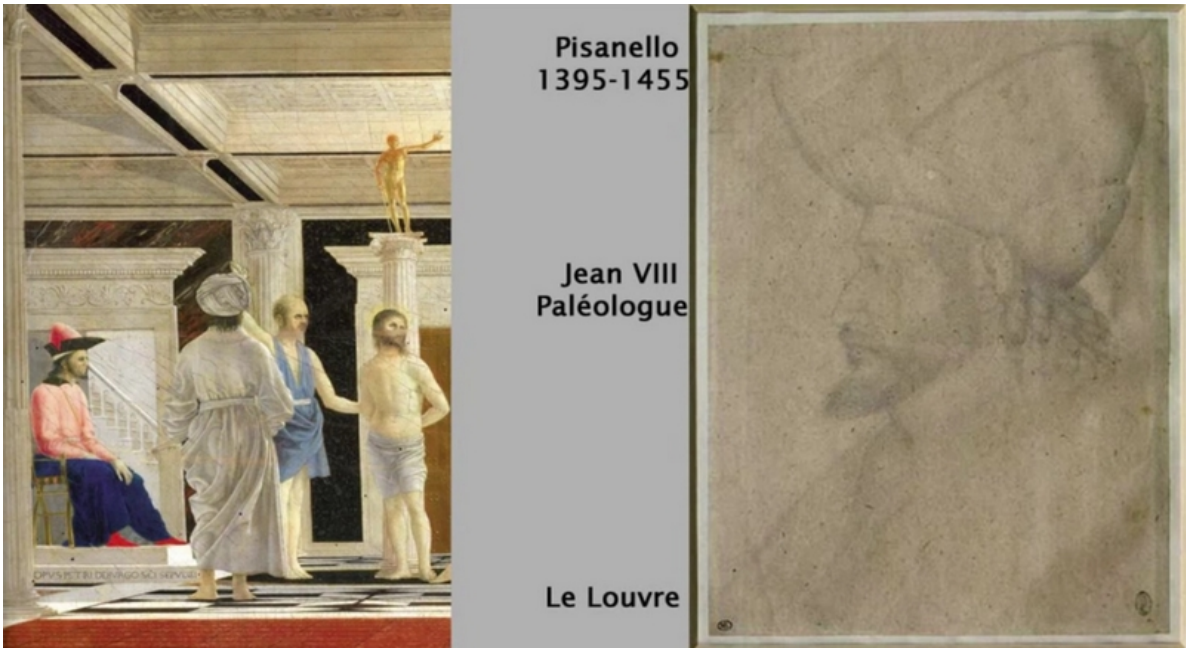


Illustration 27: Comparaison entre portrait de Jean VIII Paléologue dessiné par Pisanello et les traits et coiffure du Ponce Pilate de Piero della Francesca (Berger J.-E., 2012, 01 :32 :08)

Nous proposons un parallèle avec le travail du chercheur en didactique, avant même son interprétation de la situation. Notre travail indiciaire est facilité par des témoignages directs, et l'histoire récente des faits que nous étudions. Il demande cependant quelquefois quelques recherches complémentaires.

5.6.3.2 Enquêtes sur des dispositifs exposés

Le premier contact avec les objets développés sur les stands est souvent leur mention par un scientifique au fil de nos enquêtes sur le terrain. Si le contexte le permet et le nécessite, nous demandons immédiatement des précisions à nos interlocuteurs et prenons en notes des mots-clés : noms de scientifiques, concepts liés à des termes plus communs, explications

techniques. Ces notes, mémorisées sur des carnets, sont réutilisées dans le cadre de recherches personnelles ultérieures plus approfondies.

A. Le modèle analogique des sables mouvants

L'enquête sur la genèse des ressources utilisées par les scientifiques à propos des sables mouvants (Illustration 28, p. 86) est initiée dans le laboratoire qui utilise le dispositif au moment de notre étude. Les archives du laboratoire, que le technicien met à notre disposition, nous permettent d'accéder à son dispositif précédent (Méjean, 2011), et son témoignage en situe l'origine en 2005, lors d'une conférence donnée par Daniel Bonn.

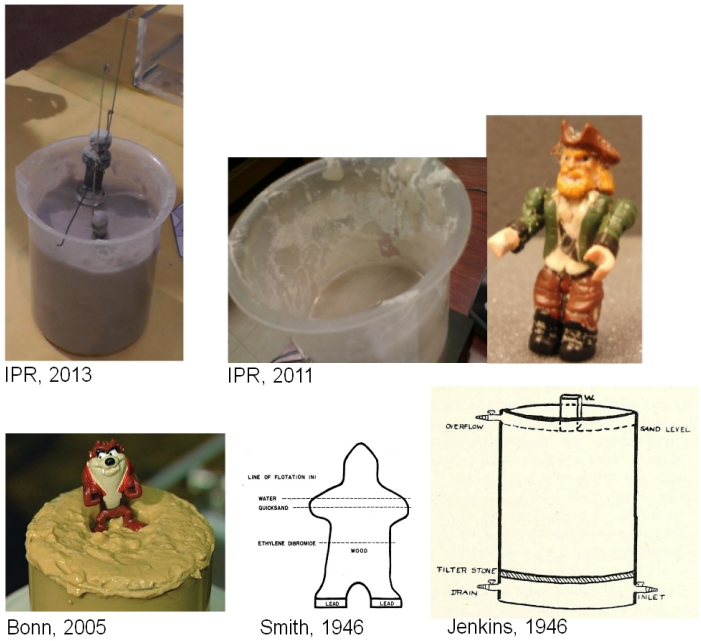


Illustration 28: Dispositifs expérimentaux (1946) et de démonstration (2005, 2011 et 2013) de l'enlisement dans un sable mouvant

Une recherche ciblée nous permet d'accéder aux images du dispositif utilisé par le conférencier (Bonn, 2005a). Par une remontée des filières bibliographiques issues des articles de recherche sur le sujet, nous retrouvons des traces de dispositifs semblables (Smith, 1946a, 1946b).

B. L'effet Janssen

Les références récentes sont généralement accessibles. Sinon, les enquêtés peuvent nous fournir les documents qu'ils citent. Ainsi, nous obtenons l'image scannée de l'article de Janssen (1895, p. 1046). L'ingénieur allemand y propose un modèle explicatif du phénomène

qui provoque l'éclatement des silos à grains. Nous y trouvons des schémas de son dispositif expérimental et des tableaux regroupant ses données numériques. Le dispositif utilisé au village des sciences (Illustration 29, p. 87) est analogue au dispositif expérimental de Janssen (Illustration 30, p. 87). Il mesure même la masse de grains dans la colonne qui les contient.

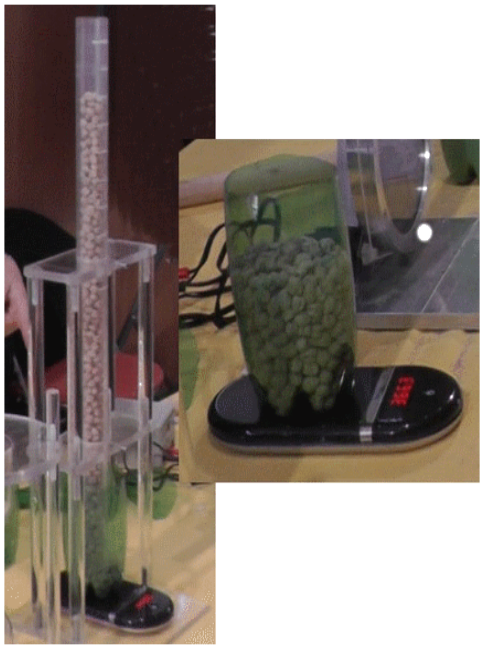


Illustration 29: Dispositif du stand pour montrer le phénomène décrit par Janssen

Cependant, pour des références anciennes, quelquefois, le document source n'est pas consulté (physiquement ou numériquement) par les scientifiques interrogés : l'effet est connu sous le nom de son découvreur et les équations associées sont utilisées avec une référence bibliographique que le collectif perpétue. Il semble, qu'avec le temps, le scientifique à l'origine de la description du phénomène soit cité, sans que la référence bibliographique ne soit mentionnée. L'habitude, dans le collectif, d'associer le nom du découvreur au phénomène peut être un facteur d'oubli de la référence bibliographique, mais permet de garder la mémoire du découvreur. Ainsi, le dispositif du stand qui met en évidence la création de champs de forces dans la matière granulaire contenue dans un récipient est-il toujours associé à l'expression « Effet Janssen ».

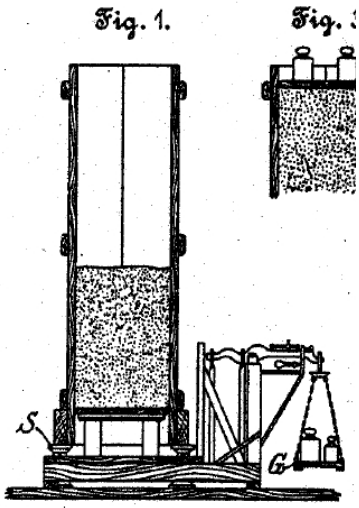


Illustration 30: Fig. 1, Janssen (1895)

C. La dilatance de Reynolds

De même, la *dilatance* est toujours « la dilatance de Reynolds »[43]. Antoine, dans sa thèse, développe l'expression en mentionnant la date de parution de l'article historique : « *Notons que le concept de dilatance a été introduit par Reynolds en 1885. Il a constaté qu'en comprimant un granulaire immergé dans un liquide, contrairement à l'intuition, le niveau de liquide diminue car l'espace entre les grains augmente »* (Le Bouil, 2014, p. 10).

43 Nous faisons une étude de ce qui nous semble un *exemple-exemplaire* (Kuhn, 1977) dans le cadre d'une présentation au séminaire action animé par Sensevy (annexe 12).

La bibliothèque universitaire du campus scientifique possède un fonds de livres anciens et, après une recherche bibliographique sur la dilatance de Reynolds sur internet, nous ciblons notre requête autour de deux références qui émergent.

Les documentalistes consultent le catalogue, extraient la notice catalographique de l'ouvrage et localisent un exemplaire de l'article recherché, dans les archives de la bibliothèque. Nous sommes autorisée à photographier les pages du *Philosophical magazine* (1885), *On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact* (Illustration 31, p. 88).

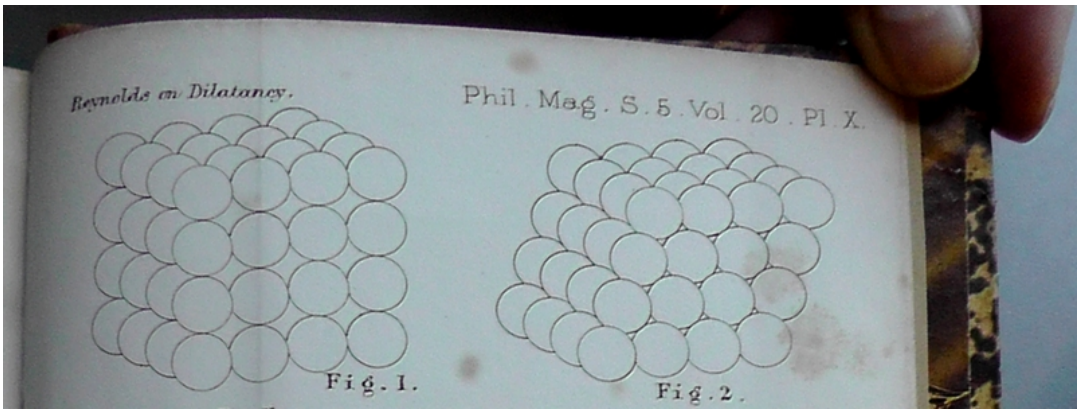


Illustration 31: Planche X, fig. 1 et fig. 2 d'un article de Reynolds (1885)

L'article est accompagné de planches illustrées où l'auteur modélise un empilement de grains (sphériques et identiques) pour montrer la variation des espaces qui les séparent suivant leur agencement. Un modèle analogue, construit en 3D, est exposé au village des sciences (Illustration 32, p. 88).

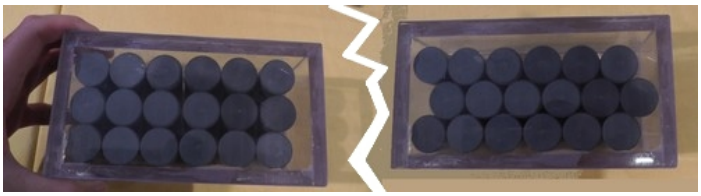


Illustration 32: Modèle explicatif exposé sur le stand

L'observation directe foisonnante d'indices, les traces digitales ou analogiques, sur des supports produits ou utilisés par nos enquêtés, les pistes laissées par le témoignage des acteurs (sources orales mais aussi données matérielles ou numérisées), et les enquêtes complémentaires constituent la base de nos données.

5.6.4 Investigations documentaires

Nous décrivons dans cette section quelques choix méthodologiques de recherche

documentaire, de gestion de l'information et de son utilisation dans nos productions. L'objet de ces recherches concerne tant des apports épistémologiques propres à notre enquête en sciences de l'homme et de la société que des ressources liées aux savoirs rencontrés sur les lieux de nos enquêtes.

5.6.4.1 Pratiques numériques de recherche de documents

Pour limiter la perte de temps dans la collecte des données, nous utilisons plusieurs outils complémentaires. Nos pratiques de recherche sur internet sont mixtes, des bouquets de revues en ligne, pour obtenir des informations validées par la communauté scientifique, aux réseaux de *social bookmarking* qui peuvent apporter d'autres éclairages : dictionnaires et encyclopédies, moteurs de recherche et annuaires, et autres sélections et indexations de contenus pratiquées par des humains.

Encyclopédies en ligne

De façon systématique, nous faisons une recherche documentaire pour nous permettre de situer et d'élargir le sujet. Le portail lexical du CNRTL et Wikipédia sont deux entrées que nous utilisons fréquemment.

Wikipédia, l'encyclopédie collaborative en ligne, avec les discussions générées par chaque entrée fait apparaître des controverses qui viennent alimenter notre réflexion. Selon les domaines, nous explorons aussi les ressources dans des langues différentes (en français, mais aussi en anglais ou en italien). L'information disponible est augmentée, puisqu'elle dépend des contributeurs et non pas d'un choix éditorial où des contenus « académiques » seraient traduits.

Robots généralistes

Les moteurs de recherche généralistes donnent accès à des contenus indexés par les mots qu'ils contiennent (textes ou métadonnées) sans sélection ciblée de sites.

Dans Google, l'option « recherche avancée »[44] permet de renseigner des champs qui créent la requête sans avoir à la formuler dans la barre de recherche. Elle permet de sélectionner des formats de ressources, tels SWF (animations Flash), PDF (documents PPT ou ODS (présentations associées à des vidéos, par exemple), ou d'appliquer des limites de dates. Les

44 Recherche avancée de Google : https://support.google.com/websearch/answer/142143 ?hl=fr&ref_topic=3081620

médias visés peuvent être filtrés dès la page d'accueil du moteur de recherche (images, vidéos, etc.).

Robots spécialistes

Certains moteurs de recherche donnent accès à des informations scientifiques. Ils donnent accès à des pages qui contiennent des métadonnées à importer pour gérer nos références bibliographiques. Nous faisons peu de recherches de références scientifiques dans les domaines d'étude des laboratoires enquêtés : nous nous basons sur les références données par nos enquêtés ou leur bibliographie. En revanche, nous les utilisons dans le cadre de nos recherche en SHS.

GOOGLE Scholar est pratique pour l'importation des métadonnées des articles dans *Zotero* [45] mais lance ses robots sur des serveurs universitaires, sans contrôler les documents indexés. Cyril Labbé (2010) dénonce le calcul des indices d'évaluation sur ce moteur et nous invite à de la prudence pour repérer les contenus pertinents.

Les robots d'autres moteurs ne balayent que des bases de données de revues scientifiques. Pour des recherches en sciences humaines et sociales, JURN explore le contenu de milliers de périodiques uniquement en accès libre, et exploite les résultats d'autres moteurs comme ISIDOR (conçu par le CNRS). La syntaxe utilisée est celle de GOOGLE car ce moteur utilise Google Custom Search Engine, une plate-forme qui permet de définir les sources interrogées et d'autres paramètres encore. La requête est formulée dans la barre de recherche.

Le portail de notre université

Les références scientifiques identifiées dans les sections qui précèdent ne donnent pas forcément accès au texte intégral des articles. Une version du texte cherché n'est pas toujours présente sur un serveur d'archives ouvertes, ou dans un journal *Open Access*. Aussi, parcourons-nous sur le Service commun de documentation de notre université, la base de données bibliographiques et pluridisciplinaires Scopus (*pair-reviewed*) et, par catégorie, le fonds accessible dans les catalogues des revues scientifiques auxquelles notre institution est abonnée. Ce service est géré par des documentalistes.

Réseaux sociaux

Comme leur nom le suggère, dans les moteurs de recherche, l'indexation des sites est faite par

45 Logiciel Zotero : https://www.zotero.org/support/fr/installation

des robots. Aussi complétons-nous nos recherches avec des sites de partages, réseaux de *social bookmarking*, tels que *Pearltrees* et *Delicious*. L'usage des réseaux sociaux pour alimenter notre travail et le partager, et la *folksonomie*[46] qui y est associée, nous semblent cohérents avec notre expérience anthropologique dans les laboratoires et auprès des publics concernés par nos enquêtes. Ces réseaux sont des espaces investis par les acteurs et les institutions étudiés. Ils permettent de découvrir des sites en navigant dans les signets publics partagés par des utilisateurs aux centres d'intérêts similaires, et de faire émerger des données quelquefois non accessibles par les moteurs de recherche.

5.6.4.2 De la curation des contenus à leur communication

La variété et le nombre d'objets (signets, références, fichiers) à manipuler oblige à une gestion qui permette leur repérage, leur accès, éventuellement leur suivi, et leur utilisation rapides.

Wikipédia présente la *curation de contenu* comme *« une pratique qui consiste à sélectionner, éditer et partager les contenus les plus pertinents du Web pour une requête ou un sujet donné »* (« Curation de contenu », 2015). Le soin pour structurer et éditer les ressources implique des choix qui alimentent notre réflexion. Nous testons les sites de partage de signets pour organiser nos données en ligne. Leur mise en forme est sous la forme d'arborescences dans Pearltrees. La folksonomie, indexation personnelle ou taxinomie populaire, est en usage dans Delicious. Notre journal de bord sous la forme d'un blog met en relation plus explicite notre vécu avec des contenus en ligne. Notre analyse évolue au fil de notre travail et ces outils sont une mémoire du chemin parcouru, supports de mémorisation, avec annotations. *« Les folksonomies permettent en effet une réconciliation entre l'indexation et l'annotation. L'annotation que l'on pratique dans nos livres papier ne présente aucun index et aucun classement. Le numérique permet d'y répondre désormais. »* (Le Deuff, 2012, p. 58). Nous ne constituons pas une somme de références, mais nous établissons des liens et des connections, et nous nous introduisons dans un flux lui-même en mouvement.

Étymologiquement, l'indexation est la création d'indices. L'indexation est le *« processus destiné à représenter, au moyen des termes ou indices d'un langage documentaire ou au moyen des éléments d'un langage libre, les notions caractéristiques du contenu d'un document (ressource,*

46 La *folksonomie* est « l'indexation des documents numériques par l'usager » (Le Deuff, 2006) *« L'architecte de l'information Thomas Vander Wal a forgé ce terme en combinant la taxinomie (règles de classification, taxonomy en anglais) et les usagers (folk). »* (ibid.)

collection) ou d'une question, en vue d'en faciliter la recherche, après les avoir identifiées par l'analyse. » (« ADBS », s. d.) Elle est le produit d'une analyse. Elle sert à mémoriser et à se repérer rapidement, à faciliter la compréhension et la désignation de la ressource. C'est une légende, du latin *legenda*, « ce qui doit être lu ». *« Elle s'avère surtout la chose à relire, tant il s'agit de savoir revenir sur les traces, commentaires, annotations qui ont été laissés auparavant, soit dans un objectif de remémoration, soit pour corriger, effacer ou réorganiser des données. »* (Le Deuff, 2012, p. 21) . Nous considérons que le travail d'indexation enrichit les données.

Nous gérons nos données bibliographiques et nos documents (images, vidéos, sites, fichiers PDF, etc.) avec le logiciel *Zotero*. L'indexation des documents est multiple. D'une part, les champs bibliographiques sont normés dans un format, *Citation Style Language* (CSL), qui permet de choisir son mode d'affichage. D'autre part, des indexations et des annotations personnelles peuvent enrichir chaque référence : tous les termes déjà existants dans le document peuvent être complétés par d'éventuels nouveaux tags ; nous annotons chaque entrée de commentaires personnels ; nous sélectionnons des extraits, identifiés comme d'éventuelles futures citations ; nous faisons des liens entre des références ; nous lions les références à la version numérique du document, en ligne ou dans notre disque dur. Dans notre travail, *Zotero* est l'outil qui nous paraît être le plus complet, d'une part pour l'importation de références et leur curation, et d'autre part pour l'intégration d'appels de citations, de citations et de bibliographies directement dans les textes en cours d'édition.

Au niveau méthodologique, l'usage systématique de *Zotero* oblige à une certaine discipline, contraignante mais nécessaire : une réflexion permanente sur le type de document que nous indexons, sa source, sa matérialisation (papier ou numérique), sa validité.

5.7 Le chapitre de méthodologie en bref

Notre méthodologie tente de concilier des pratiques diverses, des données hétérogènes, de nombreux traitements. Nous nous retrouvons dans ce constat de Tricot et Comtat : « *Ces différentes activités mises en œuvre par les humains lorsqu'ils doivent faire face à un déficit de connaissances mobilisent des processus cognitifs, métacognitifs, sociaux et affectifs nombreux et complexes, dans des environnements naturels, technologiques et culturels très divers* » (2012, p. 17).

Nous proposons au lecteur de poursuivre notre réflexion méthodologique avec les éléments construits au fil de nos travaux. Un espace spécifique lui est ensuite dédié dans la synthèse des résultats (9.1, p. 362).

PARTIE 3 : ENQUÊTES ET ANALYSES – LES STANDS ET LEUR INSTITUTION

Où nous présentons nos enquêtes et où nous les analysons

Chapitre 6 - Os et articulations.....95

6.1 Présentation des transactants : le village des sciences, un événement dans leur activité ordinaire.....96
6.2 De l'observation de la séance in situ aux analyses quantitatives et qualitatives menées sur le film.....112
6.3 Un point en aparté : pause et carnet de croquis.....121
6.4 Zooms sur les vertèbres.....126
6.5 Os et articulations : éléments de discussion à propos des positions topogénétiques des transactants.....153
6.6 Le chapitre sur les os en bref.....160

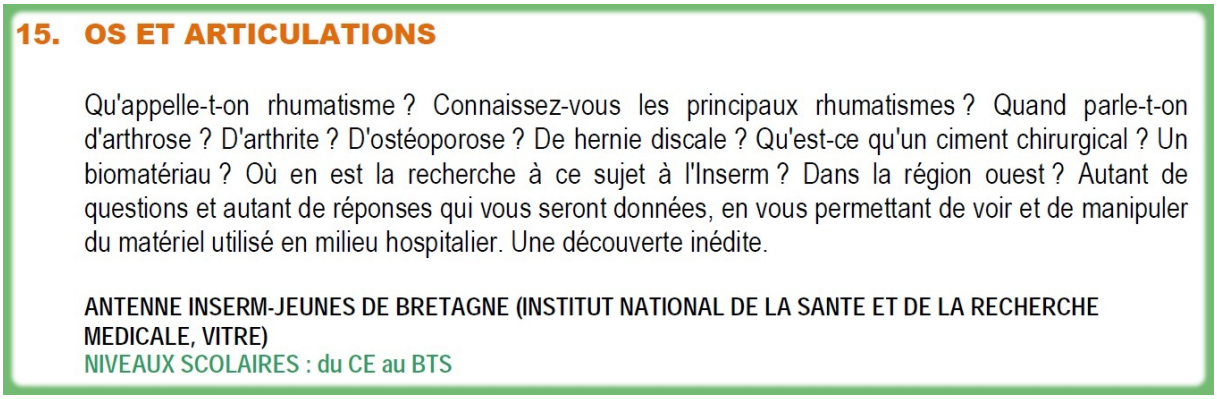
Chapitre 7 - L'eau du robinet, ça coule de source ?.....163

7.1 Présentation des transactants : le village des sciences, un événement dans leur activité ordinaire.....164
7.2 La participation au village des sciences, une action préparée par le collectif 169
7.3 Le stand, un jeu et un plateau de jeu organisés.....193
7.4 Étude comparative des médiations de trois hydrogéologues.....197
7.5 Eaux souterraines : éléments de discussion sur les situations analysées.215
7.6 Eaux souterraines en bref.....222

Chapitre 8 - Le sable dans tous ses états.....225

8.1 Les médiateurs du stand, leur contexte habituel de travail et un exercice de communication.....225
8.2 La préparation du stand pour le village des sciences.....261
8.3 Des sables mouvants : zoom sur une thématique du stand.....276
8.4 Jeux d'apprentissage : Lucie et les sables mouvants.....311
8.5 Le chapitre sur le sable, synthèse.....356

Chapitre 6 - Os et articulations


15. OS ET ARTICULATIONS

Qu'appelle-t-on rhumatisme ? Connaissez-vous les principaux rhumatismes ? Quand parle-t-on d'arthrose ? D'arthrite ? D'ostéoporose ? De hernie discale ? Qu'est-ce qu'un ciment chirurgical ? Un biomatériau ? Où en est la recherche à ce sujet à l'Inserm ? Dans la région ouest ? Autant de questions et autant de réponses qui vous seront données, en vous permettant de voir et de manipuler du matériel utilisé en milieu hospitalier. Une découverte inédite.

ANTENNE INSERM-JEUNES DE BRETAGNE (INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE, VITRE)
NIVEAUX SCOLAIRES : du CE au BTS

Illustration 33: Annonce du stand « Os et articulations » dans le programme scolaire du village des sciences 2012

Émilie[47] est professeure des écoles maître formateur (PEMF), une collègue avec qui nous travaillons régulièrement. Elle accepte que nous suivions sa classe lors de sa visite au village des sciences (VDS), et que nous étudiions la situation dans le cadre de nos recherches. Elle a inscrit son groupe de CE2 sur le stand « Os et articulations » (Illustration 33, p. 95).

Le titre du stand, associé au niveau scolaire minimum requis « CE », laisse envisager que les savoirs en jeu sont accessibles à ses élèves. Le résumé, en revanche, cite des maladies qui n'affectent pas les enfants de 7-8 ans. À la différence d'une ressource documentaire (livre, vidéo), le stand du village des sciences est animé par un médiateur qui s'adapte au public auquel il s'adresse. C'est un enjeu annoncé de l'événement.

Dans un premier temps (6.1, p. 96), nous présentons les acteurs en jeu en dehors du VDS. Nous faisons ensuite (6.2, p. 112) une étude macroscopique de la séance sur le stand, suivie (6.3, p. 121) du retrait du groupe pour une pause réflexive entre les deux visites. Nous zoomons enfin (6.4, p.126) sur des extraits relatifs au même objet, les vertèbres, pour analyser le travail conjoint de la PE, du médiateur et des élèves. Une synthèse clôt le chapitre (6.6, p. 160).

47 Tous les noms et prénoms de ce chapitre sont des pseudonymes.

6.1 Présentation des transactants : le village des sciences, un événement dans leur activité ordinaire

L'animation sur le stand est l'occasion d'une rencontre entre des acteurs qui ont des activités a priori disjointes. Nous présentons l'introduction de l'événement VDS, dans la vie ordinaire de

- la classe de CE1-CE2, avec sa professeure, ses élèves et des stagiaires. Nous prenons le parti de décrire, consécutivement, la séquence de classe antérieure à la visite du stand, et son exploitation de retour à l'école. Nous voulons ainsi mettre en exergue, dans une section ultérieure, le moment de co-intervention au VDS, l'objet de notre étude.
- le médiateur, responsable de l'Antenne Inserm-Jeunes locale, un relais du réseau Jeunes de l'Inserm, spécialisée dans la didactisation de savoirs issus de l'institution de recherche médicale, à laquelle elle est rattachée.

6.1.1 La visite au village des sciences dans la vie de la classe

Dans cette section, nous présentons d'abord le projet de la PE pour ses élèves. Puis, nous développons ce qui s'est passé en classe, avant la visite au VDS, puis, immédiatement après. Nous terminons par une synthèse de ce travail réalisé dans les murs de l'école.

6.1.1.1 Le projet de la professeure

La PE, Émilie (É), nous (C) explique (annexe 18) les raisons de sa participation à l'événement avec sa classe à double niveaux (CE1-CE2).

É : DIFFérencier avec mes CE1 et mes CE2 c'est pas toujours évident/ mais quand j'ai vu les deux ateliers/ La ronde des planètes/ et OS et articulations/ à la fête de la science/ j'ai téléphoné\ voilà\ pour que ça fasse un COMplément de ce qu'on fait en CLASSe/ puisque j'aime bien avec mes élèves/ que ce soit d'ailleurs en sciences ou en arts plastiques/ qu'ils aient AUSSI une approche AUTRE que celle de la maîtresse sur ces domaines-là quoi\ par rapport aux apprentissages qui sont visés\

C : c'est quoi une approche AUTRE/

É : Ben JUSTEment d'avoir un intervenant extérieur/ alors moi/ là/ comme j'te disais/ je ne vais pas maîtriser/ car je n'ai pas pu assister à l'atelier et je ne sais pas DU TOUT ce qu'il va s'y présenter\ je vais DÉcouvrir en même temps que mes élèves\ (Émilie, entretien préalable, tdp2-4)

Pour le groupe de CE2, deux ateliers du village des sciences correspondent à des thématiques programmées en classe. « Os et articulations » s'inscrit dans la séquence prévue dans la première période de l'année : *les mouvements corporels*. « La ronde des planètes » convient à

la PE pour deux raisons : prendre contact avec les médiateurs de l'Espace des sciences (EDS) qui proposent le stand, et mettre tous les élèves en questionnement, avant la classe d'astronomie projetée dans le courant de l'année, avec ces mêmes médiateurs.

La PE inscrit le groupe de CE2 un mois avant l'événement. Elle sait alors que cette animation est située pendant sa séquence sur les mouvements corporels, les os du squelette et les articulations.

Elle considère les interventions extérieures comme un plus dans la vie de la classe[48].

En tant que maîtresse formatrice, elle reçoit, à la même période, des stagiaires : une PE en formation (pratique accompagnée), et une étudiante de Licence 3 en biologie dans le cadre d'un projet ASTEP*.

Elle ne contacte pas le médiateur avant l'intervention et il n'y a pas d'atelier préparatoire de découverte pour les enseignants inscrits.

6.1.1.2 Avant la visite, en classe

A. Une séquence sur les mouvements corporels

En sciences, nous analysons, à partir des classeurs des élèves et des documents de préparation de la séquence de la professeure, les savoirs en jeu. Nous reconstituons les étapes de la construction des savoirs à partir

- des entretiens (préalable et rétrospectif de la PE, rétrospectif des élèves)
- de différentes traces écrites (ressources numériques de la PE, affichage photographié, écrits intermédiaires et classeurs des élèves) :
  - les préparations de la PE,
  - les affiches collectives,
  - les écrits intermédiaires des élèves,
  - les écrits de synthèses des élèves et du professeur.
- le film de la séance en classe qui a suivi la sortie au VDS

La séquence de sciences est menée par les stagiaires. Elle a pour but de

48 *« L'intervenant extérieur apporte un éclairage technique ou une autre forme d'approche qui enrichit l'enseignement et conforte les apprentissages conduits par l'enseignant de la classe. »* (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992)

> *faire acquérir aux élèves les connaissances relatives aux mouvements corporels (les muscles, les os du squelette, les articulations) : les mouvements du corps des vertébrés sont rendus possibles au niveau des articulations par l'action des muscles sur des éléments rigides, les os, qui constituent le squelette.* (extrait de la fiche de préparation de la PE)

Nous ne relatons ici que les questionnements et les situations qui visent des savoirs sur les os et les articulations.

Quatre séances sont basées sur des investigations documentaires (textes et schémas), des observations (propres corps et radiographies), l'utilisation d'un modèle réduit (80 cm) de squelette, et d'un schéma du squelette humain. Les élèves produisent des dessins. Ils complètent et légendent des schémas. Ils construisent un pantin pour modéliser les articulations principales : segments de carton liés par des attaches parisiennes.

La situation initiale est introduite pendant une séance d'activité physique et sportive. La stagiaire, avec le concours des élèves, nomme et précise le nom de certaines articulations, sans donner plus d'informations que ce qui émerge des échanges.

Sur une feuille vierge, les élèves sont invités à se représenter « raides » ; puis « en mouvement ». Les dessins sont comparés et commentés.

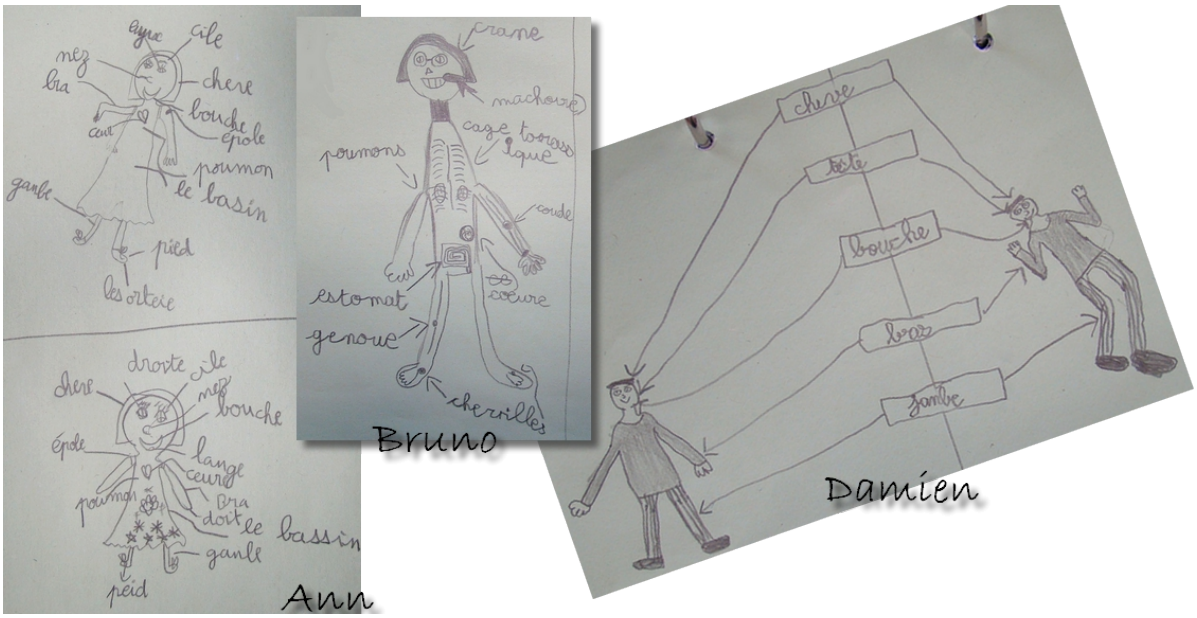


Illustration 34: Dessins réalisés pendant la séance d'APS – un dessin avec le corps « raide », et un dessin avec des parties pliées, demandés -

Comme le montrent leurs productions (Illustration 34, p. 98), les élèves ne se limitent pas aux os et aux articulations. Ils se représentent habillés (Ann et Damien), et légendent leur dessin avec tous les éléments qu'ils connaissent : *bouche, estomac, doigt, cheville, cheveux…* Les

mouvements corporels ne sont pas uniquement liés, pour les élèves, aux muscles, aux os du squelette et aux articulations. La PE précise, à partir de ce premier dessin, que le travail porte sur les os. Certaines représentations (comme celle de Bruno, ici) proposent de voir à l'intérieur du corps. Les futures représentations doivent adopter ce point de vue.

La représentation graphique du corps en mouvement est une difficulté. Ann présente des parties du corps articulées (jambe, pied, épaule), mais sans identifier les articulations. Damien produit deux images séquentielles, « raide » et « en mouvement », pour les bras et les jambes. Bruno choisit d'indiquer symboliquement, avec un point, l'emplacement des articulations. La PE fait adopter ce code à la classe pour la situation suivante.

La légende fléchée fait partie des habitudes de la classe. Ce *contrat* est respecté pour les trois élèves dont nous montrons les productions. Dans cette première étape, les élèves éprouvent leurs représentations graphiques. La PE amène les élèves à s'interroger sur la lecture des dessins par leurs pairs ; sur ce qu'ils disent du corps, et donc des choix de ce qui est représenté ; sur des solutions que la classe peut adopter collectivement.

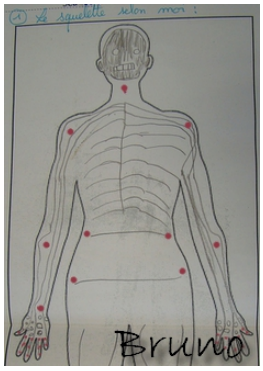


Illustration 35: Os et articulations

La PE réduit ce qui doit être représenté : dans une silhouette photocopiée, les élèves dessinent leurs os, tels qu'ils les imaginent (Illustration 35, p. 99). Ils notent, avec un point rouge, l'endroit où le corps peut se plier.

Les productions sont comparées et des questions émergent, formulées à partir des propositions des élèves, mises en doute car différentes. Les investigations sont introduites, au fil des séances, par ces questions :

A quels endroits notre corps peut-il se plier, tourner ?
Qu'est-ce qui nous permet de faire des mouvements ?
De quoi est constitué notre squelette ?

Dans la suite de la séquence, les élèves utilisent la même représentation schématique du squelette, pour les traces collectives et pour chaque phase de recherche individuelle ou en groupe. Ils y reportent d'abord les groupes d'os (Illustration 36, p. 99) et, plus tard, les articulations principales (Illustration 38, p. 100).

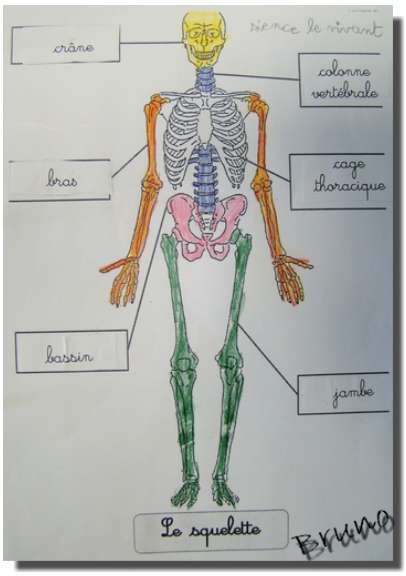
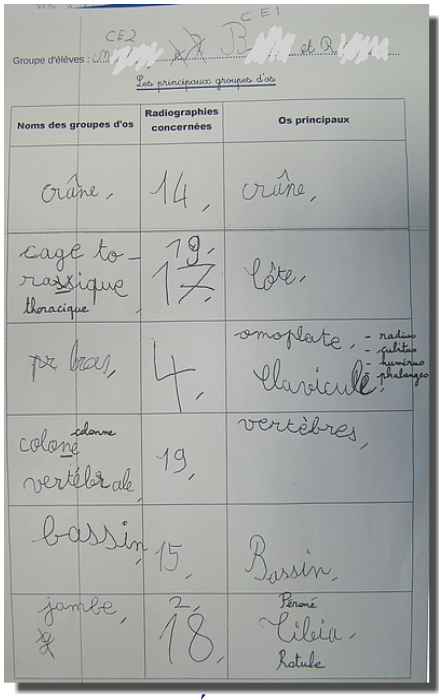


Illustration 36: Les grands groupes d'os


Groupe d'élèves : CE2 CE1

Les principaux groupes d'os

Noms des groupes d'os	Radiographies concernées	Os principaux
crâne	14	crâne
cage thoracique	19 17	côte
membre supérieur	4	omoplate - radius - cubitus - humérus - phalanges clavicule
colonne vertébrale	19	vertèbres
bassin	15	Bassin
jambe	2 18	Péroné Tibia Rotule

Illustration 37: Écrit produit à partir de la lecture des radiographies et des recherches documentaires associées

Les supports sur lesquels les élèves font des investigations sont principalement des radiographies numérotées (Illustration 42, p. 102) et leur propre corps qu'ils observent pour repérer la forme des os et des articulations, ainsi que leur localisation. Ils possèdent des connaissances qu'ils peuvent mettre à l'épreuve. Ils sont aidés de schémas de squelettes fournis par la PE. Par trinôme, les élèves associent le nom, la forme et l'emplacement des os et des groupes d'os. Ils gardent une trace de leurs résultats dans un tableau (Illustration 37, p. 100). Une affiche est issue de la mise en commun. La PE duplique le résultat pour les élèves : le schéma du squelette légendé avec le nom des principaux os. Chaque élève complète ce schéma en coloriant les articulations : en rouge les articulations « pivots », en bleu les articulations « charnières » (Illustration 38, p. 100).

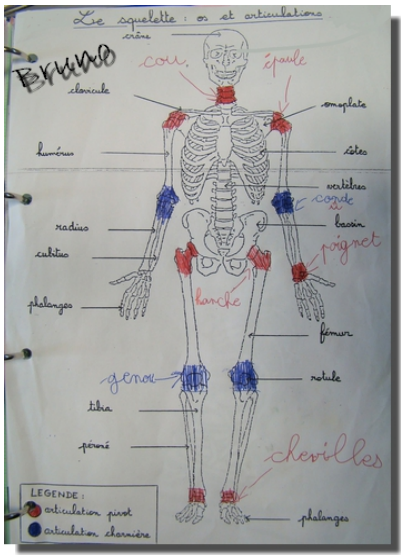
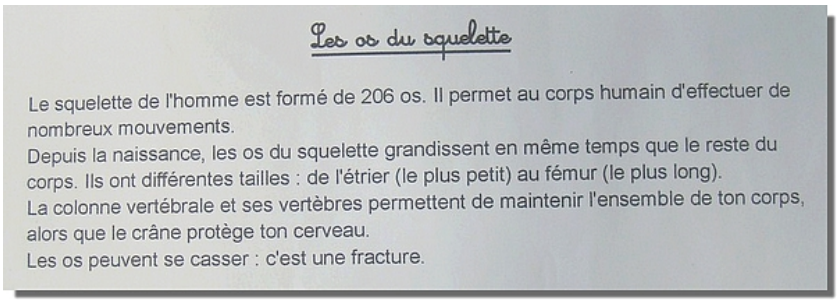


Illustration 38: Deux types d'articulations (pivot et charnière)

Illustration 39: Radiographies exposées, numérotées et observées en classe

Les élèves collent dans leur classeur la synthèse réalisée en classe et saisie par la PE au traitement de textes (Illustration 40, p. 101).



Les os du squelette

Le squelette de l'homme est formé de 206 os. Il permet au corps humain d'effectuer de nombreux mouvements.
Depuis la naissance, les os du squelette grandissent en même temps que le reste du corps. Ils ont différentes tailles : de l'étrier (le plus petit) au fémur (le plus long).
La colonne vertébrale et ses vertèbres permettent de maintenir l'ensemble de ton corps, alors que le crâne protège ton cerveau.
Les os peuvent se casser : c'est une fracture.

Illustration 40: Résumé collé dans le classeur des élèves

Les traces conservées par les élèves sont composées de

- croquis réalisés pendant la séance d'APS (Illustration 34, p. 98) ;
- croquis réalisés dans une silhouette photocopiée (Illustration 35, p. 99) ;
- un tableau de synthèse (document préformaté), écrit de travail réalisé en groupe Illustration 37, p. 100) ;
- un pantin articulé, un modèle qu'ils peuvent manipuler (Illustration 41, p. 101) ;

Illustration 41: Pantin glissé dans une pochette en plastique de classeur

- schémas dont la base est une photocopie : les types d'articulations (Illustration 38, p. 100) et les groupes d'os (Illustration 36, p. 99) ;
- le résumé, rédigé en classe et saisit au traitement de textes par la professeure (Illustration 40, p.101).

Ces traces sont complétées par l'affichage qui reste visible dans la classe le temps du projet. Il migre ensuite dans le couloir, remplacé par le projet suivant. Les ressources matérielles (modèle de squelette et ouvrages) sont accessibles dans la classe le temps du projet.

B. Une séquence de mise en projet des élèves, riche en interdisciplinarité

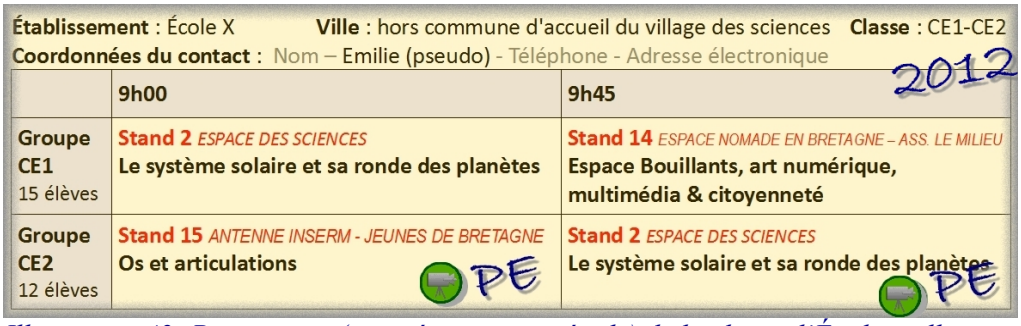
Par ailleurs, les élèves prennent connaissance du programme du village des sciences. La PE compose une chemise avec, d'un côté, le plan du VDS et sa légende (44 stands), et de l'autre côté, le plan de la ville, Cesson-Sévigné, avec la situation du VDS et le point d'arrêt du bus. Les élèves quittent Rennes pour se rendre au VDS : la métropole est abordée en géographie.

Les élèves lisent l'intitulé des stands. Ils identifient ceux qui correspondent le mieux, d'une

part, aux travaux de classe en cours et, d'autre part, aux projets connus de l'année. Ce travail de lecture-compréhension, sur les titres du programme du village des sciences se prolonge par la lecture du descriptif des stands auxquels la PE a inscrit ses groupes-classe. Ils sont discutés et commentés en classe avant d'être communiqués aux parents. Au regard des programmes scolaires, la PE identifie ces situations à des pratiques de français : lecture et langage.

Un travail préalable sur orientation dans l'espace est mené : repérer, dans la ville, le trajet de l'école au VDS et repérer, sur le plan du VDS, les stands à visiter. Les horaires de bus sont consultés et manipulés.

Le déplacement sur un lieu public demande un encadrement réglementé, mais aussi une préparation des élèves. Leur comportement doit être adapté à la situation, et ils doivent rester unis. Le professeur reçoit, de l'organisateur, le planning de sa visite et doit s'y conformer pour que la circulation entre les stands soit fluide et sans retard. La veille, la PE présente aux élèves l'organisation de la sortie à la classe : le planning de chaque groupe, et les accompagnateurs. Elle s'assure de la bonne compréhension des consignes, et de leur bonne interprétation. La PE doit gagner l'adhésion des élèves à ces règles du jeu pour s'assurer de leur pleine coopération pendant la visite.



Établissement : École X **Ville** : hors commune d'accueil du village des sciences **Classe** : CE1-CE2
Coordonnées du contact : Nom – Emilie (pseudo) - Téléphone - Adresse électronique 2012

	9h00	9h45
Groupe CE1 15 élèves	**Stand 2** *ESPACE DES SCIENCES* **Le système solaire et sa ronde des planètes**	**Stand 14** *ESPACE NOMADE EN BRETAGNE – ASS. LE MILIEU* **Espace Bouillants, art numérique, multimédia & citoyenneté**
Groupe CE2 12 élèves	**Stand 15** *ANTENNE INSERM - JEUNES DE BRETAGNE* **Os et articulations** PE	**Stand 2** *ESPACE DES SCIENCES* **Le système solaire et sa ronde des planètes** PE

Illustration 42: Programme (annoté pour notre étude) de la classe d'Émilie, village des sciences 2012

Le groupe d'élèves de CE2 participe à l'atelier « Os et articulations » proposé par l'Antenne INSERM-Jeunes, puis au stand « La ronde des planètes », encadré par l'Espace des Sciences. Pendant ce temps, le groupe de CE1, accompagné par trois autres stagiaires, participe à l'animation d'astronomie puis à un stand sur les QR codes (Illustration 42, p. 102). Entre les deux ateliers, un quart d'heure de pause est prévu.

6.1.1.3 Après la visite, en classe

Nous rappelons que ce chapitre ne respecte pas l'ordre chronologique des situations vécues

par les élèves. En effet, la séance au VDS fait l'objet de travaux d'exploitation, or une seule séance est consacrée à la partie scientifique sur les os. L'essentiel du travail de classe est réalisé en français, sur la chronologie dans le récit. Nous prenons donc rhétoriquement appui sur cette section, pour faire entrer le lecteur dans le VDS, et sur le stand « Os et articulations », tels que les élèves les ont perçus.

A. Une affiche « pêle-mêle » pour clore la séquence en sciences

Les élèves s'organisent autour des photographies prises par la PE pendant la sortie. Ils décrivent au brouillon les éléments de savoir que leur suggère la photo qu'ils ont à commenter. Les élèves réactivent des éléments de savoirs, à partir de leurs souvenirs et des notes prises dans leur carnet de croquis (Illustration 44, p.104), pendant la pause, entre la visite des deux stands. La PE organise l'affiche à partir de ces éléments et des photos (Illustration 43, p. 103) :

- la nomenclature, l'association de l'image au nom de l'objet ;

Illustration 43: Affiche où l'on parle des os et des articulations

- les phrases qui mettent en relation des éléments de savoir épars :
  - entre l'os et sa fonction : *« la boîte crânienne qui cache le cerveau » ;*
  - entre le patient (*on*) et la pathologie : *« On peut prendre des médicaments, ou se faire opérer » ;*

- sur la pratique des chirurgiens (*on*), les possibilités de réparation des os : *« On met des prothèses » « des tubes et des clous pour réparer les os cassés : les fractures »*.

La PE ne sollicite, ne retient et ne valide que les éléments de description des savoirs en jeu sur le stand. Elle évacue le récit du vécu des élèves. *« Le crâne qui rigole »* est le seul clin d'œil à un événement vécu sur le stand. Sous la dictée de chaque groupe, elle réalise une affiche par stand, sous la forme d'un compte-rendu pêle-mêle. Les objets de cet écrit sont les os et les articulations.

Illustration 44: Extraits du carnet de croquis d'élèves

Les affiches sont exposées dans la classe tant que d'autres projets ne viennent pas prendre leur place. Elles sont ensuite mises dans le couloir de l'école, pour les élèves d'autres classes et les parents.

B. Une séquence sur la chronologie dans les récits en français

Un travail individuel de rédaction est mené sur la chronologie. La sortie a duré une demi-journée et des événements marquants vécus par tous les élèves (déplacements en bus et visites) sont des repères communs pour la construction du récit. Des événements plus personnels peuvent être intégrés. Les consignes et les interventions de la PE orientent les productions sur les marqueurs temporels et spatiaux. La description des moments vécus est secondaire par rapport à la narration de leur chronologie. Le cahier de Damien en est un exemple (Illustration 45, p. 105) : la rencontre avec les cygnes et la montée dans le bus sont deux événements du récit de l'élève. L'objet de la situation de rédaction est d'exprimer ces événements (choisis par Damien) en rendant compte de leur ordre chronologique.

Dans un premier jet, Damien inverse les deux moments dans son texte. La PE lui fait dessiner un axe du temps, et représenter les événements chronologiquement. Elle s'appuie sur la représentation graphique pour mettre en évidence l'ordre des événements mis en apposition dans la narration. Dans son second texte, Damien n'évoque plus les cygnes. Il finit par *« On a pris le bus. Quand on est arrivé, on est sorti du bus. On était à l'école et on a joué dans la cour. Après, on est rentré dans la classe »*.

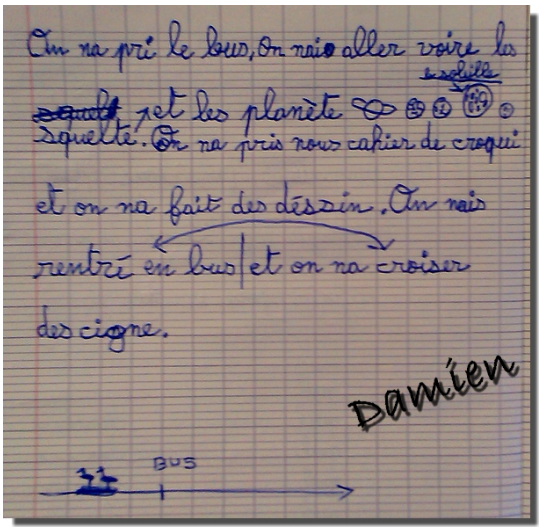
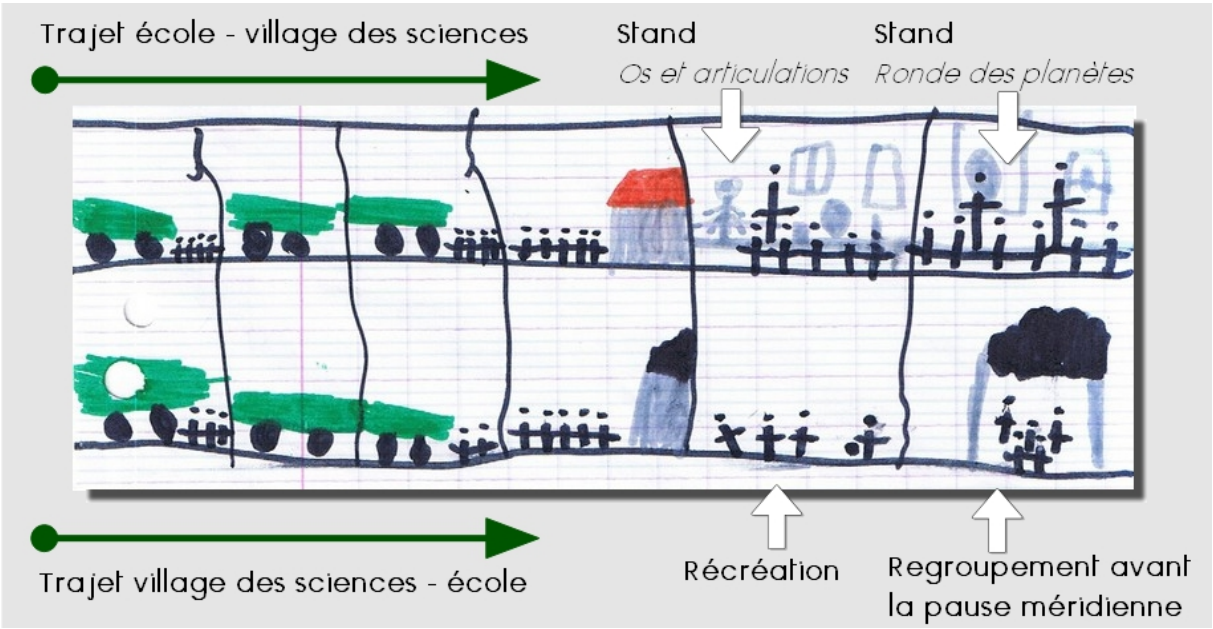


Illustration 45: Premier texte de Damien, avec intervention de la PE (flèche dans le texte et axe du temps)

L'illustration que Damien insère sous son texte (Vue_synoptique 5, p. 105) replace la séance que nous étudions dans son contexte de sortie scolaire. Nous la légendons à partir du texte rédigé par l'élève et des informations recueillies lors des entretiens rétrospectifs avec lui et la PE.



Vue_synoptique 5: Illustration de la rédaction de Damien, où il parle de la sortie ds élèves au village des sciences (extrait du cahier de Damien, CE2)

Damien représente le groupe-classe soudé à l'extérieur de l'école, alors que dans ses murs, il représente des individus. Cette vue synoptique exprime la place réduite de la séance « Os et articulations » dans la matinée. La vignette explicite cependant l'organisation spatiale : les élèves alignés face au médiateur. Damien ne représente pas de PE. Des ressources matérielles

sont présentes : le squelette, et trois autres objets sur la table ; des posters vides.

En opposition, il représente le stand « la ronde des planètes » avec ses deux médiateurs, mais aucune ressource matérielle autre que les affiches (cette fois illustrées). Sur ce stand, les élèves ont pourtant manipulé de nombreux artefacts et utilisé un espace plus étendu. Maëlle ne représente pas la table du stand, mais le grand espace où la médiatrice modélise la révolution des planètes : elle confie des ballons de différentes tailles et couleurs (modèles de planètes) aux élèves dans la ronde (Illustration 46, p. 106).

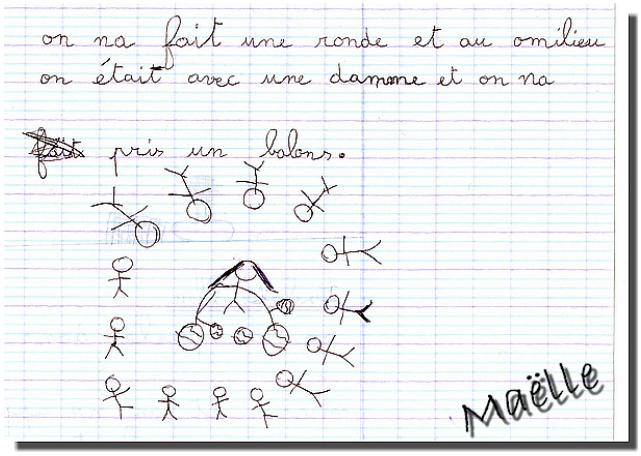


Illustration 46: Premier texte de Maëlle, avec l'illustration de la ronde et des planètes

6.1.1.4 La classe, en bref

- La séance de sciences en classe est menée avec le recours à un modèle de squelette, des radiographies, un pantin articulé et toujours en relation avec le propre corps des élèves. La PE construit avec ses élèves des pratiques scientifiques : des observations du réel, une réflexion sur les représentations graphiques, et l'articulation entre les modèles et ce qu'ils représentent.
- La sortie est une situation où les élèves pratiquent des déplacements, des rencontres avec de nouvelles personnes et de nouveaux éléments de savoir. La PE prend appui sur ces objets pour faire des liens avec des situations générées dans l'école, généralement fictives : se repérer sur une carte ou un plan, calculer la durée d'un trajet à partir d'horaires, rédiger un récit ou compléter un schéma.

Emilie : j'essaie de lier tout/ par exemple\ la chronologie et la conjugaison forcément/ parce qu'on va écrire un texte/ et puis le déplacement/ quand on va travailler sur la lecture d'un plan ou d'une carte/ moi je vais ré-exploiter ça/ en fait\ moi je pense que ces déplacements/ permettent aussi aux enfants de faire le lien entre tous les apprentissages/ et on parle du sens du savoir/ mais je pense qu'effectivement/ du coup /ils vont se dire ben oui/ j'ai vu ça en géométrie ou en géographie/ maintenant ça va me servir/ parce que si je veux prendre une carte de bus ou une carte pour aller à Cesson-Sévigné/ j'en ai besoin/ je vais mieux comprendre/ tu vois/ ça permet de faire des liens entre tous les apprentissages de classe/ avec tous les savoirs notionnels imposés par les IO\

(Émilie, entretien préalable, annexe 18, tdp. 30)

Tous les domaines au programme de l'école peuvent être concernés, et sont plus au moins exploités en fonction de la programmation de la classe et des choix de la PE au moment de la sortie.

- La PE mène parallèlement deux séances, l'une en français sur la chronologie dans le récit et l'autre en sciences sur les os. Ces situations aux règles disjointes participent à la compréhension de pratiques différentes :
  - dans le récit d'une journée particulière, on parle de soi et de ses actions successives sur le monde ;
  - dans le compte rendu de ce que l'on a appris sur le stand, on parle des os, des remèdes et de l'action des chirurgiens.
- La PE mène différemment les deux situations. À partir du même projet, nous observons deux approches didactiques différentes, l'une pour la production d'un récit, l'autre pour évoquer des éléments de savoirs scientifiques. *« Dans son acception la plus commune, la polyvalence est la maîtrise didactisée, professionnelle, de l'ensemble des disciplines ou des domaines à aborder à l'école primaire »* (Deviterne, Prairat, Retornaz, & Schmitt, 1999, p. 92). La PE n'est pas spécialiste des domaines qu'elle aborde, mais fait preuve d'une polyvalence qu'elle met au service des élèves.

6.1.2 Le stand « Os et articulation » dans la vie du médiateur

Dans cette section, nous présentons l'arrière-plan du médiateur : son activité ordinaire passée, et l'aménagement du stand et les savoirs en jeu. Nous finissons par une synthèse.

6.1.2.1 Le médiateur était un professeur

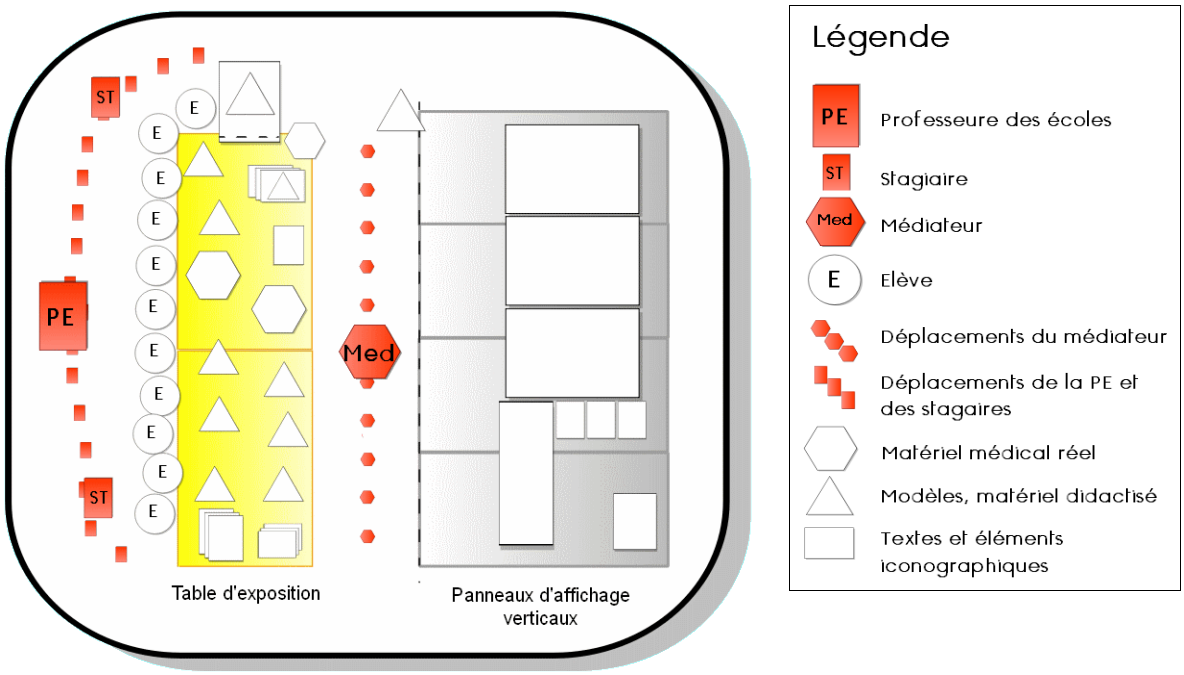
Le médiateur (Med) est un professeur de sciences de la vie et de la Terre (SVT), à la retraite. Il est responsable de l'Antenne INSERM-Jeunes de Bretagne basée dans un lycée de la région. L'association est spécialisée dans la didactisation de savoirs issus de l'institution de recherche médicale, à laquelle elle est rattachée. Il est bénévole et sensibilise les lycéens aux problèmes de santé, aux avancées de la médecine et à la culture médicale (histoire de la médecine). Il participe en tant qu'exposant, au titre de professeur ou de responsable de l'antenne INSERM, aux événements du type « village des sciences », depuis plus de 25 ans.

Il intervient régulièrement sur « *de grands problèmes de santé publique tels que le cancer, le diabète, l'ostéoporose, les maladies infectieuses ou neurologiques »*[49].

6.1.2.2 L'aménagement du stand

A. La délimitation de l'espace du plateau pour jouer ensemble

Le médiateur a préparé son stand pour les séances du vendredi dédiées aux groupes scolaires. L'espace est aussi prévu, le samedi et le dimanche, pour d'autres visiteurs, libres de choisir leur parcours et de s'adresser ou non au médiateur. Comme tous les stands du VDS, l'espace est équipé de panneaux pour d'éventuels affichages, et de tables recouvertes de nappes jaunes. Les médiateurs les aménagent comme ils le veulent.



Plateau_de_jeu 5: Stand « Os et articulations »

Le public de déplace et participe aux échanges, du côté de l'allée (Plateau_de_jeu 5, p. 108). Le médiateur choisit d'avoir un espace dédié pour pouvoir circuler, entre la table et l'affichage. Le samedi et le dimanche, il anime ce stand avec des lycéens :

M. Guillard : quand je travaille avec les jeunes/ j'enlève les chaises qu'on a mises derrière car je ne veux pas que les jeunes s'assoient/ parce que être assis c'est être passif la plupart du temps\ voilà\ (M. Guillard, entretien rétrospectif)

49 Extrait de la page web *Présentation de l'Antenne INSERM-Jeunes* sur le site du lycée (« Lycée Bertrand d'Argentré VITRE », s. d.)

Illustration 47: Stand « Os et articulations » de l'Antenne Inserm-Jeunes de Bretagne

Dans la situation que nous étudions, l'espace dédié à la classe est investi de façon structurée : les élèves sont debout face au matériel et au médiateur. Les adultes (PE et stagiaires) circulent dans leur dos, comme pour délimiter l'espace de jeu. Le médiateur n'utilise pas l'affichage.

B. Un stand attrayant et explicite

Il aménage son stand avec des règles issues de son expérience antérieure. Des conseils donnés par l'organisateur d'expositions, ou des observations personnelles : « `je considère que le rouge attire le public`». La nappe qu'il utilise habituellement est rouge, mais l'organisateur a unifié la couleur des stands et imposé le jaune.

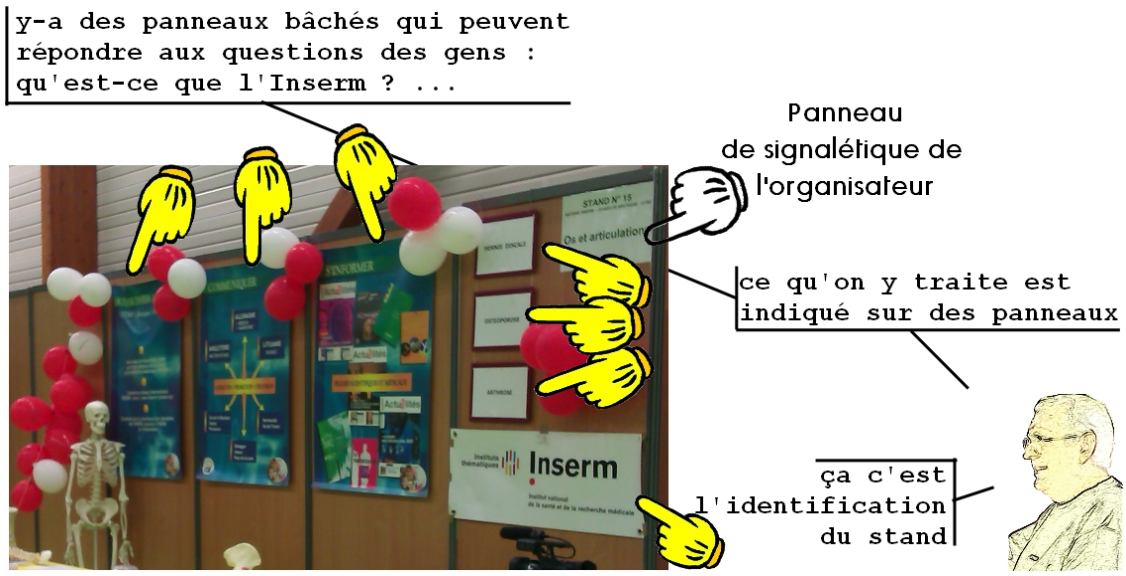


Illustration 48: Affichage sur le stand « os et articulations »

Dans l'entretien rétrospectif, il nous explique : « je fais toujours la même chose\ j'identifie le stand/ c'est un stand Inserm-Jeunes\ il est identifié\ »

Il insiste sur l'institution d'origine de son stand : « y-a des panneaux bâchés qui peuvent répondre aux questions des gens/ qu'est-ce que l'Inserm/ et qu'est-ce que c'est l'Antenne Inserm-Jeunes\ ». « Les ballons sont fournis par l'Inserm » .

Nous notons de plus que le stand est identifié par la signalétique apposée par l'institution organisatrice. Elle permet son repérage dans l'espace du VDS, parmi la cinquantaine de stands présents.

« Ce qu'on y traite est indiqué sur des panneaux/ » (Illustration 48, p. 109). Ils annoncent les trois thématiques visées par le stand : arthrose, ostéoporose et hernie discale. Le « grand public » peut être concerné et interpellé par ces propositions.

M. Guillard : oui\ c'est PAS PARCE qu'il y a un SQUElette/ ici/ qu'on va parler des FRACTures crâniennes eccetera/ je me base LÀ-DESSUS\ HEIN/ ((il pointe un document qu'il a écrit))
C : sur le livret que vous avez fait/
M. Guillard : sur tout ce qui a été préparé en amont\ (M. Guillard, entretien rétrospectif).

6.1.2.3 Les savoirs en jeu

A. L'objet du stand

L'objet du stand est le résultat d'enquêtes auprès de médecins et de chirurgiens. Le médiateur a rédigé un livret, *Les prothèses orthopédiques et autres biomatériaux* (2010). Il le présente comme une synthèse de l'essentiel à connaître sur le sujet, correspondant aux savoirs en jeu sur son stand. Il a réalisé, dans l'écriture de ce livret, la didactisation des savoirs sur les prothèses orthopédiques. L'ouvrage, encore non publié, est à destination d'un public non spécialiste.

Son but, sur le stand, est de montrer que les os sont solides, mais que quelquefois, ils sont atteints de pathologies, fractures ou maladies. Selon l'articulation ou l'os abîmé, les chirurgiens peuvent les réparer ou non, avec des techniques différenciées qu'il aborde. Mais « on est quand même dans l'éducation à la santé/ c'est pas simplement de connaître l'anatomie ou de connaître les maladies/ le but ultime ne serait pas ça/ » (M. Guillard, entretien rétrospectif).

Il fait des liens avec la vie quotidienne du public : de la fracture du col du fémur des « papis et des mamies » à la sécurité, quand on fait de la trottinette : « il faut porter un

Illustration 49: L'atèle de la stagiaire, une ressource nouvelle pour le médiateur

casque ». Le médiateur s'appuie aussi sur la réalité de la classe : une stagiaire porte une atèle (Illustration 49, p. 111). C'est une ressource dont il se saisit au cours de la séance.

La préparation d'une telle intervention demande du temps, aussi propose-t-il, plusieurs années de suite, des stands similaires, avec des variations et des adaptations : en 2013, le titre du stand est « Le mal de dos ».

B. Les os, une thématique en or

Dans le cadre du VDS, le médiateur est particulièrement attaché à l'objet de ce stand : « c'est un sujet en OR\ les gens aiment beaucoup\ j'ai eu 140 personnes je ne sais plus quel jour\ si je vais avec le CANCER/ j'aurai RIEN sur les tables/ j'aurai deux microscopes/ des préparations microscopiques avec des cellules cancéreuses/ c'est PAS avec ça que je vais alimenter ma demi-heure\ (M. Guillard, entretien rétrospectif).

Illustration 50: Matériel à portée de main des élèves

La thématique permet d'exposer beaucoup de matériel sur la table (Illustration 47, p.109). Le stand est attractif (Illustration 50, p. 111). Le médiateur rassemble lui-même ce matériel. Il acquiert des modèles d'os (sains et malades), sur commande, dans des catalogues spécialisés de matériel didactique pour la formation scientifique et médicale. Il recueille du matériel

médical et chirurgical lors de ses enquêtes auprès des professionnels de la santé (radiologies, instruments périmés, endommagés ou prothèses non utilisées). L'annexe 20 décrit l'ensemble des ressources du médiateur, hormis les affiches (non utilisées).

Dans l'entretien rétrospectif, le médiateur nous dit être persuadé de l'intérêt des manipulations et des démonstrations pour la compréhension, au sens étymologique de *saisir quelque chose par la pensée*. Ce matériel est nécessaire à la mise en intrigue des savoirs pour apprendre.

6.1.2.4 Le médiateur, en bref

- Le médiateur a une expérience professionnelle de professeur : il est connaisseur de la mise en place de situations didactiques scolaires. Il maîtrise des gestes ou techniques didactiques probablement utiles dans la situation de médiateur scientifique auprès d'une classe de CE2.
- Il est aussi connaisseur de rencontres avec d'autres publics, d'autres institutions que celles issues de l'École. Des publics non captifs comme des familles, des groupes d'amis, des associations d'éducation populaire en visite, qu'il faut attirer et dont il faut maintenir l'attention, sinon ils se déplacent vers d'autres stands. Le médiateur sait que ce qui intéresse le public, ce ne sont pas les discours mais la rencontre avec des objets manipulables. C'est un attrait, mais aussi une nécessité pour apprendre.
- Il didactise lui-même des savoirs de référence issus de pratiques médicales diverses. Il vise des savoirs en lien avec la vie quotidienne du public, des souffrances corporelles relativement partagées.

6.2 De l'observation de la séance in situ aux analyses quantitatives et qualitatives menées sur le film

La présentation macroscopique de la séance est orientée par une série d'analyses variées du corpus. Elle est combinée à des traitements des données premières et à des représentations graphiques diverses. Nous décrivons la méthodologie adoptée pour analyser la séance et donner à voir nos résultats.

6.2.1 Observations en direct puis en différé

Nous nous trouvons avec le groupe de CE2 au village des sciences (2012) sur le temps scolaire. Le groupe est encadré par la PE titulaire de la classe, Émilie, et deux stagiaires

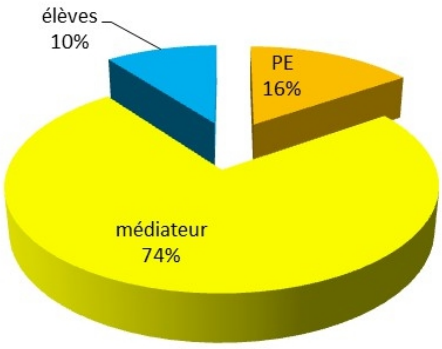
(présentées dans la section 6.1.1.1 p. 96).

Nous abordons l'observation *in situ* de cette séance en faisant l'hypothèse que la PE joue un rôle dans les transactions entre le médiateur et les élèves, et donc sur les savoirs en jeu. Dans l'entretien préalable, elle nous dit qu'elle a tendance à beaucoup s'exprimer dans des situations de co-intervention, si elle sent que la personne avec qui elle travaille accepte ses initiatives. Elle a, par ailleurs, l'habitude de poser beaucoup de questions.

Lors de la séance sur le stand, au contraire, la PE nous semble intervenir très peu. La place prise par le médiateur semble prépondérante. Les élèves sont très attentifs et s'agitent pour l'interroger. Émilie est très présente à l'arrivée pour installer les élèves dans l'espace du stand. Pendant que le médiateur mène sa séance, elle régule le comportement des élèves. La PE, maîtresse du temps, rassemble le groupe au bout de 28 minutes pour les mener sur le stand suivant.

Pendant la pause entre les deux ateliers, la PE installe ses élèves dans un espace où ils peuvent s'asseoir. Elle leur distribue leur carnet de croquis et un crayon. Cette pause dure 7 minutes, où les élèves dessinent ce dont ils veulent se souvenir du stand visité. Nous présentons ce moment dans la section 6.2.3.5 (p. 118).

La première analyse quantitative menée sur nos données filmées, avec *Transana*, confirme notre première impression. La comparaison des temps de paroles des différents acteurs (Vue_synoptique 6, p. 113) montre la place majeure (en durée) du discours du médiateur, comparée à celle des élèves et des PE.



Vue_synoptique 6: Durées comparées des temps de parole

Mais le visionnage du film révèle que les interventions ponctuelles de la PE sont décisives dans l'avancée des savoirs. Une lecture dirigée vers les savoirs en jeu semble nécessaire.

6.2.2 Découpage du film en épisodes thématiques

Nous analysons alors le film de la séance en le découpant en épisodes, à chaque introduction de nouveau thème. Les savoirs interrogés sur le stand guident notre analyse. Nous repérons ainsi une succession de seize épisodes (Vue_synoptique 7, p. 114) qui correspondent à seize jeux d'apprentissage (JA).

Nous découvrons alors que ces jeux ne sont pas toujours introduits par le médiateur ou la PE. Nous visionnons chaque épisode, et identifions, pour chacun d'entre eux, le transactant qui décide du thème abordé. Les diagrammes sectoriels suivants (Illustrations 51 et 59, p. 125) montrent le nombre et la durée des épisodes en fonction du transactant qui en est l'initiateur.

Dans plus de la moitié des épisodes, ce sont les élèves qui décident de la thématique de la séance. S'agit-il d'un *libre choix* tel que Falk et Dierking (2000, p. 13) le définissent, le *free-choice*, processus fondamental des expériences muséales ? Une analyse plus fine, de la séance et des épisodes à l'initiative des élèves, est nécessaire.

n°	Épisode (délimité par un changement de jeu)	Durée (min : s)
1	Installation Autonomie des élèves et aparté des professeurs	1:13
2	Consignes de la PE	0:44
3	Introduction du médiateur : civilités	0:36
4	Croissance et squelette : anatomie	2:08
5	Fractures et réparations	8:37
6	Gel bleu et articulation abîmée	2:50
7	Agrafeuse et sutures	1:43
8	Médicaments et douleur	1:33
9	Prothèse de hanche et fémur abîmé	4:29
10	Conclusion du médiateur	0:19
11	Fracture-crâne - prothèse	0:41
12	Ouvrir la bouche du squelette	0:36
13	Fracture des vertèbres	0:34
14	Vertèbres malades	1:24
15	Clous	0:27
16	Départ	0:14
	Durée totale de la séance	**28:18**

Vue_synoptique 7: Seize épisodes de la séance sur le stand « os et articulations »

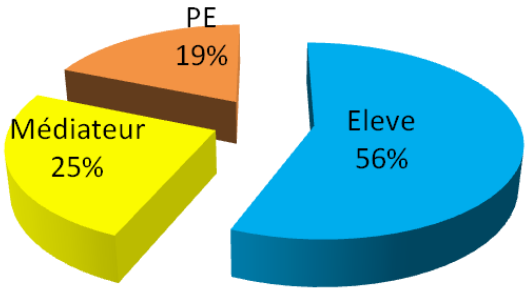


Illustration 51: Nombre total d'épisodes en fonction des initiateurs

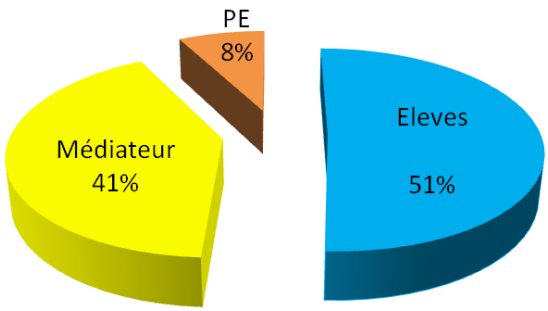


Illustration 52: Durée totale des épisodes en fonction des initiateurs

6.2.3 Description des épisodes

Dans cette section, nous utilisons les descripteurs précédents pour regrouper les épisodes et décrire comment se joue la séance.

La PE, aidée d'une stagiaire, installe ses élèves et laisse la main au médiateur. Celui-ci mène le jeu, même quand il donne momentanément la main aux élèves. La fin de la partie s'annonce. Le médiateur fait un point sur les éléments clés abordés. La PE remet les élèves et

le médiateur dans le jeu pour les quelques minutes qui restent. Les épisodes s'accélèrent, jusqu'à ce que la PE mette un terme à la séance.

Pour donner à voir la séance sur le stand, suivie de la pause, nous repérons de grandes phases de jeu découpées en épisodes que nous analysons dans les sections suivantes.

6.2.3.1 La PE installe le groupe, rappelle les règles aux élèves et laisse la main au médiateur

La PE demande à une stagiaire (St) d'installer les élèves dans l'espace du stand pendant qu'elle se présente au médiateur. Elle échange avec lui : elle lui indique qu'elle a travaillé en classe sur les os et le squelette (épisode 1).

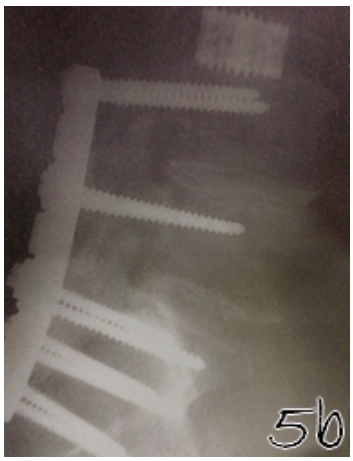
La PE change de place certains élèves et les ramène au silence. Elle leur rappelle qu'ils connaissent les règles de comportement. Elle n'a donc pas besoin de les reformuler. Elle présente Monsieur Guillard (le médiateur) comme la personne à écouter (épisode 2).

6.2.3.2 Le médiateur mène le jeu

Après s'être présenté (épisode 3), le médiateur introduit l'atelier avec la notion de croissance. Il propose aux élèves un jeu d'identification des os sur le squelette (épisode 4). Les réponses fusent, et sont justes, jusqu'à ce que le médiateur ne tourne le squelette et pointe l'omoplate. La colonne vertébrale est identifiée, mais des confusions sont perceptibles entre l'omoplate, la cage thoracique et les vertèbres. Nous y revenons dans l'étude.

Il consacre ensuite un long moment aux fractures et à leur réparation (épisode 5). Les os sont solides mais cassent. Les fractures peuvent être réparées :

a. une jambe ou un bras peut être immobilisé, et l'os se régénère pour souder la fracture ; le médiateur désigne l'atèle que porte la stagiaire (Illustration 49, p. 111) ;



b. dans le cas d'une fracture de la colonne vertébrale, on peut utiliser des vis et des tiges pour consolider et solidariser les vertèbres. Ce moment intéresse la PE en relation avec ce qu'elle a fait en classe. Elle intervient dans les transactions (Vue_synoptique 9, p.120). Nous décrivons ce moment dans la suite de notre étude ;

c. la fracture du crâne est très difficile à réparer, or elle est très dangereuse, car la boîte crânienne contient notre cerveau.

Le modèle est démontable pour pouvoir montrer l'espace intérieur. Les élèves représentent la trace de la découpe sur leurs croquis. Lors des entretiens, ils indiquent tous, comme Ronan : «mais ce n'est pas comme ça dans ma tête» (Ronan, entretien rétrospectif). Ils ont sciemment représenté le modèle didactisé.

Le trait correspondant à la découpe de la boîte crânienne traduit que ce qui est représenté est un modèle. Et sans ce trait, nous ne reconnaissons pas des crânes mais divers visages. Le trait est symbolique (Illustration 53, p. 116).

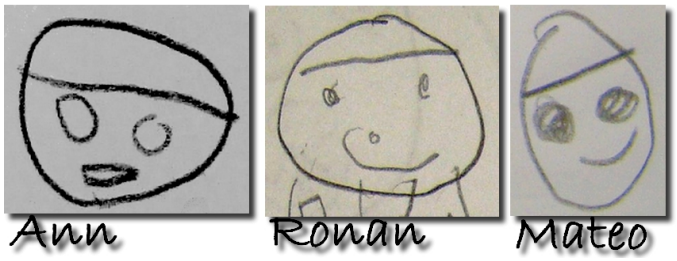
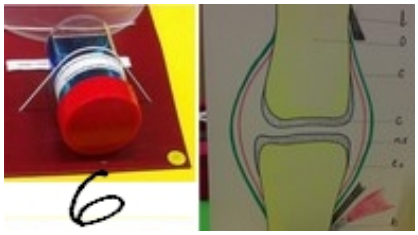


Illustration 53: Représentation du crâne du modèle de squelette (extraits de carnets de croquis)

6.2.3.3 Le médiateur donne la main aux élèves

Dans les quatre épisodes suivants, le médiateur dévolue le choix des thématiques aux élèves (épisodes 6-9). Celles-ci sont guidées par le matériel présent sur la table d'exposition. Les

élèves sont attirés par l'authentique matériel médical ; le médiateur fait alors des relations avec des éléments, maladies ou accidents, de la vie quotidienne :



- le « gel bleu » (épisode 6) répare les articulations. Le médiateur prend appui sur un grand schéma, pour montrer où le médecin injecte le produit quand l'articulation est usée. Cet épisode est un monologue du médiateur. Les transactions sont rares mais les élèves sont attirés par le produit bleu. Avec les vertèbres, c'est l'objet qui est le plus représenté dans les carnets de croquis. Ronan montre qu'il en a une représentation non erronée (Illustration 54, p. 117) ;

Illustration 54: Le « gel bleu » dans le carnet de croquis de Ronan

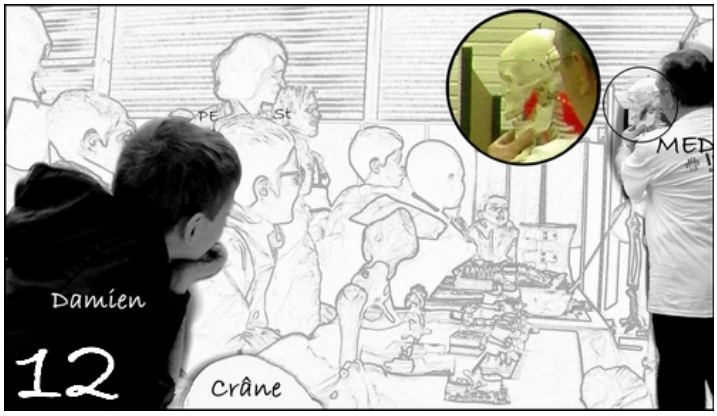
- l'agrafeuse (épisode 7) permet de refermer les plaies, comme le fil et l'aiguille ;
- les médicaments (épisode 8) soulagent la douleur ; la PE demande au médiateur de ne pas développer ce sujet, et met en garde les élèves « c'est pour les adultes » ;
- un objet métallique énigmatique s'avère être une prothèse de hanche (épisode 9). Le médiateur aborde ainsi un autre type de réparation : le remplacement de l'os abîmé. La prothèse de hanche a la forme du *col du fémur* qu'elle remplace. Les « papis et les mamies » sont souvent concernés par sa fracture. La PE intervient dans cet épisode (cf. Vue_synoptique 9, p.120) pour aider le médiateur à ajuster son discours et s'adapter aux élèves.

6.2.3.4 La partie touche à sa fin

Le médiateur, voyant le temps de l'atelier toucher à sa fin, résume les points importants abordés (épisode 10). La PE incite les élèves à poser leurs dernières questions. Elle distribue la parole nominativement aux élèves, et leur rappelle plusieurs fois que ce sont les derniers moments dans ce stand.

```
PE : Profitez, profitez, alors je vous rappelle, les CE2, que après on
       continue le travail sur les os et les articulations en classe, que
       s'il y a des questions à poser c'est maintenant\
```

Plusieurs élèves reviennent alors, sans aucune référence au matériel exposé, sur les notions abordées dans les épisodes précédents : les possibilités d'utiliser des prothèses pour les fractures du crâne (11) et de vertèbres (13).



Ils questionnent de nouveau le médiateur à propos des modèles exposés : Damien, pendant la séance, a beaucoup observé et tenté en vain de desserrer les dents du crâne posé près de lui. Il demande au médiateur si on peut ouvrir la bouche du squelette. Le médiateur lui annonce qu'il peut même lui sourire. Lorsqu'il abaisse sa mâchoire, celle-ci se décroche, dans un éclat de rire général (épisode 12).

Les vertèbres posées sur la table sont encore interrogées (épisode 14). Le médiateur explique comment elles se cassent quand elles sont touchées par la maladie. Notre étude aborde cet épisode.

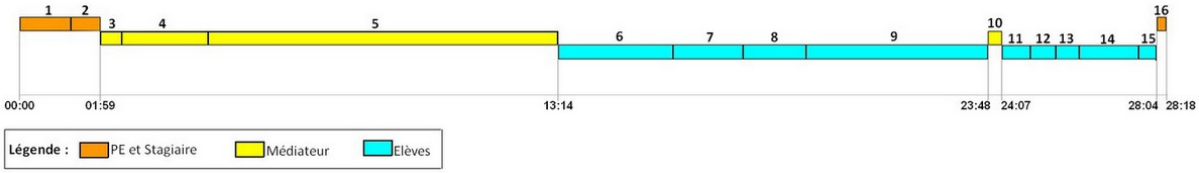
Des « clous » exposés sont les derniers objets brièvement commentés (épisode 15).

6.2.3.5 La PE clôt la partie avec le médiateur

La PE gère le temps pour arriver à l'heure au second rendez-vous de la matinée : elle rassemble les élèves qui remercient et saluent le médiateur. La séance est close (épisode 16).

6.2.4 Une chronologie des événements selon les initiateurs des épisodes

La représentation chronologique de la séance avec le transactant à l'initiative de chaque épisode, révèle la répartition du rôle décisionnaire de chaque acteur pendant la séance (Vue_synoptique 8, p. 119). Les numéros sont ceux des épisodes. Les transactants initiateurs sont différenciés par des bandes de couleurs différentes, et disposées selon trois étages : en haut et orangé, la PE (et les stagiaires), au milieu et en jaune, le médiateur, en bas et en bleu, les élèves.



Vue_synoptique 8: Frise chronologique et topologique de la séance (du point de vue de l'initiateur de l'épisode)

Une structure apparaît. Associée à l'étude qualitative précédente, elle permet d'affiner la responsabilité des transactants dans les échanges.

Le médiateur prend en charge la classe et les thèmes abordés, de l'épisode 3 à l'épisode 5. Il semble perdre sa position ensuite (épisodes 6-9). Or, l'analyse comparée des temps de paroles (Vue_synoptique 6, p. 113) révèle que le médiateur parle pendant trois quarts du temps. L'étude de l'action des transactants, et particulièrement de la stratégie didactique du médiateur, dans les épisodes de 6 à 9 (p. 116), permet de concilier les deux résultats : le médiateur garde une position topogénétique haute pendant les épisodes 3 à 10.

Le rôle majeur de la PE (et stagiaires associées) en début (épisodes 1-2) et fin de séance (épisode 16) est confirmé. Une étude comparative du nombre de tours de parole à la fin de la séance (11-16) montre la place majeure que la PE prend dès l'épisode 11. L'analyse qualitative précédente des épisodes (6.2.3.4, p. 118) révèle ses actions tant pour inciter les élèves à poser des questions que pour expliciter les demandes des élèves au médiateur.

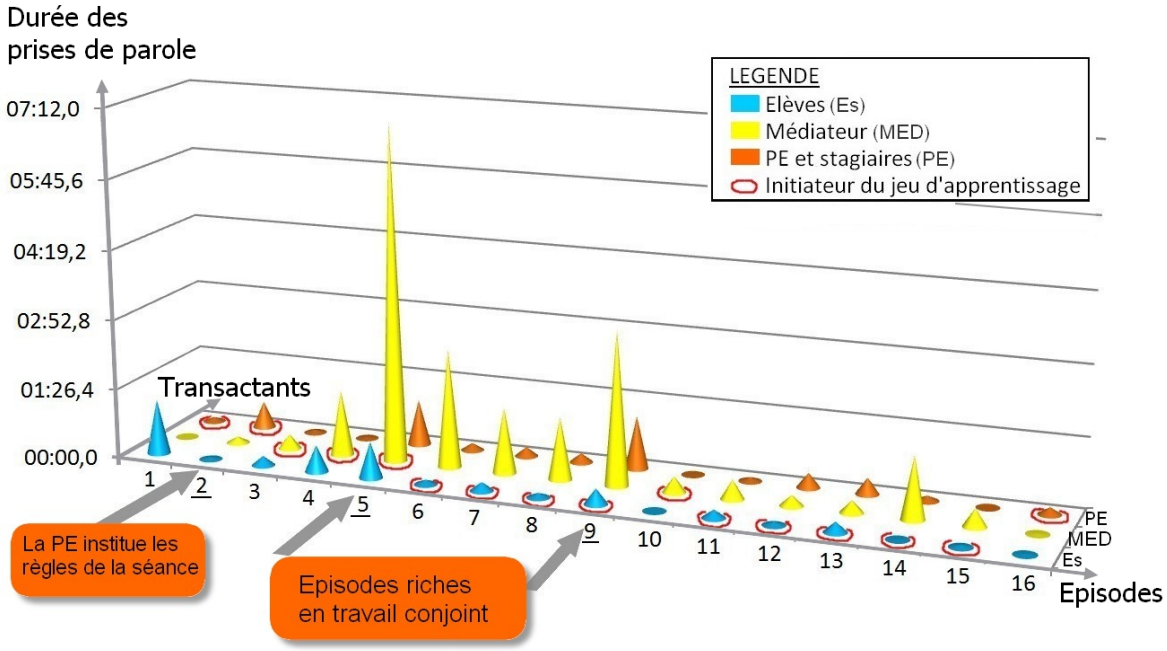
La PE intervient très régulièrement dans les transactions menées par le médiateur. Nous regardons, dans la suite de notre étude, le rôle de chacun dans ce travail conjoint.

6.2.5 Vers une synthèse synoptique fondée sur de multiples descripteurs

Pour enrichir notre description du travail conjoint des transactants, nous croisons les

descripteurs des épisodes : leur chronologie, les temps de parole comparés des transactants, leur initiateur. L'histogramme groupé ainsi produit[50] (Vue_synoptique 9, p. 120) révèle de nouveaux indices sur les positions topogénétiques des transactants pendant les épisodes.

La lecture de l'histogramme, dans sa dimension qui donne les temps de parole par transactant, indique que leur répartition est très inégale au fil de la séance.



Vue_synoptique 9: Durée de parole par locuteur et par épisode, associée au transactant initiateur du jeu d'enseignement apprentissage

La stagiaire, à l'invitation de la PE, installe les élèves sur le stand. Elles les surveillent attentivement en silence. Les élèves, en aparté, expriment leur surprise et font des remarques à leurs pairs.

Le médiateur donne la main aux élèves pour initier les épisodes 6 à 9, mais il semble rester maître du jeu : il garde la parole.

La PE initie l'épisode 2 et semble y garder une position topogénétique haute, puisque son temps de parole est bien supérieur à celui des autres transactants.

Dans les longs épisodes 5 et 9, le travail conjoint entre les deux professeurs et les élèves semble plus important qu'ailleurs, avec une durée de prise de parole suffisante pour être analysée. Ce n'est pas le cas de l'épisode 13 qui ne dure que 48 secondes.

Les épisodes 5 et 9 sont riches en travail conjoint des transactants, et principalement celui de

50 Le graphique à effet 3D, avec les formes coniques est exécuté avec *Excel 2000*, puis modifié avec *PhotoFiltre* et *Open Sankoré*

la PE et du médiateur. Nous analysons l'épisode 9 dans l'étude menée pour notre Master[51]. Nous choisissons, pour l'étude présente, de zoomer sur l'épisode 5, où le médiateur présente différents types de fractures, et les réparations opérées par les chirurgiens, le cas échéant.

6.3 Un point en aparté : pause et carnet de croquis

Avant l'étude microscopique d'extraits de la séance, nous faisons un saut en avant, et nous retrouvons à l'issue de la séance sur le stand « Os et articulations ». Ce *flashforward* nous procure des données, les productions des élèves, qui nous éclairent sur leur intérêt pendant la séance étudiée.

La PE profite du battement d'un quart d'heure entre les deux ateliers (« Os et articulations » et « La ronde des planètes ») pour prendre une pause à l'écart des stands. Nous la décrivons (6.3.1, p. 121), puis nous l'analysons (6.3.2, p. 123).

6.3.1 Description de la pause croquis

Près de six cent élèves en transit entre deux stands se déplacent dans le gymnase. La PE fait asseoir ses élèves et leur distribue leur carnet de croquis et un crayon. Le retour au calme est rapide.

6.3.1.1 Définition des attentes

PE : vous allez prendre une page de votre CARnet de croquis/ et vous écrivez/ les MOTS importants/ une petite PHRAse/ un petit schéma ou un petit croquis/ de l'atelier qu'on vient de voir\ qu'est-ce qui est IMportant pour vous de garder dans votre MÉmoire/ pour retravailler en CLASse après\ alors y-a des MOTS/ y-a une petite PHRAse/ vous pouvez faire un DESSin de ce qu'on a VU/ ça ressemble un petit peu à ce qu'on a fait en classe/ mais il y a aussi des CHOSes NOUvelles/ (Illustration 55, p. 122)

La consigne est passée sur un tempo lent et d'une voix calme qui tranchent avec l'agitation ambiante.

51 URL sur la plateforme *Dumas* (dossier en cours) : http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01344918

Illustration 55: Passation des consignes pendant la pause

6.3.1.2 Coopération rapide des élèves

Les élèves coopèrent rapidement, un rituel semble installé. En effet, Émilie nous confie (annexe 19) : « ils ont toujours leur carnet de croquis ça fait plusieurs années que j'ai instauré ça\ Ce carnet de croquis sert pour toutes les sorties/ » (Émilie, Entretien rétrospectif, annexe 19, tdp. 72).

6.3.1.3 Des aides variées

Les aides sont variées. La PE et les stagiaires circulent et sollicitent les élèves individuellement ou en créant des échanges entre voisins (Illustration 57, p. 122). Elles leur demandent de nommer les choses, « tu te souviens du nom qu'il a donné/ » ((la prothèse)) ; de faire des relations, « il a mis ça ((le gel bleu)) en parallèle Avec QUOI/ ((l'articulation)) » ; de faire compléter les croquis avec une légende, « ÉCris parce que je n'arrive PAS à bien voir\ » ((il s'agit d'une fracture)). Cet élève a des habitudes de travail : il traduit immédiatement la demande par une légende fléchée (Illustration 56 et Illustration 58, p. 123). L'orthographe est travaillée par ailleurs.

Illustration 57: Sollicitation individuelle avec l'aide des voisins

Illustration 56: Sollicitation personnelle

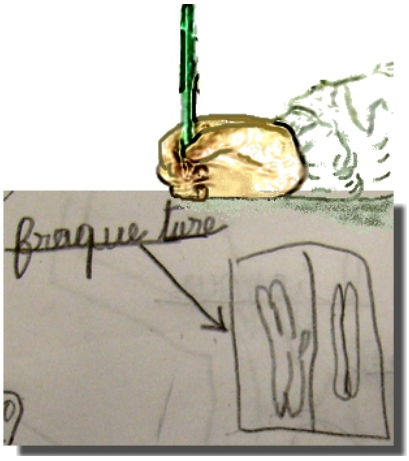


Illustration 58: traduction de la consigne en acte, l'élève légende son dessin (montage)

Un élève est en très grande difficulté pour écrire. Avec lui, en situation duelle, la PE pratique la dictée à l'adulte[52].

6.3.2 Analyse didactique : un repli réflexif

6.3.2.1 Un écrit intermédiaire

La trace individuelle est une représentation de l'événement. La pause est mise à profit pour recentrer les élèves sur ce qu'ils ont appris : « je trouve que ça leur permet d'avoir une trace du moment\ ça permet aux élèves qui pourraient être désorientés/ attirés par les abeilles plus que par ce qu'on fait/ à un moment donné sur la sortie/ de centrer l'attention/ » (Émilie, Entretien rétrospectif, annexe 19, tdp. 72). Les élèves sont assis, avec leur carnet de croquis sur leurs genoux, invités à se remémorer ce qu'ils viennent de vivre dans le milieu qui n'est plus présent, mais encore proche.

La consigne est très ouverte et permet à chacun de s'exprimer :

- le mode d'expression est au choix de l'élève : dessin, croquis, schéma, mots, phrase, texte ;
- l'objet attendu peut être ce que l'atelier a apporté de nouveau, c'est-à-dire ce qui vient d'être construit dans le nouveau milieu, mais pas seulement. La PE évoque que

52 Technique utilisée pour la production d'un texte, quand un élève n'est pas autonome. C'est l'adulte qui prend en charge l'écriture de que l'élève (ici un élève allophone) lui dit.

l'atelier concerne aussi ce qui a été fait en classe, c'est-à-dire ce qui est déjà contractualisé, le « déjà-là » potentiel. Cela ouvre des portes à des élèves pour qui l'atelier permet de faire des relations avec ce qui a été fait en classe. Bautier, dans un entretien à propos de l'oral à l'école montre l'écart de difficulté, entre parler de quelque chose qui a déjà été évoqué, et mettre en mots quelque chose de nouveau.

> *Les élèves qui réussissent à l'école savent mettre en œuvre cette capacité apprise à construire des liens entre les différents moments de leurs expériences pour construire de nouveaux savoirs à l'école et pas seulement pour partager ou exprimer du " déjà là " vécu ou appris (Bautier, 2003).*

Les aides visent à remettre dans le milieu des éléments de savoir absents des productions spontanées. La PE analyse *in situ* ce que les élèves font et les sollicite pour :

- formuler à l'oral, ce qui est dessiné, pour
  - débarrasser l'élève allophone de la tâche d'écriture, et lui permettre de se centrer sur le contenu ; traduire ensuite ses formulations pour l'aider à exprimer correctement ;
  - se souvenir des mots justes ; apprendre le lexique adapté ; associer le lexique à un autre élément de savoir (objet, geste, situation) ;
  - les inviter à écrire, nommer, ce qu'ils dessinent : légender ;
- faire des parallèles entre les choses montrées, les choses dites : faire des relations entre les éléments de savoirs, à l'oral, puis sur le carnet.

Les élèves sont susceptibles de construire les relations au moment de la production d'une trace. *« C'est à partir de là que l'enfant apprend la langue puisqu'il va être obligé de rechercher des mots et la syntaxe qui lui seront nécessaires pour expliquer, dire une situation particulière, nouvelle. »* (ibid.) Nous élargissons aux langages graphiques la réflexion de Bautier. Nous considérons l'usage de ce carnet comme un dispositif intermédiaire entre l'oral et une future trace plus élaborée : texte, mais aussi schéma.

La trace, produite de façon légèrement différée, est reprise en classe plus tard, et retrouvée par les élèves quand ils feuillettent leur carnet : « quand on ré-exploite en classe la sortie/ et ben ils ont cette trace-là\ ça leur permet de faire un retour sur leur propre travail » (Émilie, Entretien rétrospectif, annexe 19, tdp. 72). La représentation de l'événement participe à la mémorisation de celui-ci.

6.3.2.2 Le prolongement du contrat de classe hors de la classe

Le carnet est un lien entre ce qui se passe en dehors de l'école, et à l'école. « je trouve ça bien de toujours faire un va-et-vient et d'avoir ce carnet de croquis/ ça permet aux enfants d'avoir conscience de ça\ de toute façon Emilie/ elle va nous demander un truc après/ et je veux qu'ils aient ça dans la tête pour éviter de papillonner\» (ibid., tdp. 72). Le carnet rappelle aux élèves qu'ils se trouvent dans le cadre scolaire. Émilie fait vivre aux élèves le contrat de la classe dans un lieu où fonctionne un autre contrat.

A. La classe vue comme une institution

La situation est encadrée par la PE. Les élèves coopèrent facilement au rituel du carnet de croquis, c'est un contrat. Douglas parle de *« la mise en pilotage automatique de la pensée individuelle »* (1999, p. 81). Elle permet une *« économie d'énergie »* (ibid.) dont les observateurs (ici les stagiaires) n'ont pas forcément conscience. La consigne est claire. La PE encourage, respecte et valorise toute production. Nous savons par ailleurs que les pages du carnet sont régulièrement exploitées en classe. Ce contrat de confiance est nécessaire pour obtenir une mise en activité rapide, l'adhésion du groupe à la demande de la PE.

B. Un entre-soi dans l'institution

Il s'agit ici d'un moment non partagé avec le médiateur, comme pour retrouver l'identité de la classe. Elle revêt ici une forme scolaire ritualisée, matérialisée par le carnet de croquis. Douglas dit que « *Les institutions confèrent l'identité* » (ibid.). Tissot définit l'*entre-soi* comme un « *groupement de personnes aux caractéristiques communes » (Tissot, 2014, p. 4)*. Cet *entre-soi* permet à la PE de garder le contrôle de son groupe.

> *Les secrets d'« initiés » permettent de préserver le groupe en le protégeant contre les intrus et en entretenant un sentiment d'appartenance à travers des rituels spécifiques. Les microcosmes reposent aussi sur des relations tissées de longue date et un sentiment de confiance et de connivence qui se traduit justement dans le fait de se sentir « entre nous ». (ibid, p. 4-5)*

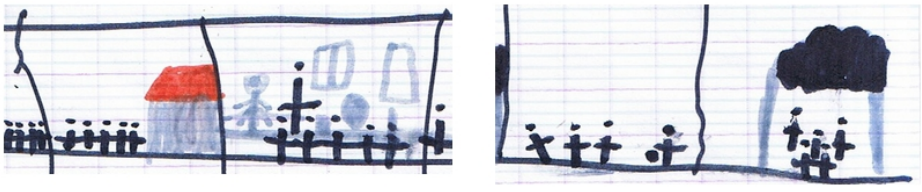


Illustration 59: Le groupe classe en dehors de l'école, et dans l'école (extraits du cahier de Damien)

L'entre-soi de Tissot est peut-être fort pour définir notre groupe d'élèves et sa PE. Ils n'excluent pas volontairement le médiateur et le *secret « initié »* n'est que la pratique partagée d'un carnet. Le concept est cependant intéressant. Il relate le comportement d'un groupe à l'extérieur de son lieu habituel de vie, vis-à-vis d'autres acteurs. C'est peut-être le sens du groupe soudé représenté par Damien dans sa frise chronologique de la sortie (Vue_synoptique 5, p. 105, et Illustration 88, p. 194). L'appartenance à un groupe rassure à l'extérieur des murs de l'école.

Cette connivence est construite et maintenue par la PE. Elle est nécessaire pour les apprentissages scolaires sous la forme de rituels, des pratiques contractualisées. Elle permet aussi d'éviter le danger que représente l'éparpillement des élèves dans un lieu en dehors de l'école.

6.4 Zooms sur les vertèbres

Suite aux résultats (p. 121) de l'étude relatée dans la section 6.2.5, nous décidons de zoomer sur des extraits qui concernent les vertèbres (épisode 5). D'une part, elles ont précédemment été évoquées en classe. D'autre part, la PE entre dans les transactions établies entre le médiateur et les élèves. Nous commençons par évoquer un extrait de l'épisode 4 (6.4.1, p. 126). Il s'agit d'un jeu d'identification des os qui précède et justifie probablement l'intervention de la PE (épisode 5) que nous décrivons ensuite (6.4.2, p. 130). Enfin, nous observons un retour des élèves (6.4.3, p. 139), en fin de séance, sur le sujet des vertèbres malades (épisodes 13-14).

6.4.1 Où les élèves jouent à identifier les os

Nous présentons l'extrait dans un langage familier, la *sémantique familière de l'action* (Sensevy, 2011c, p. 189), puis nous analysons ce corpus avec le prisme d'éléments théoriques de la TACD et de la genèse documentaire.

6.4.1.1 Description en langage familier d'un jeu introductif « pour voir »

Au début de la séance (03 :18), le médiateur propose aux élèves un jeu d'identification des os sur le squelette (épisode 4) : « On va voir si vous avez appris des choses\ » (tdp1). La PE passe dans le dos des élèves et s'assure de leur attention : « écoutez bien\ » (tdp. 2).

Med : vous avez appris des choses/
Es : OUII (tdp. 3-4)

Il déplace le squelette et le met juste derrière la table, face aux élèves qui se piquent au jeu. Damien pointe le crâne et le nomme.

Damien : LÀ c'est le CR ne/
Med : OUI là c'est le crâne\ et LÀ c'est quoi/
Es : e BASsin ((plusieurs élèves répondent ensemble))
Med : c'est le BASsin\ et ça / (tdp. 5-8)

La PE intervient pour rappeler la règle de la classe quand on veut prendre la parole : « vous LEvez le DOIGT\ » (tdp. 9) Elle est suivie par le médiateur qui relaie la règle : « bon alors vous LEvez la main alors\ » (tdp. 10). Il interroge Didier qui tend la main.

Didier : le COUde
Med : oui ce que je touche là c'est le COUde effectivement\ et tout ça /
Damien : le BRAS (tdp. 11-13)

Le médiateur ne prend pas en compte la réponse de Damien qui a pris la parole sans être invité à parler. Il désigne Anita qui lève le doigt et répond.

Anita : le BRAS
Med : le BRAS\ et ÇA/
Bruno : la MAIN\ ((et il ajoute)) avec les phalanges
Med : la MAIN bien SÛR\ vous connaissez tout ça et y-a peut-être quelque chose que vous ne connaissez PAS\ (tdp. 14-17)

Le médiateur a obtenu les réponses attendues, avec des précisions supplémentaires qui le convainquent. Il tourne le squelette et le montre de profil aux élèves.

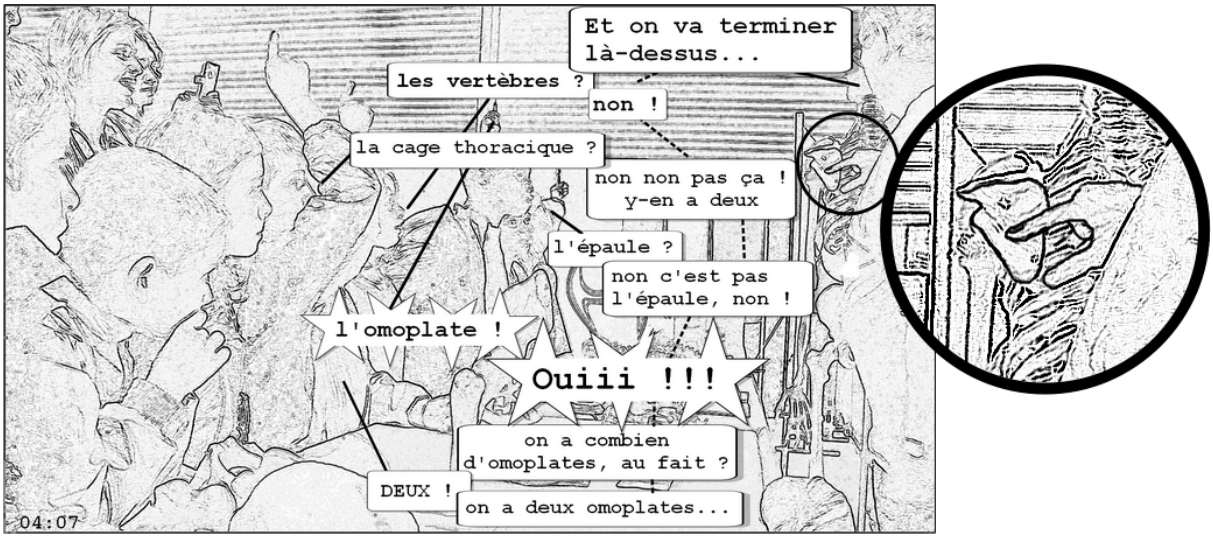
Med : et ÇA c'est QUOI/ ((Il pointe alternativement Fabien et la colonne vertébrale.))
Fabien : la colonne vertéBRALe
Med : la COlonne vertéBRALe\ et on va terminer là-dessus/ (tdp. 18-20)

La PE prend une photographie du médiateur et du squelette de profil. Celui-ci pointe une omoplate et interroge quatre élèves avant d'obtenir la réponse attendue.

Ann : les verTÈbres/
Med : NON/
Damien : La CAge thoraCIQue/
Med : Non NON/ pas ça / y-en a deux/ (tdp. 21-24)

Ann et Damien, les deux élèves interrogés, sont juste au premier rang et voient ce que le médiateur pointe du doigt. Leur réponse n'est pas validée. Alors, le médiateur tourne le squelette pour que tous les élèves le voient de dos. Il pointe de nouveau les deux os symétriques identiques.

La réponse d'Alan est validée par le médiateur qui répète le mot « omoplate » deux fois, en



Photogramme 10: Confusions à l'issue du jeu d'identification des os

faisant dire à Bruno qu'elles sont au nombre de deux.

Fabien : l'éPAULe/
Med : NON/ c'est pas l'éPAUle non\
Alan : l'OmoPLATe/
Med : OUIii/ on a combien d'omoplates au fait/
Bruno : DEUX\
Med : on a deux omoplates / bon ben ça c'est le SQUElette effectivement c'est le SQUElette/ on va le remettre LÀ\ ((en arrière-plan)) (04 :46) (tdp. 25-30)

Pendant ces échanges, la PE observe attentivement les élèves et suit les échanges. Elle acquiesce quand Alan nomme l'omoplate.

6.4.1.2 Analyse : où la PE, le médiateur et les élèves tissent un arrière-plan commun

Dans l'entretien rétrospectif le médiateur nous dit qu'il commence par vérifier que les élèves connaissent leur anatomie : «pour traiter d'anomalies / il faut connaître le fonctionnement normal de l'organisme\». Le *milieu* que le médiateur propose dans sa séance porte sur les pathologies osseuses. Le *contrat* qui lui paraît *a minima* indispensable est d'être capable d'identifier (nommer et situer) les os ou groupes d'os dont il est question dans la suite. Il *institue* les éléments de savoir qui entrent ainsi dans le nouveau contrat : «oui ce que je touche là c'est le COUde effectivement\»(tdp. 12). Il tisse ou s'assure d'un *contrat* solide pour aborder le *milieu* à venir.

Les élèves produisent des signes (beaucoup de doigts levés, et de bonnes réponses) qui renseignent le médiateur : «je m'étais aperçu que les gosses savaient un certain

nombre de choses déjà donc ce n'était peut-être pas la peine que j'y revienne» (M. Guillard, entretien rétrospectif). Les éléments de savoir essentiels semblent exister en arrière-plan pour ce groupe. Il n'est pas utile de poursuivre ce *jeu* qui n'apporte pas de nouveaux apprentissages.

A. Un contrat de classe rappelé par la PE et partagé avec le médiateur

La PE n'intervient pas dans les *transactions* sur les éléments de savoir relatifs aux os. Ici, la PE *régule* le comportement des élèves : elle leur rappelle le *contrat* pour la prise de parole (lever le doigt). En remettant dans le *milieu* cet *élément de savoir* (tdp. 9), elle informe, par la même occasion, le médiateur. Celui-ci adopte le contrat (tdp. 10) et le signifie rapidement aux élèves par son attitude : il fait la sourde oreille et ne prend pas en compte la réponse de Damien à qui il n'a pas donné la parole.

Dans ce nouvel environnement orchestré par Monsieur Guillard, Damien, est en dehors du contrat de la classe. Il joue un *jeu* différent de celui de la classe, dès le début des échanges. À l'invite générale du médiateur, il dit ce qu'il sait du squelette : «LÀ c'est le CR ne\»(tdp. 5). La PE rappelle les règles, mais Damien tente encore d'y échapper avec le médiateur. Mais ce dernier fait la sourde oreille quand Damien répond intempestivement «le BRAS» (tdp. 13). Le médiateur respecte et fait respecter le contrat de la classe. Damien finit par respecter les règles du jeu de la classe sur le stand, avec le nouveau *professeur*[53] intégré au groupe.

B. La PE régule le comportement mais reste très attentive aux transactions didactiques

La PE n'intervient pas dans les transactions, mais elle prend des informations sur les élèves, et sur *les éléments de savoir* qui sont mis dans le *milieu*. La confusion entre l'omoplate et «l'éPAULe» (tdp. 25) peut relever d'une incompréhension de l'attente : le médiateur pointe un os, mais attend-il le nom de l'os ou de l'articulation (Photogramme 10, p. 128) ? Par ailleurs, Damien peut considérer que l'omoplate fait partie du groupe d'os de «La CAge thoraCIQue» (tdp. 23). Ce n'est pas scandaleux. En revanche, Ann est au premier plan pour voir l'os sur lequel se trouve le doigt du médiateur. Elle propose pourtant «les verTÈbres» (tdp. 21). La relation entre les éléments de savoirs « colonne vertébrale » et « vertèbres » n'est peut-être pas établie pour Ann ; l'est-elle pour les autres élèves ? La PE,

53 Professeur, dans le sens qu'il fait partie de l'instance professorale, pour les élèves et la PE

contrairement aux stagiaires, est très concentrée sur ce qu'il se passe. Dans l'entretien rétrospectif (annexe 19), elle nous confie avoir pointé cet élément avec les stagiaires, après la visite :

Emilie : L'implication de l'enseignant sur le MOment-MÊMe de l'intervention moi me semble essentiel/ avec TOUS les imprévus/ TOUT ce qu'on ne peut pas maîtriser/ mais en tout cas/ c'est d'être TOUjours l'esprit au clair sur ce que dit l'intervenant/ et d'être TRÈS à l'écoute sur ce que disent les élèves/ que l'intervenant n'entend pas forcément d'ailleurs\(Entretien rétrospectif d'Émilie, tdp. 48)

La PE prend des indices, lors des transactions entre les élèves et le médiateur.

C. Systèmes de ressources du médiateur

Revenons sur la démarche du médiateur. Il utilise un modèle de squelette humain en introduction de son atelier sur les fractures et leurs réparations. Nous l'interrogeons sur ce choix qu'il réitère avec la prothèse de hanche (épisode 9). Il nous répond en utilisant un autre exemple :

M. Guillard (Med) : À l'antenne INSERM/ je traite de pathologies\ mais pour traiter d'anomalies/ il faut connaître le fonctionnement normal de l'organisme\ par exemple ici sur les cancers/ et ben si l'élève ne sait pas ce que c'est que la molécule d'ADN/ par exemple/ et bien il ne va pas comprendre (.) parce que tout part de là\ donc dans ma première partie-là sur le cancer/ qu'est-ce que le cancer/ de façon générale/ je redonne aux élèves ou ils le rappellent avec moi/ qu'est-ce que c'est qu'une cellule/ y-a un noyau\ et dans ce noyau y-a des molécules d'ADN/ et à ces pauvres molécules d'ADN/ il arrive plein de malheurs qui font faire qu'un cancer va pouvoir se déclencher\ (M. Guillard, entretien rétrospectif du médiateur).

Nous pensons que ce médiateur, par ailleurs professeur de lycée, exprime, là, une connaissance professionnelle issue de son expérience. Il a un *schème d'utilisation de ses ressources* que l'on pourrait décrire ainsi : quand il enseigne une pathologie (*but*), il commence par évoquer le fonctionnement normal de l'organisme étudié (*règle d'action*) parce qu'il sait que connaître le fonctionnement normal est nécessaire pour comprendre des anomalies (*invariant opératoire*). Selon Gueudet et Trouche (2010), le médiateur, à partir du squelette, a développé un document pour le but d'enseigner les pathologies.

6.4.2 Où la PE saisit l'occasion de faire observer une vertèbre

Dans une première partie, nous décrivons, dans la sémantique familière de l'action, comment la PE détourne le jeu initié par le médiateur. Dans une seconde partie, nous analysons dans un langage plus théorique, le travail conjoint des adultes avec les élèves.

6.4.2.1 Description en langage familier, d'un jeu détourné

Au début de l'épisode 5, le médiateur évoque les fractures que les médecins réparent par l'immobilisation du membre (comme celui de la stagiaire). Les os se ressoudent. Plus difficile à ressouder est la fracture de la colonne vertébrale. Les chirurgiens la réparent avec l'introduction de vis dans le corps.

Med : Eh bien quand on a une fracture/ il faut que le médecin arrange ça\ bien évidemment\ et parfois c'est TRÈS difficile de faire en sorte que les os se remettent bien comme il faut\ alors je vais vous montrer une chose dont on ne vous a pas parlé/ et je vais vous montrer une photographie/ j'espère que vous n'allez pas être effrayés/ ((Le médiateur et la PE échangent un regard)) eh bien lorsque c'est cassé/ parfois on met des vis\ ((mouvement de vissage avec le poignet))

Damien : Des vis/ ((stupéfaction)) (tdp. 1-2)

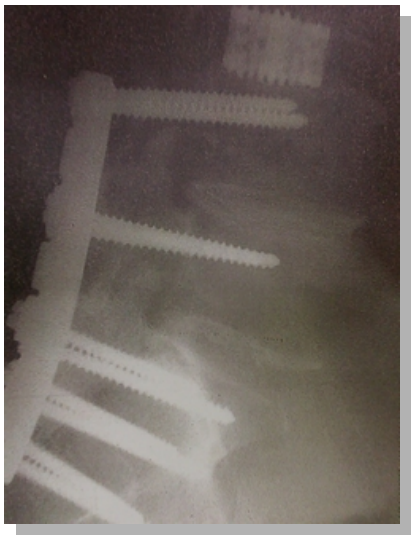


Illustration 60: Vertèbres réparées avec une arthrodèse

Le médiateur amène prudemment la réparation de fractures, avec des vis. L'idée de la douleur engendrée par l'introduction de métal dans le corps pourrait être mal vécue par les élèves. Il interroge du regard la PE qui ne réagit pas négativement. Le médiateur montre alors la photographie d'une radio de vertèbres, réparées avec la technique de l'arthrodèse[54] (Illustration 60, p. 131).

PE : Chut chut/ ((la PE déplace Mateo))

Med : Voyez regardez/

Es : Beurk/ (tdp. 3-5)

Sur le cliché, on devine des os, mais ce qui apparaît dans un premier temps ce sont de grosses vis. L'idée d'avoir cela dans le corps dégoûte les élèves. La PE déplace Mateo, très agité, qui dérange son voisin. Elle l'isole au bout du stand (Photogramme 11, p. 131).

Med : Vous voyez ce que ça donne/ la maîtresse n'avait jamais vu ça encore\ regardez\

Damien : Quelle horreur/ (tdp. 6-7)

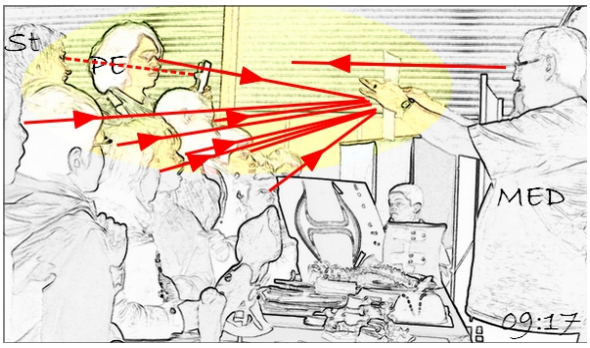
Photogramme 11: La PE isole Mateo

Avec son smartphone, la PE prend une photo de l'image tenue par le médiateur (Photogramme 12, p. 132). L'image surprenante retient

54 Blocage de l'articulation lésée par l'obtention d'une fusion osseuse ; les vertèbres sont fixées entre elles avec des vis.

l'attention de tous (sauf de Mateo, isolé).

Med : Et on a mis ça/ dans le cas présent/ dans la COLonne vertéBRALe\
Es : Arhk beurk
Med : Parce que la personne avait CASsé sa colonne vertébrale, c'était très DIFFicile à arranger
Bruno : Ben c'est SÛR on peut mourir/ (tdp. 8-11)



Photogramme 12: La PE prend une photo

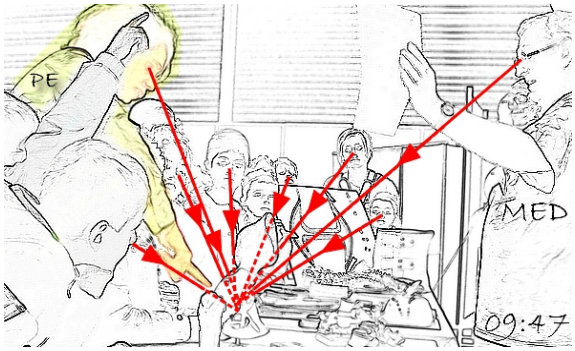
La partie du corps radiographiée est à présent explicitée, il s'agit de la colonne vertébrale. La lecture de l'image reste cependant difficile. La PE interroge le médiateur (Photogramme 13, p. 132). Les élèves suivent du regard son doigt pointé sur l'image.

Photogramme 13: La PE demande une précision

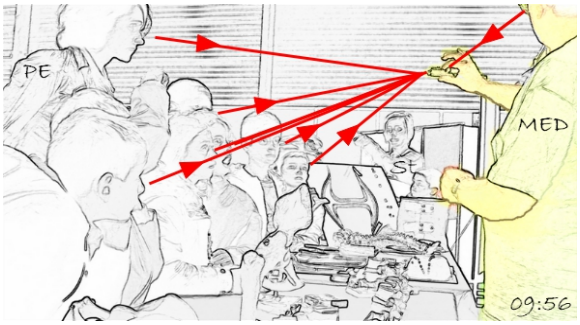
PE : Donc, là c'est ENTRE les
Med : c'est DANS les vertèbres carrémentc
PE : c'est à l'INTérieur des vertèbres qu'ils VISsent les
Med : VOILà, à l'INTérieur des vertèbres, parce que les vertèbres sont SOLides (tdp. 12-15)

Suite à la demande de précision de la PE, le médiateur explicite qu'il s'agit de vertèbres, et que les vis se trouvent dedans, car les os sont solides. La PE saisit l'occasion pour attirer l'attention des élèves sur un des modèles de vertèbres posés sur la table (Photogramme 14, p.133).

PE : Vous entendez les enfants/ Ils VISsent à l'INTérieur des PETites verTÈBRes-LÀ ((elle montre un modèle de vertèbres sur la table))
Es : HEIN/
PE : pour que ça TIENne
E : LÀ/
PE : Ouais (tdp. 16-20)



Photogramme 14: La PE pointe un modèle de vertèbres. Tous les regards convergent.



Photogramme 15: Le médiateur brandit une vertèbre et attire l'attention de tous.

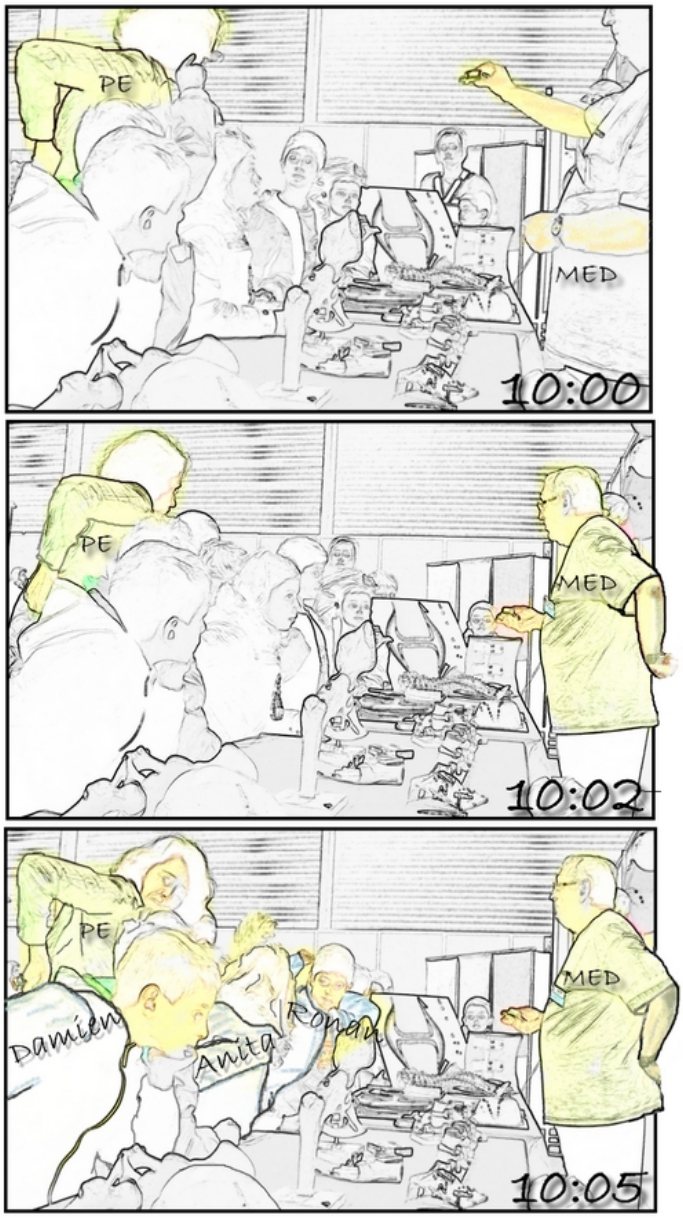
Illustration 61: Vertèbres montrées par la PE

Illustration 62: Vertèbre montrée par le médiateur

Tous les regards convergent vers la table où est posé l'objet (Illustration 61, p. 133)[55]. La PE engage un échange avec les élèves dont l'étonnement est perceptible `(tdp. 17)`.

Le médiateur pose alors l'image, et saisit un autre modèle de vertèbre. Il montre la vertèbre isolée en la faisant tourner pour que les élèves la voient sous tous les angles (Illustration 62 et Photogramme 15, p. 133).

55 Les vertèbres ne sont pas visibles sur le photogramme (14, p. 133), car elles sont cachées par un autre modèle.



Photogramme 16: Synchronisation entre la PE, le médiateur et les élèves

Med : Les vertèbres/ en voici UNE\ voyez/ ÇA c'est UNE vertèbre\
PE : TOUT le monde a ça dans son CORPS hein/ des fois on les SENT quand on TOUCHe\ ((la PE touche sa colonne vertébrale))
Med : Vous pouvez même les sentir/ ((mimétisme du médiateur : il reproduit le geste de la PE)) vous pouvez sentir votre colonne vertébrale\
PE : Vous pouvez sentir des petites bosses\ ouais/ on sent des petites bosses\ (tdp. 21-24)

Le médiateur a encore la vertèbre dans la main (Photogramme 16, p. 134). La PE pointe, sur son corps, l'endroit où l'on peut sentir, du bout des doigts, les petites bosses que sont les vertèbres (10 :00). Tous les élèves ne la voient pas. Certains regardent encore le médiateur,

d'autres lèvent les yeux sur la maîtresse qui a pris la parole. Le médiateur imite la PE (10 :02). Les élèves reproduisent le geste (10 :05), certains (Damien et Anita), au niveau des lombaires, comme les professeurs. D'autres (Ronan par exemple), au niveau des cervicales.

6.4.2.2 Analyse didactique de l'évolution du milieu dans le travail conjoint

Le médiateur et la PE semblent avoir des buts différents à partir de la même ressource. Le médiateur suit le fil de son exposé (épisode 5) sur la réparation des fractures, ici sur la fracture des vertèbres (tdp. 1). Il prend à témoin la PE (tdp. 1 et 6), car il semble incertain de l'effet, qu'une technique chirurgicale peut produire sur les jeunes élèves. Alors qu'il porte son intérêt sur les vis, quelque chose de nouveau, « une chose dont on ne vous a pas parlé » (tdp. 1), la PE détourne l'attention des élèves sur un modèle de vertèbres puis sur leur situation dans le corps. Pour le premier, la radiographie montre une arthrodèse, pour la seconde, cette même ressource montre des vertèbres. La PE instrumentalise (Rabardel, 1995) la radiographie de l'arthrodèse pour diriger la transaction sur l'étude des vertèbres. Nous observons ici un *basculement topogénétique*. Les positions topogénétiques hautes et basses de la PE et du médiateur s'alternent pour faire avancer le savoir :

- Le médiateur exprime un moyen de réparer des os : l'*arthrodèse*. Il l'illustre grâce à une radiographie ; les élèves et la PE, dans un même mouvement, regardent l'image (photogrammes 11 et 12, p.132) et y voient surtout les vis annoncées (tdp. 9) ;
- La PE, en élève idéale, fait émerger une question d'*interprétation* : où sont les vis ? Tous les élèves suivent la direction du doigt pointé qui encode une partie du problème (Photogramme 13, p.132) ;
- L'intervention de la PE permet au médiateur de préciser que « les vis sont dans les vertèbres » (tdp. 13) ;
- La PE connaisseuse de l'anatomie et des besoins des élèves entreprend une action didactique : donner aux élèves une *autre représentation des vertèbres*. Alors que le médiateur brandit encore l'image de l'arthrodèse (Photogramme 14, p.133), la PE montre un modèle de vertèbres sur la table (Illustration 61, p. 133), et détourne tous les regards précédemment portés sur la radiographie. La PE met dans le milieu le modèle de trois vertèbres empilées pour faire la relation avec les vertèbres peu visibles de la radiographie. L'étonnement des élèves est perceptible : « HEIN/ » (tdp. 17). La

représentation qu'ils se font des vertèbres évolue avec la vue du modèle. Une nouvelle relation se crée entre le mot « vertèbres » et les différentes représentations de ces os.

Les transactions ci-dessus, et les suivantes permettent de mettre en évidence la *chronogenèse* de la situation didactique :

- Le médiateur saisit le modèle d'une vertèbre isolée (Illustration 62, p.133) et le montre à tous en le faisant tourner dans sa main, en l'air (Photogramme 15, p. 133) : « ÇA c'est UNE vertèbre\ » ;
- La PE montre leur situation dans la réalité, sur son propre corps (série de photogrammes 16, p. 134, *tc 10 :00*) ; le médiateur l'accompagne (ibid., *tc10 :02*) ; Ils invitent les élèves à toucher leurs vertèbres ;
- Les élèves ont la perception de leurs vertèbres, au toucher (ibid., tc 10 :05) : une nouvelle représentation des vertèbres.

Nous observons des événements[56] successifs où la PE, le médiateur et les élèves introduisent dans le *milieu,* des éléments de savoir. Dans le jeu d'apprentissage, nous appelons ces événements des *moments clés.* Ils sont de l'ordre de la phrase dans le discours des agents, mais avec une syntaxe qui n'est pas seulement verbale :

– « ÇA c'est UNE vertèbre\ », en montrant le modèle d'os ;

– « des fois on les SENT quand on TOUCHe\ » La PE montre sur son propre corps où se situent les vertèbres. Le geste est un élément de savoir qui remplace un syntagme adverbial.

Ce sont souvent des groupes de mots associés à des gestes. Ils sont repérés entre les pauses du locuteur.

Les éléments de savoir verbaux et non verbaux forment un milieu (mésogenèse) qui évolue, décisif pour permettre aux élèves de construire leurs connaissances. Les moments clés s'articulent, dans l'action, amenés et construits conjointement par les transactants (topogenèse).

A. L'interprétation de la radiographie

Le médiateur prend soin de prévenir la PE et les élèves qu'il va montrer une fracture réparée à l'aide de vis. Il s'agit d'une précaution (tdp. 1). Ce faisant, il dirige aussi l'attention de son

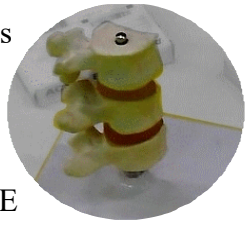
56 Schubauer-Leoni et Leutenegger repèrent dans leur corpus des *événements remarquables « dans la mesure où ils sont considérés comme des moments cruciaux et emblématiques de la séance »* (2002, p. 246). Nos unités de sens nous paraissent plus petites, aussi utilisons-nous la notion de « moment clé ».

public sur ce qu'il doit voir : « des vis ». Il lui donne ainsi, par avance, un élément pour interpréter l'image. En relation avec le discours du médiateur, les élèves, la PE et les stagiaires perçoivent de grosses vis. Ils grimacent et montrent du dégoût.

L'interprétation du lieu où elles se trouvent n'est pas donnée et l'image n'est pas simple à décoder. Le médiateur dévoile enfin qu'il s'agit d'une colonne vertébrale (tdp. 8). La PE ne perçoit toujours pas comment les vis sont placées (tdp. 12 et Photogramme 13, p. 132). Il donne alors une clé d'interprétation, pertinente pour la maîtresse, un *voir-comme* (Wittgenstein, 2004) : « c'est DANS les vertèbres carrément\ » (tdp. 13). La PE saisit l'indice et commence probablement à discerner les vertèbres sur la radio. Elle a déjà une représentation des vertèbres qui lui permet de discerner ces os. Interpréter une radiographie est un métier. La perception même s'apprend : « *c'est à l'expérience à nous instruire sur des analogies qui semblent être de pure institution* » (Diderot, 1749/1964, p. 135). La PE semble douter que les élèves possèdent une représentation de ce qu'est une vertèbre. Ce *« déjà-là »* est nécessaire pour décoder la radio, pour *voir* ce qu'il y a sur l'image *comme* des vis dans des vertèbres.

B. Observation de vertèbres isolées

Un modèle de trois vertèbres empilées



L'évocation des vertèbres donne à la PE l'occasion d'intervenir. Quelques minutes plus tôt, Ann a pris une omoplate pour une vertèbre (tdp. 21, p.127). De plus, la lecture de la radio est difficile. La séquence vécue en classe peut être complétée grâce aux ressources du stand. La PE s'approprie un modèle du médiateur : elle pointe l'empilement de trois vertèbres sur la table. Elle nous dit plus tard qu'elle a trouvé intéressant, pour renforcer l'idée d'articulations, de pouvoir montrer, à ses élèves, des vertèbres isolées de la colonne vertébrale.

> Emilie : Quelquefois la perception du corps est compliquée pour eux\ même si j'avais le squelette dans la classe/ d'avoir ça/ ça cible un peu le regard\ et je trouvais que c'était assez bien fait\ les petites vertèbres-là\ qu'ils se rendent compte/ effectivement/ que ce sont vraiment des éléments distincts les uns des autres et que c'est ça/ avec toutes ces petites articulations et tous ces petits morceaux d'os/ c'est ça qui fait que la colonne vertébrale est un tout\ du coup je pense que pour les élèves/ de voir ces éléments du corps/ ça a amélioré leur perception de ce que l'on a fait en classe\ (Émilie, Entretien rétrospectif, annexe 19, tdp. 36).

En effet, en classe, les élèves ont manipulé un squelette entier et des radios de colonne

vertébrale. Le « groupe d'os » *colonne vertébrale* a été identifié, mais toujours comme une unité.

Une vertèbre toute seule

Le médiateur perçoit l'intention de la PE de montrer aux élèves des vertèbres dissociées de la colonne vertébrale. Son système de ressources le lui permet et il présente aux élèves une vertèbre seule qui lui paraît plus appropriée. En effet, le modèle qu'elle montre aux élèves représente des vertèbres empilées, séparées par les disques. De plus, elles sont atteintes d'ostéoporose, donc déformées. Et l'arrière du modèle montre les vertèbres en coupe. Le médiateur préfère faire tourner le modèle d'une vertèbre saine entre ses doigts.

C. La perception des vertèbres réelles

La PE fait voir où elles se trouvent

La PE fait référence à son propre corps. Elle touche ses vertèbres et attire l'attention des élèves sur son mouvement. Elle n'est pas dans une position favorable pour être vue de tous les élèves et le médiateur relaie la gestuelle et l'invitation verbale.

Le corps du professeur devient une ressource combinée à celles qui sont déjà dans le *milieu* : la radiographie de l'arthrodèse ; les modèles d'os en trois dimensions que les élèves peuvent observer et toucher (même s'ils sont en plastique) ; les représentations langagières, symboliques, pour exprimer les relations qui les lient. Pozzer-Ardenghi et Roth donnent un exemple similaire dans une classe de lycée :

> *By pointing to himself, the teacher transforms his own body into an artifact, a model, that can be more easily seen by students, and that is more naturally related to students' own bodies. As a concrete model it has advantages, for it […] provides an external perspective, which is the way in which we normally perceive and refer to human bodies.*
> (Pozzer-Ardenghi & Roth, 2007, p. 109)

Les élèves touchent les petites bosses

La PE et le médiateur ajoutent à la perception visuelle de la localisation des vertèbres sur leur corps, une invitation au toucher. Ils situent les os sur un corps et leur donnent aussi une réalité toute personnelle pour les élèves. Il ne paraît d'ailleurs pas inutile à la PE de rappeler que « `tout le monde en a` » (des vertèbres) dans son corps. Elle recourt régulièrement à ce type de relations entre les modèles (pantin ou schémas) et le propre corps des élèves. Pour

mémoire, la séquence qu'elle réalise en classe pour introduire les articulations commence par une situation où les élèves doivent observer les endroits où leur corps se plie (6.1.1.2 A. , p.98). La perception de soi pour avoir une meilleure connaissance de son propre corps et de son fonctionnement, est visée par l'éducation à la santé en référence au *socle commun de connaissances et compétences* (Ministère de l'Éducation Nationale, 2006).

Face à l'invite synchrone des deux adultes (Photogramme 16, p. 134, *tc* 10 :02), les élèves reproduisent le geste : ils passent leurs doigts sur les petites bosses de leur colonne vertébrale.

Ces éléments font partie de l'environnement, mais des actions de la PE sont nécessaires pour aider les élèves à faire des relations entre les divers éléments du milieu organisé par le médiateur.

6.4.3 Où les élèves réinvestissent des éléments de savoir très récemment acquis

Dans l'épisode 9, les élèves découvrent que, non seulement on peut réparer les os, mais que l'on peut aussi les remplacer. Le médiateur leur montre les formes analogues de la prothèse de hanche et de la tête du fémur qu'il faut quelquefois remplacer quand le col du fémur est cassé ou fragilisé. Quelques minutes plus tard, la boîte crânienne est présentée comme un groupe d'os très important : il contient notre cerveau. Les élèves demandent alors si des prothèses existent pour remplacer le crâne (épisode 12). Non, il n'en existe pas.

Dans l'épisode 13, Ann interroge le remplacement des vertèbres. Cela déclenche la remise en jeu du modèle de trois vertèbres (épisode 14) pointé dans l'épisode 4 par la maîtresse (6.4.2.2 B. , p.137).

6.4.3.1 Descriptions en langage familier

Dans cette section, nous décrivons l'enchaînement de deux épisodes (13 et 14). Ils sont initiés par deux questions différentes. Nous observons d'abord comment les deux épisodes sont liés par un aparté entre des élèves. Nous décrivons ensuite le monologue du médiateur, qui répond à une question, mais pressé par le temps.

A. Un coup bien tenté qui en amène un autre

Ann interroge alors le médiateur à propos du « coup du lapin » et la possibilité de « remplacer l'os » (épisode 13, tdp. 1).

Ann : Est-ce que quand on fait le coup du lapin on peut quand même

remplacer l'os/
Med : est-ce que/
PE : quand on fait le coup du lapin/ quand on ((geste)) quand on a un accident de voiture par exemple/ c'est à ça que tu penses Ann/
Ann : oui\
PE : Est-ce qu'on peut remplacer les vertèbres/
Med : On ne remplace PAS les vertèbres/ on ne SAIT PAS remplacer une vertèbre (tdp. 1-6)

Photogramme 17: Le coup du lapin

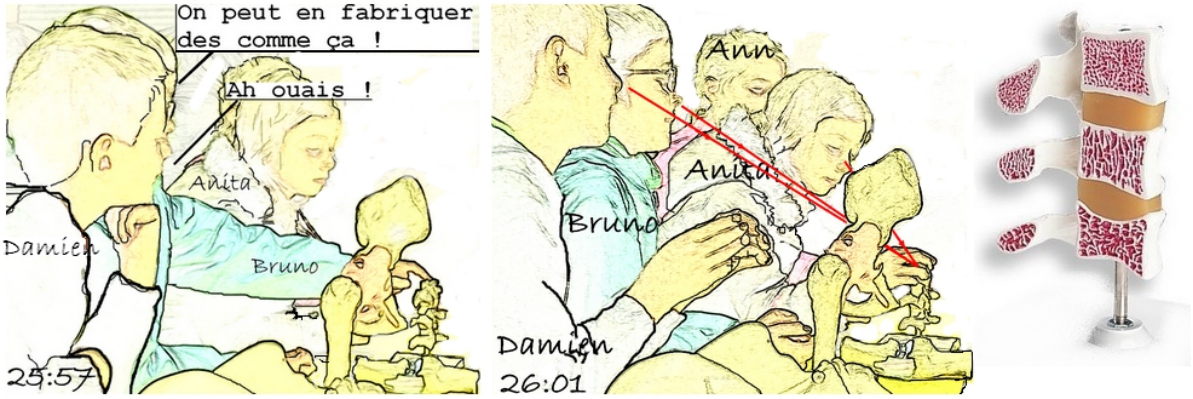
Ann ne cite pas les vertèbres, mais la PE traduit l'intention de l'élève au médiateur (Photogramme 17, p. 140). Comme le crâne, les vertèbres ne peuvent être remplacées.

Le groupe est scindé en deux. Au fond du stand, les élèves et la stagiaire font un aparté. Seul Alan et les élèves, à droite de la PE, suivent l'échange à propos du coup du lapin et du remplacement des vertèbres.

Damien : on n'a qu'à fabriquer un FAUX vertèbre et on le met à la place/
Med : oui/ c'est facile à dire/ mais c'est très difficile à faire\ (tdp. 7-8)

La solution de Damien ne convient pas. Elle interpelle cependant son voisin, Bruno, qui lui montre, en aparté, les trois vertèbres empilées, précédemment pointées par la PE (Photogramme 18, p. 141) : « On peut en fabriquer des comme ça » (tdp. 9). Damien est d'accord avec Bruno (tdp. 10).

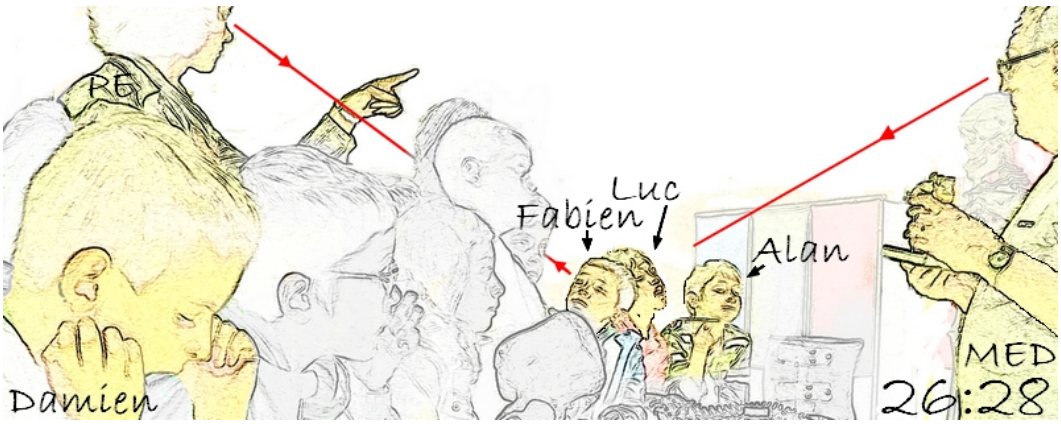
Le médiateur et la PE rappellent qu'il est encore temps de poser des questions (tdp. 11-12). Pendant ce temps, Anita, voisine de Bruno, s'empare du modèle de trois vertèbres, comme pour mieux l'observer (Photogramme 18, p. 141). C'est à ce moment qu'elle en découvre sa « face cachée » (épisode 14). Elle interroge le médiateur : « c'est quoi çà/ » (tdp13). Il hésite mais joue le jeu. Il prévient que l'« on s'embarque dans des choses compliquées » (tdp. 14). La PE annonce que c'est la dernière question (tdp. 15).



Photogramme 18: Aparté de quatre élèves qui découvrent la « face cachée » du modèle

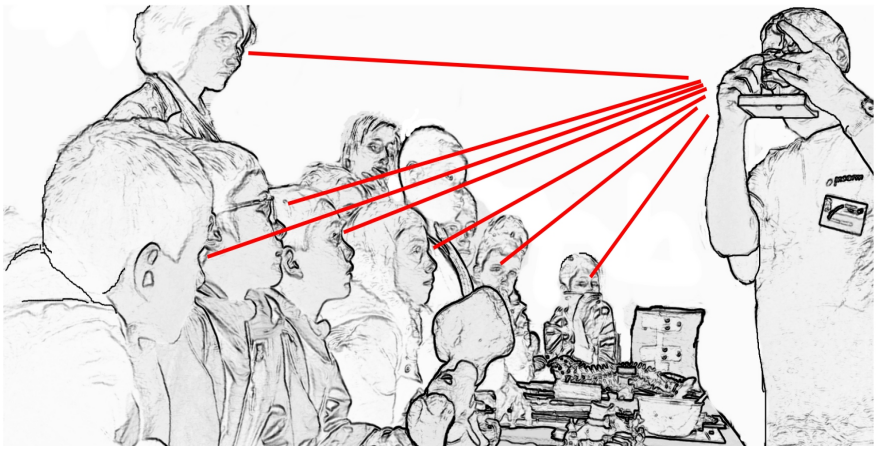
B. Où ça se complique

Le médiateur saisit l'objet et s'apprête à conclure la séance avec cette dernière explication. La PE doit maintenir l'attention de Fabien qui regarde ailleurs. Plusieurs élèves baillent et ferment les yeux.



Photogramme 19: Attention difficile à maintenir

Il décrit le modèle (Illustration 63, p. 143) de façon structurée, appliquée, d'une traite : (26 :22) «Voilà des vertèbres/ ((en montrant le côté externe)) des vertèbres malades\ ((en montrant le côté de la coupe)) c'est à dire que ÇA/ c'est l'INtérieur des vertèbres\ voyez/» (Photogramme 20, p. 142)

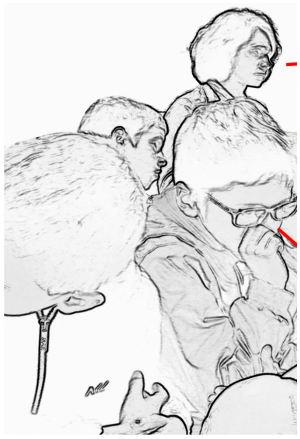


Photogramme 20: Le public suit les explications avec le modèle 3D

Il se déplace et montre la coupe à tous les élèves : «à l'intérieur des vertèbres y-a comme des petites CLOIsons\ il se trouve que PARFois ces petites cloisons CASSent\ regardez LÀ\ LÀ\» Il pointe sur le modèle les petites cloisons cassées. «Les cloisons sont CASSées/» Il fait une petite pichenette (Photogramme 21, p. 142) en l'air avec le bout de ses ongles.

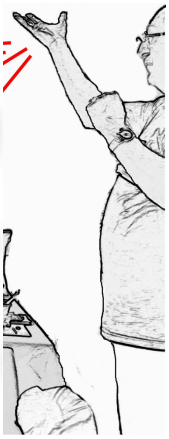
Photogramme 21: Pichenette

Il pose le modèle (Photogramme 22, p. 143) et poursuit avec des gestes qui accompagnent tous les mots accentués.



Photogramme 22: Les élèves décroch

Illustration 63: Coupe des vertèbres



se le modèle

Med : et c'est un peu comme/ si vous voulez/ une ÉGLISe\ vous avez le SOL/ vous avez le TOIT/ et vous avez des PILiers\ si les piliers se FISSurent ou CASSent/

Photogramme 23: Geste « casser »

Il accompagne le dernier mot d'un geste ample (Photogramme 23, p. 143) : la main droite part d'en haut à droite, en diagonale vers le bas à gauche, avec une référence possible, au geste « casser » (Photogramme 24, p. 143) du héros du film *Brice de Nice (Huth, 2005)*.

Med : Qu'est-ce qui va arriver/ il va TOMBer le toit\ ça va faire ÇA\ ça va S'AFFaisser comme on dit\ OK/ ((pas de réponse)).

Photogramme 24: Brice de Nice

Photogramme 25: Geste « s'affaisser »

Il reprend le modèle : et bien il en est de même pour les vertèbres\ les vertèbres vont s'affaisser/ vont faire ÇA\ (Photogramme 25, p. 143) En médecine/ on appelle ça un TASSement de vertÈBRes\ en fait on ne devrait plus parler de tassement de vertèbre/ on devrait parler de FRACTUre vertébrale\(27 :29) (tdp. 16).

Les élèves sont attentifs à ce que dit le médiateur, tant qu'il leur montre le modèle d'os malade. Quand le médiateur pose le modèle sur la table et poursuit avec la métaphore, plusieurs élèves regardent ailleurs, ils décrochent. La PE et le médiateur conviennent que « c'est un peu compliqué » pour eux (tdp. 17-18).

6.4.3.2 Analyse didactique de cette fin de séance

La fin de la séance est qualifiée d'un peu compliquée par le médiateur et par la PE. La figure de style introduite par « un peu », est proche de l'euphémisme. Avec ces quelques mots, les adultes assument la mise en difficulté supposée des élèves et atténuent leur sentiment d'échec. Ils rassurent aussi le groupe, si cela était nécessaire. Les élèves, en revanche, montrent avoir construit de nouvelles connaissances pendant cette séance.

A. Où un arrière-plan commun se dessine

Ann demande au médiateur « Est-ce que quand on fait le coup du lapin on peut quand même remplacer l'os/ » (tdp. 1). Elle ne parle ni de vertèbre ni de prothèse, mais il semble que la pratique-même de ce type de réparation chirurgicale ne lui a pas échappé.

Photogramme 26: L'arrière-plan "prothèse" partagé par les transactants

Damien propose : « on n'a qu'à fabriquer un FAUX vertèbre et on le met à la place/ » (tdp. 6). Et Bruno voit le modèle de trois vertèbres comme une prothèse possible : « On peut en fabriquer des comme ça » (tdp. 9). En effet, une prothèse est un objet qui a la forme de l'os qu'elle remplace. Le médiateur et la PE l'ont montré avec la prothèse de hanche et la tête du fémur (Photogramme 26, p. 144).

Ces transactions prennent appui sur un arrière-plan construit dans la séance (Illustration 64, p. 145). Même si les mots qui désignent les pratiques ne sont pas encore acquis, les transactants savent de quoi ils parlent. Une certaine praxéologie s'installe, le côté pratique du savoir,

même si le discours sur cette pratique est encore fragile[57].

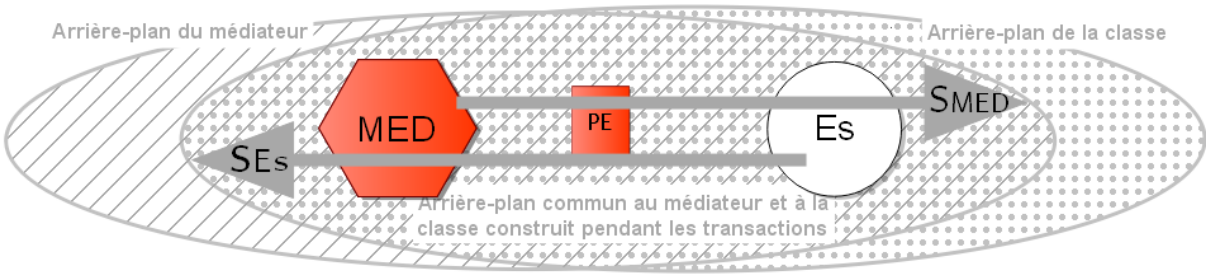


Illustration 64: Construction d'un arrière-plan commun au fil des transactions sur le stand

Par ailleurs, nous observons le rappel aux élèves, explicité par la PE, d'éléments de contrat de la classe : par exemple, lever le doigt pour prendre la parole. Cet élément de contrat est très vite adopté par le médiateur. L'institution « classe » et l'institution scientifique (représentée par le médiateur de l'Inserm) développent et partagent, sur un temps relativement court, un arrière-plan commun. La genèse d'un contrat commun à l'institution « stand » est perceptible.

B. Un projet de jeu trop long pour le temps *institutionnel*

Nous supposons que, principalement à cause du départ imminent du groupe vers un autre stand, le médiateur évalue que la réponse qu'il doit (c'est le jeu !) faire à Anita mériterait plus de temps qu'il n'en dispose. Son projet didactique ne coïncide pas avec le *temps institutionnel* qui lui est imparti. Chopin parle de *tension didactique*. *« Cette tension procède d'une double nécessité pour le professeur : faire avancer les connaissances dans un temps déterminé et nécessairement limité (temps institutionnel) ; ne laisser aucun élève en dehors de ce projet »* (Chopin, 2008, p. 63). La contrainte horaire du village des sciences complique la tâche du médiateur, donc celle des élèves. Il l'annonce avant la réponse qu'il prévoit de faire ; le vérifie pendant sa tirade ; et le confirme, après sa description expresse de l'effet de la maladie sur les vertèbres malades.

C. Un jeu de perceptions

La baisse de l'attention des élèves s'exprime par des signes de fatigue et de renoncement. (Photogramme 19, p. 141). Les adultes s'en aperçoivent : Damien et Luc baillent, Alan a les yeux fermés. La PE continue de maintenir l'attention de Fabien qui cherche la facilité : l'environnement propose des alternatives à la situation qui est annoncée compliquée. Les centres d'intérêts autres sont nombreux.

57 *« Au sein du paradigme didactique, le savoir peut ainsi être systématiquement décrit comme une praxéologie (Chevallard, 2008), qui tient dans une solidarité fondamentale, même si elle est empiriquement diversifiée, la pratique et le discours sur la pratique. »* (Sensevy, 2011c, p. 124)

Le médiateur accompagne peu les élèves dans l'interprétation du système sémiotique sur lequel il s'appuie. Il décrit brièvement ce que représente le modèle « ÇA/ c'est l'INtérieur des vertèbres\ », sans expliciter qu'il s'agit d'une coupe ; que les trois vertèbres représentent trois étapes de l'évolution de la maladie.

La situation est moins simple à saisir par les sens : que sont des os malades ? De quoi parle-t-on ? Contrairement aux autres épisodes denses en éléments nouveaux, le médiateur ne contextualise pas la situation ; par exemple, il ne montre pas la coupe d'une vertèbre saine, avant d'aborder les vertèbres malades.

D. Un *milieu* riche en éléments nouveaux

Le médiateur exprime (met dans le milieu) de très nombreux éléments nouveaux en très peu de temps, et sans interaction avec son public. Or, l'arrière-plan sur lequel il s'appuie, le *contrat*, nous semble fragile : seules les vertèbres ont été plusieurs fois évoquées.

Il diversifie : la manifestation des pathologies change d'échelle. Jusqu'à cet épisode, il n'évoque aux élèves que des fractures. Ce sont des événements de la vie quotidienne des enfants. De plus, la fracture, la cassure ou la rupture des os est assimilable à celle des branches, sous l'effet d'une chute ou d'un choc. Dans cet épisode, le médiateur évoque une maladie, la dégradation microscopique de l'os. La représentation de la pathologie est plus difficile et moins présente dans la vie quotidienne. Il faut regarder l'os dans le détail, à l'intérieur ; les fractures auxquelles les élèves commencent à être familiarisés, laissent la place à la maladie.

À la fin de son discours, le médiateur multiplie les termes médicaux : « tassement de vertèbres », « fracture vertébrale ».

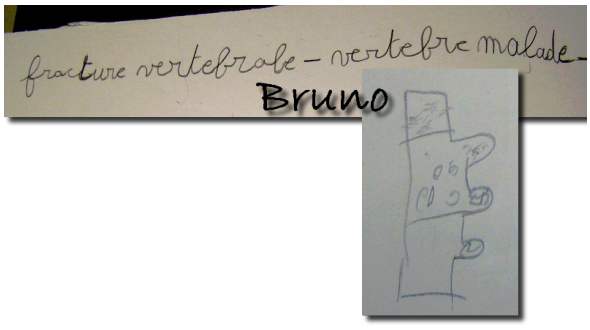


Illustration 65: Extrait du carnet de croquis de Bruno

L'enrichissement du milieu accroît la difficulté, mais éveille aussi peut-être de l'intérêt chez certains élèves. Dans son carnet de croquis, Bruno illustre le stand visité avec ces vertèbres

malades (Illustration 65, p. 146).

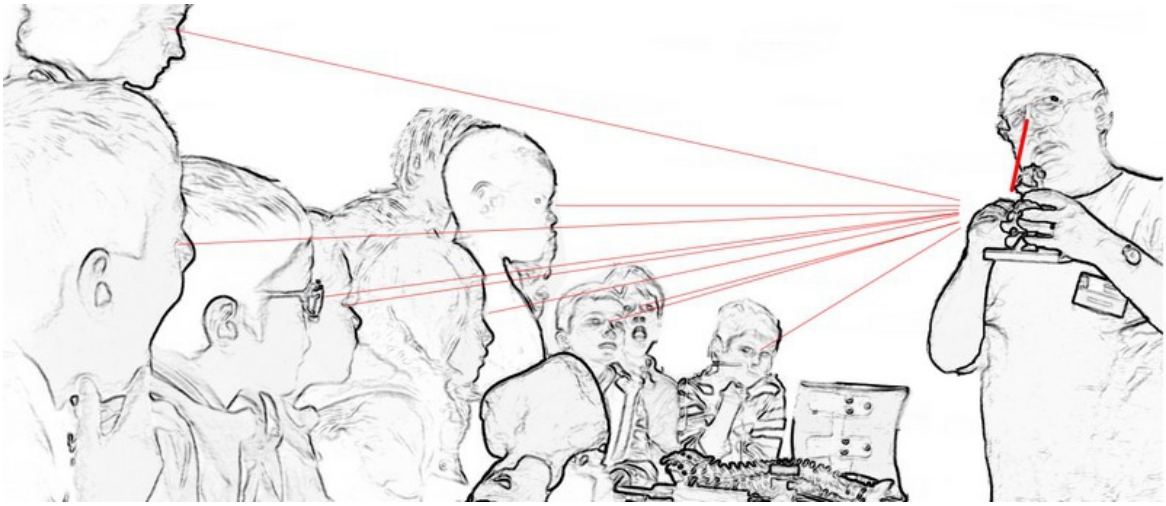
6.4.3.3 Analyse épistémique et épistémologique de l'action du médiateur

L'analyse de la vidéo met en évidence le travail épistémique du médiateur. Il ne livre pas les ressources qu'il a rassemblées telles que nous les décrivons dans l'annexe 20. Il est prêt à parler d'arthrose, de hernies discales et d'ostéoporose à un public non connaisseur. Nous décrivons et analysons ci-dessous la didactisation qu'il opère pour évoquer les vertèbres malades à partir du modèle. Nous pointons des éléments de langage non verbaux en relation avec le langage verbal. Puis, nous analysons l'énoncé qu'il produit, dans cette situation, en le comparant à un énoncé équivalent, produit, dans une autre situation, par quelqu'un d'autre et pour un autre interlocuteur.

A. Un langage non verbal combiné au discours verbal

Le médiateur utilise de nombreux systèmes sémiotiques pour s'exprimer. Il les combine, même. Nous observons

- des gestes déictiques renforcés par son propre regard : il pointe, sur le modèle, les éléments dont il parle (Photogramme 27, p. 147) ;



Photogramme 27: Tous les regards suivent le geste déictique du doigt et le regard du médiateur

- des gestes d'ostension : il circule pour montrer, à tous, la coupe des vertèbres dont il vient de parler ;
- des gestes iconiques, comme les gestes qui illustrent le sol, suivi du plafond et des piliers (Photogramme 28, p. 148) ;

- des gestes métaphoriques qui illustrent des concepts plus abstraits que les gestes iconiques, comme un affaissement (Photogramme 25, p. 143) ;
- des gestes emblématiques, partagés par une communauté socio-culturelle, comme les deux gestes repérés pour signifier « casser » :
  - la pichenette avec les ongles, et le petit claquement associé, indiquent une petite cassure, à la mesure des petites cloisons du modèle (Photogramme 21, p. 142).
  - le geste ample de la main, en diagonale (Photogramme 23, p. 143), a un sens plus limité dans le temps. Il appartient à la communauté des adolescents cinéphiles de 2005 et des années suivantes. En déclarant que le geste du médiateur fait référence au geste du personnage de fiction Brice de Nice (Photogramme 24, p.143), nous situons le jeu du médiateur dans une pratique de référence des adolescents avec lesquels il travaille effectivement régulièrement. Les élèves de 8-9 ans, en 2012, ne partagent peut-être pas la signification du geste.

Photogramme 28: Le sol

B. Langage verbal et paraphrase

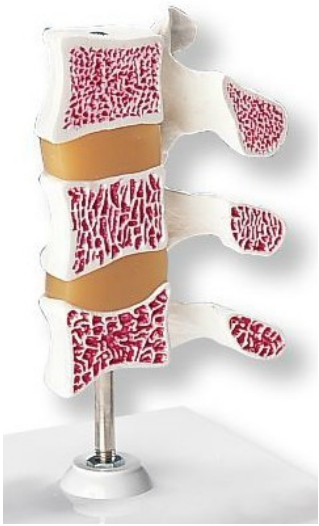


Illustration 66: Face du modèle montrée dans le catalogue à destination de connaisseurs

Illustration 67: Face du modèle montrée aux visiteurs du stand

Les illustrations 66 et 67, p.148 présentent deux points de vue opposés du même objet. La photographie du fabricant (Illustration 66) montre le côté du modèle qui intéresse l'utilisateur

connaisseur : les sections de vertèbres atteintes d'ostéoporose[58]. Cette photo illustre la description du produit (Illustration 68, p. 149). Sur la table d'exposition, le modèle (Illustration 67) est présenté, au public non averti, du côté de la face externe des vertèbres. Incidemment, la face cachée du modèle est découverte, et interrogée, pendant la séance (Photogramme 18, p. 141).

Modèle d'ostéoporose de luxe (3 vertèbres)

Composé de 3 vertèbres lombaires (coupe médiane) avec disques intervertébraux. A titre de comparaison, la structure osseuse saine est présentée sur la section de la vertèbre supérieure, la section de la vertèbre centrale présente une structure osseuse ostéoporotique. La section de la vertèbre inférieure présente l'ostéoporose à un stade avancé avec un effondrement du plateau vertébral supérieur et inférieur (vertèbres de poisson). Le poids de la vertèbre atteint d'ostéoporose est considérablement réduit. Les vertèbres sont amovibles, permettant ainsi une étude plus détaillée.

Illustration 68: Description du modèle de vertèbres dans le catalogue spécialisé

En nous inspirant de notre étude précédente (Goujon, 2013, p. 66), nous comparons deux énoncés : la description du modèle que le fabricant propose dans son catalogue[59], et le discours du médiateur aux élèves. Nous les mettons en regard (Vue_synoptique 10, p. 150). Lefeuvre et al. proposent une analyse analogue pour l'étude de versions différentes de fables. *« L'idée consiste à produire un travail d'analogie entre les versions, c'est-à-dire, pour un élément donné de la fable qu'on retrouve dans différentes versions, analyser les similitudes et les différences entre ces versions. »* (Lefeuvre, Maisonneuve, & Sensevy, 2016, p. 145).

Nous mettons en évidence, dans la cellule de droite, une redondance produite par la comparaison avec une église. Le médiateur file la métaphore avec de nombreuses images, combinées à des gestes iconiques : *le toit, le sol, les piliers, les fissures.* Nous isolons l'énoncé métaphorique combiné aux gestes à l'intérieur de l'énoncé produit avec le modèle.

Trois énoncés de la même famille sont produits dans trois situations différentes, avec trois ressources différentes :

- le médiateur n'a pas directement paraphrasé l'énoncé du catalogue (situation d'énonciation 1). Il s'est approprié le sens de cet énoncé, il l'a interprété pour lui-

58 *« L'ostéoporose est une maladie du squelette, caractérisée par une diminution de la masse de l'os et une détérioration de la structure interne du tissu osseux. Elle rend les os plus fragiles et accroît donc considérablement le risque de fractures. »* (« Ostéoporose », s. d.)

59 Le groupe international **3B Scientific** est spécialisé dans la fabrication et la commercialisation de matériels didactiques pour la formation scientifique et médicale.

même et l'énonce verbalement avec l'appui visuel d'une gestuelle. Une situation d'énonciation différente existe probablement dans le livret (6.1.2.4) qu'il a écrit pour préparer son atelier ;

- pendant la séance, pour les élèves et la PE, il interprète le modèle d'os avec ses savoirs antérieurs (situation d'énonciation 2) ;
- puis, en pensant que le discours est trop compliqué pour ses interlocuteurs, il le paraphrase avec la métaphore de l'église, accompagnée de gestes (situation d'énonciation 3).

Description du modèle par le fabricant	Description du modèle par le médiateur aux CE2
Modèle d'ostéoporose de luxe (3 vertèbres) Composé de 3 vertèbres lombaires (coupe médiane) avec disques intervertébraux. A titre de comparaison, la structure osseuse saine est présentée sur la section de la vertèbre supérieure, la section de la vertèbre centrale présente une structure osseuse ostéoporotique. La section de la vertèbre inférieure présente l'ostéoporose à un stade avancé avec un effondrement du plateau vertébral supérieur et inférieur (vertèbres de poisson) Le poids de la vertèbre atteint d'ostéoporose est considérablement réduit.	((avec modèle))Voilà\ des vertèbres\ des vertèbres malades\ ((en montrant le côté de la coupe)) c'est à dire que ÇA/ c'est l'INtérieur des vertèbres\ voyez/ à l'intérieur des vertèbres y-a comme des petites CLOIsons\ il se trouve que PARFois ces petites cloisons CASSent\ regardez LÀ\ LÀ\ Les cloisons sont CASSées/ ((avec gestes)) et c'est un peu comme/ si vous voulez/ une ÉGLISe\ vous avez le SOL/ vous avez le TOIT/ et vous avez des PILiers\ si les piliers se FISSurent ou CASSent/ qu'est-ce qui va arriver/ il va TOMBer le toit\ ça va faire ÇA\ ça va S'AFFaisser comme on dit\ OK/ ((avec modèle)) et bien il en est de même pour les vertèbres\ les vertèbres vont s'affaisser/ vont faire ÇA\ *en médecine/ on appelle ça un TASSement de vertÈBRes\ en fait on ne devrait plus parler de tassement de vertèbre/ on devrait parler de FRACTUre vertébrale*

Vue_synoptique 10 : Descriptions synoptiques du modèle par le fabricant et par le médiateur

Cette vue synoptique (10, p. 150) permet de montrer les similitudes (en noir dans l'énoncé du fabricant) entre l'énoncé écrit du fabricant du modèle pour des connaisseurs, et le discours du médiateur pour le groupe scolaire. la paraphrase se présente sous la forme de traductions, des correspondances sémantiques pour parler du même objet. Les seules correspondances lexicales sont « vertèbre » et « vertébral ».

En gris, à gauche, sont représentés les segments qui n'ont pas de correspondance dans l'énoncé de la séance *« ce qui peut être en soi une source de questionnement »* (ibid.).

Pour montrer l'équivalence sémantique entre ces énoncés, nous proposons de les relier au modèle que le médiateur utilise. Culioli dit que *« tout paraphrasage se caractérise par un invariant ; or un invariant est une structure, c'est-à-dire un ensemble de relations entre des termes, stable sous transformation » (1973, p. 86).* Les trois énoncés ont une relation paraphrastique. Chacun fait référence à des objets issus de pratiques différentes : la médecine avec son jargon[60], la maladie avec une analogie à la maçonnerie, l'architecture religieuse (Illustration 69, p. 151).

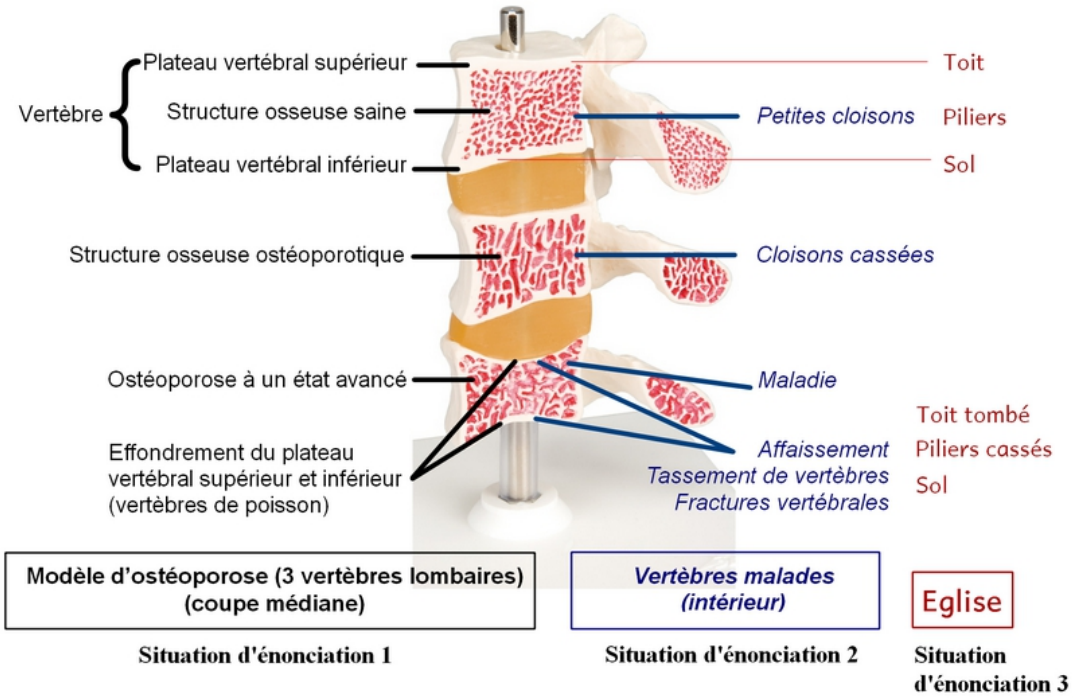


Illustration 69: Trois énoncés en relation paraphrastique avec le modèle de vertèbres malades

Le problème clé reste celui de la signification, c'est-à-dire d'une relation complexe entre des énoncés (textes), une situation d'énonciation, un sens (relation entre des « objets »

60 Nous avons repéré de nombreuses *catachrèses* (Texte 1, p. 153) dans le jargon médical : « boîte crânienne », « tête du fémur », « vertèbre de poisson ».

> *linguistiques qui renvoient à des objets extra-linguistiques avec leurs propriétés physico-culturelles), des valeurs référentielles (modalités, temps, aspect, quantification, etc.)* (ibid.).

La paraphrase en fonction de la situation d'énonciation nous semble nécessaire pour engager des transactions didactiques.

Le médiateur tait des éléments qui ne lui paraissent peut-être pas essentiels à ce moment précis des transactions :

- il ne décrit pas les disques intervertébraux ;
- il n'indique pas l'aspect chronologique de la progression de la maladie (la vertèbre supérieure est saine, la seconde atteinte légèrement par la maladie, et la troisième gravement atteinte) ;
- il ne montre pas que le modèle des trois vertèbres respecte la perte de poids des vertèbres malades.

La déclaration conjointe `« C'est un peu compliqué pour vous » (tdp. 17-18)` de la PE et du médiateur, dans cette fin de séance, est marquée principalement par un temps institutionnel trop court. Elle est l'expression d'un travail non fini. Elle traduit un écart entre ce que la PE et le médiateur pensent que les élèves ont pu construire comme savoir, et le potentiel épistémique des éléments introduits dans le milieu.

Selon le même processus, le médiateur comble probablement l'écart ressenti dans la situation 2, quand il utilise le modèle. Il amène un *ajustement*, terme emprunté à Culioli[61], avec la métaphore de l'église (qu'il pense probablement plus adaptée) et les gestes (situation énonciative 3).

Les savoirs que le médiateur veut partager avec son public, sont associés à des pratiques de médecins, des connaisseurs d'une communauté différente de celle à qui il s'adresse. La didactisation de ces savoirs, dans la situation énonciatrice étudiée, implique la *paraphrase* comme traduction, l'*ajustement* de l'énonciateur à son public[62], et certainement des choix. Il ne met pas dans le milieu tout ce qu'il sait.

61 Culioli met en avant *« le mouvement qui est au cœur de tout acte de langage, cet ajustement des systèmes de repérage entre énonciateurs »* (1973, p. 85).

62 *« Tout énoncé suppose un acte dissymétrique d'énonciation, production et reconnaissance interprétative. Ramener l'énonciation à la seule production et l'énonciateur au locuteur, c'est, en fin de compte, ne pas comprendre que l'énoncé n'a pas de sens sans une double intention de signification chez les énonciateurs respectifs. Ces derniers sont à la fois émetteur et récepteur, non point seulement en succession, mais au moment même de l'énonciation. »* (Culioli, 1973, p. 86, nbp 3)

Vertèbres de poisson : catachrèse partagée par les professionnels de la médecine

Vertèbres de poisson : la catachrèse apparaît dans le texte descriptif du modèle par le fabricant. L'expression est utilisée par les professionnels de la santé, comme le Professeur Ribot, praticien hospitalier en endocrinologie. Il utilise l'expression dans un article spécialisé de la revue *Médecine Thérapeutique Endocrinologie & Reproduction* :

> *(…) Les vertèbres sont également touchées avec hypoplasie vertébrale, présence d'un bec antérieur sur les vertèbres de la charnière thoraco-lombaire (D12, L1, L2) et, dans les cas extrêmes, un aspect dit de vertèbres de poisson*. (Ribot, 2000)

L'expression apparaît déjà (pour la première fois, peut-être), mais sous la forme d'une analogie, dans cette description d'une lésion lombaire rapportée par le docteur François Planque (Illustration 70, p. 153). Il s'agit d'un extrait scanné de son encyclopédie alphabétique de médecine, nourrie des journaux de l'époque et contemporaine de l'Encyclopédie de Diderot (éditée de 1751 à 1772) : *« Depuis cinq ans, ses os n'avaient point de ressemblance avec les os humains ; ils ressemblaient aux vertèbres de poisson, comme celles de brochet, ou à celles de la queue de raie »*. (Planque, 1761)

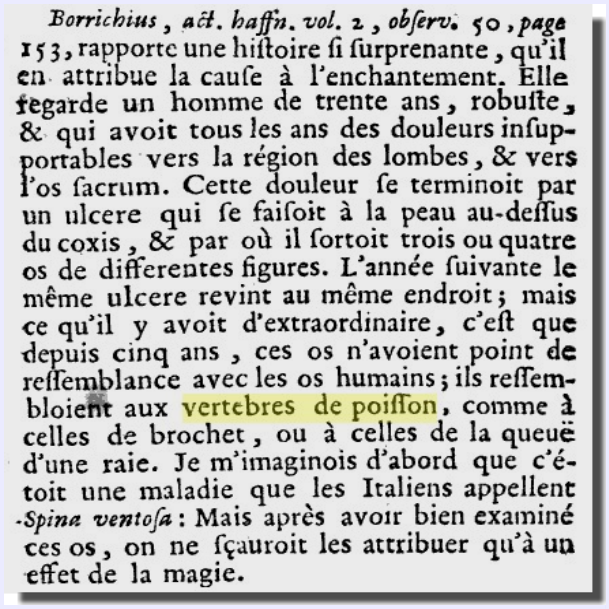

Borrichius, act. haffn. vol. 2, obſerv. 50, page 153, rapporte une hiſtoire ſi ſurprenante, qu'il en attribue la cauſe à l'enchantement. Elle regarde un homme de trente ans, robuſte, & qui avoit tous les ans des douleurs inſupportables vers la région des lombes, & vers l'os ſacrum. Cette douleur ſe terminoit par un ulcere qui ſe faiſoit à la peau au-deſſus du coxis, & par où il ſortoit trois ou quatre os de différentes figures. L'année ſuivante le même ulcere revint au même endroit; mais ce qu'il y avoit d'extraordinaire, c'eſt que depuis cinq ans, ces os n'avoient point de reſſemblance avec les os humains; ils reſſemblaient aux vertebres de poiſſon, comme à celles de brochet, ou à celles de la queuë d'une raie. Je m'imaginois d'abord que c'étoit une maladie que les Italiens appellent *Spina ventoſa*: Mais après avoir bien examiné ces os, on ne ſçauroit les attribuer qu'à un effet de la magie.

Illustration 70: Extrait de la Bibliothèque choisie de médecine de Planque (1761)

Texte 1: Vertèbres de poissons

6.5 Os et articulations : éléments de discussion à propos des positions topogénétiques des transactants

La topogenèse décrit le partage des responsabilités épistémiques entre les transactants. Nous attribuons une position topogénétique haute au transactant qui, à un moment donné, modifie de façon significative le milieu et la progression des savoirs, pour l'ensemble des transactants. Au cours de la visite du stand, les élèves ont quelquefois une position topogénétique haute. En effet, ils peuvent être initiateurs d'un épisode, en choisissant, dans l'environnement qui leur est proposé, la thématique qui va être discutée ou en posant une question au médiateur. Ils apportent alors dans le milieu de nouveaux éléments à mettre en relation.

Du côté du pôle Professeur, le médiateur et la PE n'occupent pas la même position topogénétique vis-à-vis des élèves. Nous proposons ici des systèmes sémiotiques qui permettent de décrire ces positions topogénétiques des deux professeurs, pendant les transactions.

6.5.1 Une dissymétrie des positions topogénétiques des deux professeurs

Pour rendre compte de la présence de deux professeurs dans l'instance « professeur », nous faisons évoluer le schéma présenté dans la partie théorique (Illustration 11, p. 41). Pour différencier les positions topogénétiques des professeurs, nous créons deux pictogrammes qui les différencient, permettent de les identifier et de faire varier leur position respective (Illustration 71, p.154).

La PE a une position topogénétique haute en début et fin de séance. Elle introduit la séance en 40 secondes. Elle déploie un éventail d'expressions et de signes pour récupérer l'attention des élèves, les faire se taire, leur demander d'écouter le médiateur, et leur passer quelques consignes. En fin de séance, elle clôt l'atelier, récupère l'attention des élèves pour les déplacer vers un second stand. Entre ces deux moments, le médiateur conduit les apprentissages, quelquefois interrompu par des régulations de la PE. La séance est dominée, en termes de durée, par une position topogénétique haute du médiateur, associée à une position topogénétique basse de la PE. Symboliquement, nous représentons le pictogramme du médiateur plus grand que celui de la PE.

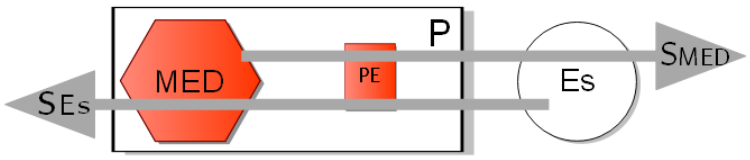
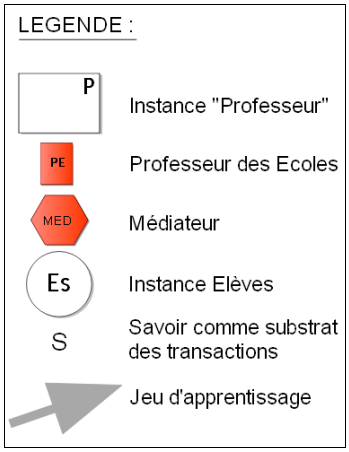


Illustration 71: Position topogénétique haute du médiateur



La modélisation de ces systèmes montre la dissymétrie entre les positions de la PE et du médiateur. Quand l'un mène, l'autre « s'efface », mais jamais complètement : il est toujours présent dans le milieu et se montre concerné par les échanges de savoirs des autres transactants. Nous le représentons « traversé par les flèches », tous les jeux d'apprentissages et sémiotiques qui se jouent dans la transaction. Il s'ajuste, même, aux situations ; il reste transactant, même s'il n'interagit pas verbalement.

6.5.2 La PE, entre élève idéale et professeure

Quand le médiateur adopte la position topogénétique haute, la PE glisse du côté des apprentissages en *élève idéale* (Illustration 71, p. 154) ; elle se trouve d'ailleurs physiquement du même côté de la table que les élèves. En *élève idéale,* elle saisit les relations que le médiateur attend que les élèves fassent et réagit quand il lui manque des éléments. La PE offre à ses élèves un « modèle d'imitation ». Elle est très attentive aux apports du médiateur et est prompte à poser des questions, pour elle-même, mais pour que l'ensemble du groupe profite des réponses du médiateur.

Elle considère aussi ces temps de co-intervention comme des temps de formation. Elle nous confie :

> Émilie : C'est la première année que je travaille à ce point sur Os et articulations\ Parce que je suis passée dans le cycle 3 que depuis UN an/ et l'année dernière j'avais pas fait le corps humain/ j'avais fait ce que je maîtrisais pas mal / les élevages/ les insectes/ les arthropodes/ la classification animale\ j'ai TOUT découvert en préparant LÀ pour mes élèves\ en termes de savoirs de l'enseignant/ là/ ça m'a demandé pas mal de travail/ mais c'est pareil/ en allant dans cet atelier-là je me suis dit aussi/ personnellement/ j'vais en apprendre encore et je me suis dit/ avoir un spécialiste en face/ c'est le bénéfice pour les élèves/ mais aussi QUEL bénéfice MOI je peux en retirer pour le ré-exploiter en retour IMMédiat/ mais aussi sur les années prochaines/ (Émilie, entretien rétrospectif, annexe 19, tdp. 78)

Cette dimension formative de la co-intervention est avancée par de nombreux enseignants qui ont une pratique de cette modalité de travail.

Élève idéale, professeure en formation, nous situons la PE dans le pôle « professeur » : elle a un contrat avec les élèves, les parents et son institution. Nous l'observons installer ses élèves sur le stand et les rassembler pour en repartir. Elle intervient en cours de séance quand elle le pense nécessaire. Elle s'assure de la participation des élèves et de leurs apprentissages. Elle fait des photos et des vidéos des situations qu'elle a l'intention de réutiliser en classe. Elle se constitue des ressources a priori partagées avec les élèves, pour donner une suite aux apprentissages engagés sur le stand.

6.5.3 Des basculements entre les positions topogénétiques hautes et basses

Les professeurs ne sont pas interchangeables et se complètent. Les positions topogénétiques basculent pendant la séance. Il arrive que la PE mène ponctuellement le jeu d'apprentissage

(Illustration 72, p. 156). Le médiateur prend des informations dans ce qui se joue alors, puis

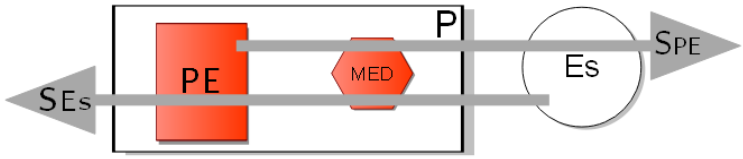


Illustration 72: Position topogénétique haute de la PE

s'en sert, le cas échéant.

Le médiateur montre une photo d'arthrodèse ; il est en position topogénétique haute (Phase 1, Illustration 73, p. 156). Alors qu'il explique que les vis sont mises à l'intérieur des vertèbres (phase 2b), la PE juge nécessaire d'apporter un élément de savoir non évoqué en classe et non visible sur la radiographie montrée : la sémiose du milieu n'est pas suffisamment opérationnelle. Tous les élèves n'ont pas l'arrière-plan nécessaire pour comprendre ce qu'est une vertèbre et leur expression fait signe à la PE (phase 2a). La PE repère un obstacle. Il est probable qu'elle fasse fonctionner un arrière-plan commun à la classe auquel le médiateur n'a pas accès. Elle le réactive, informant dans le même temps le médiateur.

Les deux professeurs échangent tacitement leurs rôles (phase 3). La PE montre des vertèbres sur la table. Elle réaménage le milieu pour faciliter la mise en relation des différents éléments par les élèves. C'est une régulation épistémique.

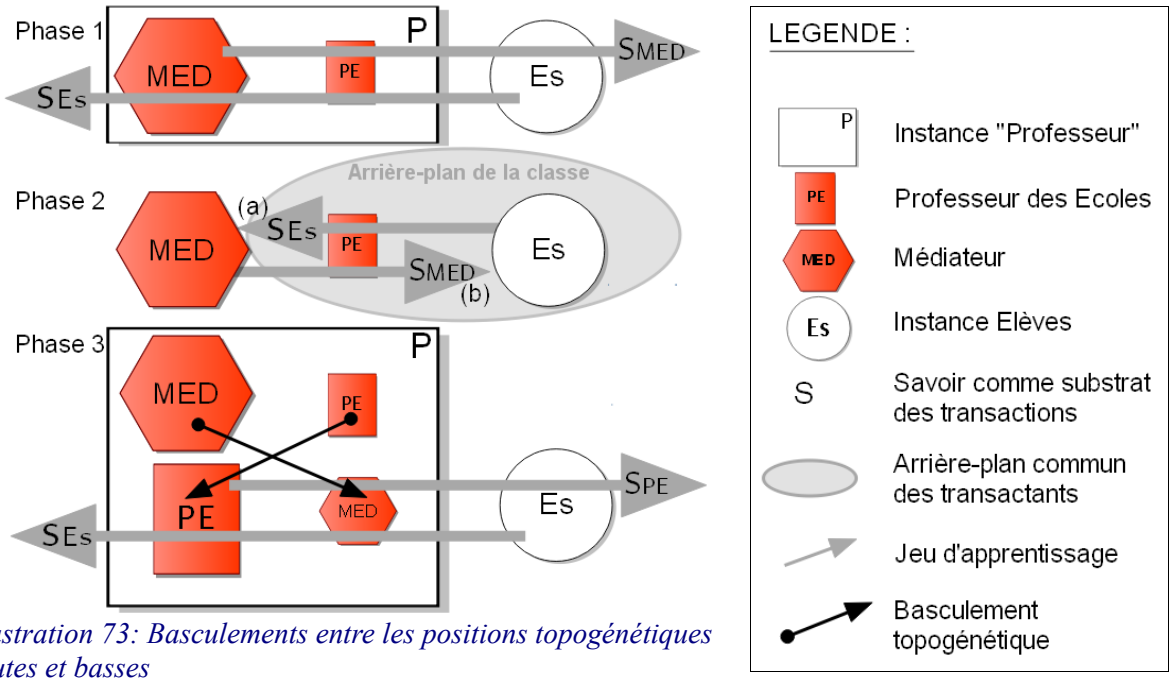


Illustration 73: Basculements entre les positions topogénétiques hautes et basses

Le médiateur saisit la relation engagée par la PE et reprend une position topogénétique haute

(Illustration 71, p. 154) en brandissant une vertèbre isolée. Le médiateur est attentif aux gestes de la PE. Il prend appui sur son expérience : un regard pour savoir s'il ne va pas trop loin, l'imitation de gestes adaptés à ces élèves. Il se fait le relais de la PE, alors qu'elle n'est pas visible de l'ensemble des élèves. En effet, elle se trouve dans leur dos (Plateau_de_jeu 5, p.108).

6.5.4 Des décrochages ponctuels d'élèves

Nous observons plusieurs situations de décrochage d'élèves, quelquefois liées à l'attractivité d'un objet exposé ou d'un échange avec les voisins. Un groupe d'élèves décroche de la transaction en cours à ce moment-là (Illustration 74, p. 157). Ces élèves évoquent des savoirs différents (SEs') de ceux des autres élèves (SE). Ils montrent qu'ils ne sont plus dans le milieu organisé pour eux à ce moment-là.

L'instance « Professeur » (la PE et le médiateur) perçoit ces signes, et la PE, professeur surnuméraire, ramène les élèves dans le milieu adapté (Illustration 75, p. 157). En aparté, elle opère une régulation : elle signifie aux élèves sa réprobation. Elle ramène dans la transaction principale des élèves qui décrochent pour jouer à un autre jeu. Elle rappelle le contrat.

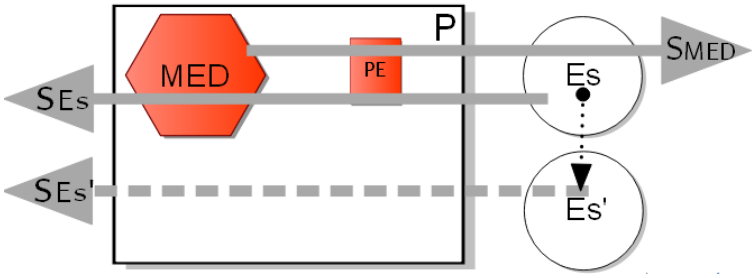


Illustration 74: Aparté d'élèves ou décrochages pendant la

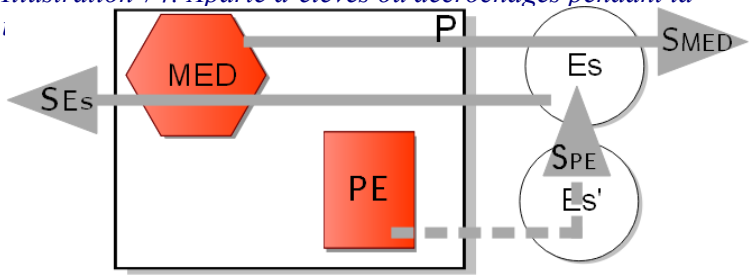
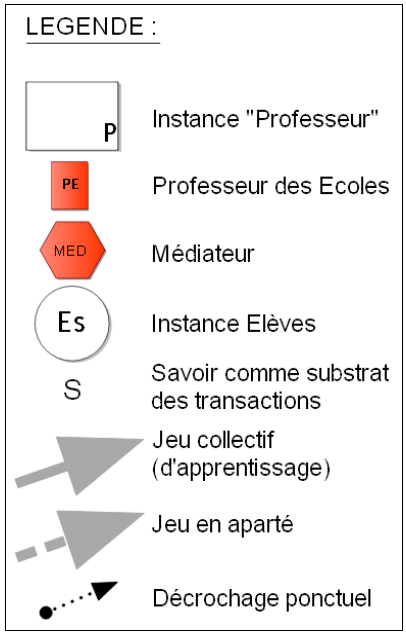


Illustration 75: Transaction différenciée de la PE, régulation ponctuelle



6.5.5 Des transactions parallèles différenciées

Certaines régulations nécessitent, avec les élèves qui décrochent, des transactions plus

longues. Les stagiaires, que nous intégrons dans le pôle des « professeurs » sont en position de professeures surnuméraires. Nous observons quelques transactions qu'elles alimentent avec des élèves qui se trouvent à l'opposé de la caméra et du microphone. Nous n'entendons pas l'objet des échanges (Photogramme 14, p. 133).

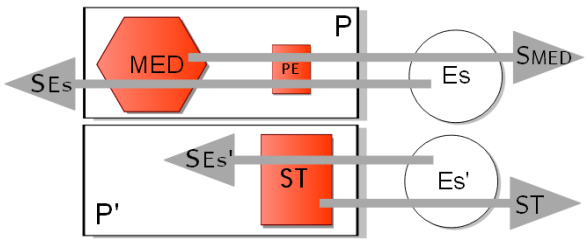


Illustration 76: Aparté et transactions parallèles différenciées

Ces transactions dans l'instance P' sont parallèles aux transactions principales dans l'instance P. Le groupe est divisé en deux sous-groupes avec probablement des milieux distincts et des apprentissages distincts, et la construction de savoirs différenciés (Illustration 76, p. 158).

6.5.6 Actions synchrones des transactants

Nous observons de nombreuses actions du médiateur synchronisées avec celles de la PE. Le médiateur est un professeur à la retraite, et cela a probablement son importance dans la synergie que les deux personnes sont capables de mettre en œuvre. Parmi les actions synchrones décrites dans cette étude :

```
PE : Vous entendez les enfants/ ils vissent à l'INtérieur des petites
       vertèbres-LÀ\ ((elle montre un modèle de vertèbres sur la table))
       (tdp. 16)
Med : Les vertèbres/ en voici UNE\ ÇA c'est UNE vertèbre\ (tdp. 21)
```

Quelquefois, ces actions synchrones de la part des deux professeurs peuvent même être coordonnées, avec un rythme commun (Illustration 77, p. 158).

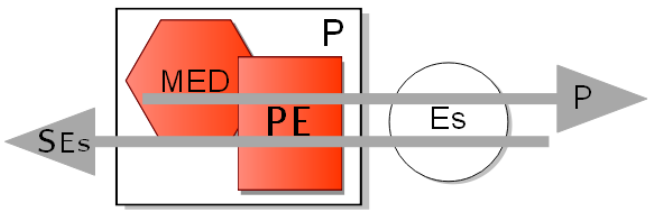


Illustration 77: Action synchrone de la PE et du médiateur

La PE montre sur son corps où se situent les vertèbres, le médiateur l'imite simultanément, renforçant ici l'invitation pour les élèves à toucher et sentir leurs propres vertèbres

(Photogramme 16, p. 134).

6.5.7 Recul de la PE

Lors de l'entretien rétrospectif, la PE évoque sa surprise quant à la participation d'Ann. En classe, cette élève est habituellement peu sûre d'elle. *« Cette différence de situation entre « la classe » et « l'intervention » joue aussi comme révélation de comportements inattendus de la part d'un élève » (Garnier, 2003, p. 115)*. Elle n'arrive pas à s'exprimer dans le cadre scolaire, et est en souffrance. Lors de la séance sur ce stand, Ann est non seulement active, mais montre avoir construit des savoirs.

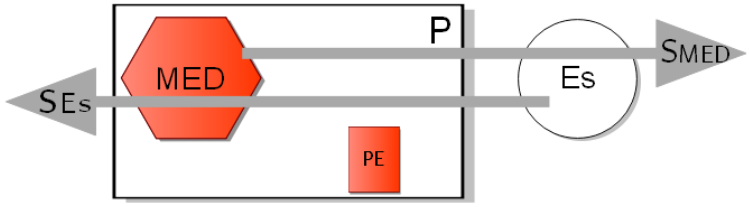


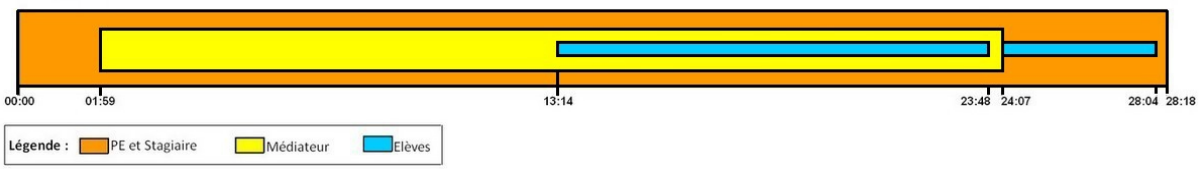
Illustration 78: Recul de la PE

> *De ce point de vue, l'intervention peut constituer pour les maîtres un dispositif réflexif qui interroge leur propre activité avec leurs élèves à travers celle de l'intervenant. De cette manière, le « recul » du maître se comprend à la fois vis-à-vis de l'intervenant, de ses élèves et de lui-même et, ajoutons-le à nouveau, s'inscrit dans les rapports que le domaine d'intervention entretient avec le cours des activités qu'il mène en classe* (ibid., p. 114).

Dans cette position topogénétique de « recul » (Illustration 78, p. 159), la PE observe ses élèves ainsi que le médiateur et analyse leurs stratégies. Elle photographie ou filme pour garder la mémoire des situations pour une exploitation en classe, mais aussi pour elle-même. Dans la séance observée, le recul réflexif de la PE est toujours enchaîné de retours dans les transactions avec le médiateur et les élèves.

Dé-zoom : une vue topogénétique macroscopique

L'analyse chronologique (6.2.4, p. 119), associée à l'analyse topogénétique de cette séance, nous amène à en proposer une représentation où les transactants revêtent des responsabilités enchâssées (Vue_synoptique 11, p. 159).



Vue_synoptique 11: Responsabilités enchâssées des transactants

La PE a une présence topogénétique non négligeable durant toute la séance. Elle l'introduit en instituant ses règles (épisodes 1 et 2), puis délègue le temps didactique au médiateur (3-10). Dans une première partie, au cœur de la séance, le médiateur mène le jeu (épisodes 3-5) ; dans une seconde partie (épisodes 6-10), il *dévolue* aux élèves l'initiative des thèmes abordés, mais garde une position topogénétique majeure. À la fin, la PE amène les élèves à conclure (épisodes 11-15) avant d'organiser le départ (épisode 16). Dans la première moitié de la séance, les élèves apprennent à jouer avec le nouveau milieu qui leur est proposé. Le contrat s'installe. Dans la seconde partie, leur position topogénétique est plus importante. Ils s'appuient sur l'arrière-plan construit précédemment, pendant la séance, pour faire des propositions, faire des liens avec des éléments de savoirs issus du milieu qui évolue.

6.6 Le chapitre sur les os en bref

Dans ce chapitre, nous décrivons l'arrière-plan de la PE avec ses élèves de CE2, et l'arrière-plan du médiateur. Chacun repose sur des pratiques de savoir spécifiques.

En classe, une séquence d'apprentissage sur les os, les articulations et les mouvements corporels précède la séance au village de sciences. La sortie fait ensuite l'objet d'un travail de rédaction sur la chronologie dans le récit. En sciences, la PE a recours aux « écrits intermédiaires », des « écrits personnels » avec un retour réflexif sur le vécu et les observations.

Le médiateur mène des enquêtes auprès de médecins et chirurgiens de diverses spécialités et didactise des objets de savoir médicaux qui touchent la société, dans ce cas, les maladies osseuses les plus connues. Le médiateur a une expérience didactique avec différents publics. Il prend appui sur de nombreux artefacts réellement utilisés par des praticiens de la médecine, ainsi que sur des modèles d'os sains et malades.

Les transactants arrivent à coordonner leurs actions sur le stand. Nous observons une variété de positionnements de la PE et du médiateur durant cette séance. Dans le pôle des « professeurs », le médiateur a le plus souvent une position topogénétique plus haute que celle de la PE. Son jeu est essentiellement épistémique. La PE tient son rôle de professeur dans les déplacements et les mouvements des élèves. Elle se montre garante de l'attention des élèves envers le médiateur. La PE se positionne souvent en *élève idéale*. Elle n'hésite pas à interroger le médiateur pour avoir des précisions quand elle ne comprend plus ou qu'elle pense que cela aiderait les « autres élèves ». Elle intervient aussi pour des régulations d'ordre épistémique.

Pour chaque ensemble de ressources qu'il emploie, le médiateur a développé des schèmes d'utilisation, et donc des documents. Si les élèves l'interrogent à propos d'une ressource, le médiateur met en jeu, dans le milieu, les autres ressources appartenant au même ensemble. De plus, dans l'action, nous observons des jeux de langages spécifiques en relation organique avec l'activité. Les ressources matérielles sont ainsi combinées à des ressources verbales et non verbales des deux professeurs.

Chapitre 7 - L'eau du robinet, ça coule de source ?

15/ L'EAU DU ROBINET, ÇA COULE DE SOURCE ?

L'atelier propose de faire découvrir au public quelle est l'origine de l'eau potable en Bretagne qui coule de nos robinets et en particulier quelle est la part et le rôle du milieu souterrain dans le cycle de l'eau. Une animation sera présentée à partir de maquettes d'aquifères permettant de visualiser les circulations de l'eau en milieu souterrain et la vulnérabilité des nappes vis à vis des pollutions anthropiques.

BRGM ET OSUR

Niveau scolaire : du CE1 à la Terminale

Illustration 79: Annonce du stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » dans le programme scolaire du village des sciences 2013

Les deux institutions de recherche, l'OSUR et le BRGM, se partagent, pour l'événement du village des sciences (VDS[63]), un stand : « L'eau du robinet, ça coule de source ? » (Illustration 79, p. 163). Elles travaillent régulièrement ensemble, notamment dans le cadre d'études sur les eaux souterraines. Elles proposent donc conjointement, un atelier sur une des thématiques retenues pour l'année par l'UNESCO. En 2013, « l'Année internationale de la coopération dans le domaine de l'eau » est l'occasion de sensibiliser le public à l'exploitation et à la pollution des eaux souterraines. Faire connaître les recherches en hydrogéologie est un but tant pour sensibiliser le « grand public » aux problématiques actuelles que pour attirer les jeunes vers les filières en hydrogéologie. Les chercheurs adoptent, pour l'occasion, une posture de médiateur scientifique.

Les acteurs engagés dans le projet, et leur institution, acceptent que nous filmions l'atelier et que nous enquêtions sur leur activité quotidienne dans leur espace professionnel.

Dans un premier temps (7.1 , p. 164), nous présentons les acteurs en jeu dans la situation filmée sur le stand. Puis, nous décrivons la préparation du stand par les médiateurs (7.2 , p. 169). Nous pénétrons ensuite dans l'espace du stand comme sur un plateau de jeu, avec les scènes qui servent de décor aux différentes phases de l'atelier (7.3 , p. 193). Nous décrivons et analysons enfin quelques situations de médiations à des classes de CE1 (7.4 , p. 197). Nous

63 Toutes les abréviations sont renseignées dans la table des Abréviations utilisées (p.407)

concluons le chapitre par des éléments de discussion (7.5 , p. 215) et une courte synthèse (7.6 p. 222).

7.1 Présentation des transactants : le village des sciences, un événement dans leur activité ordinaire

Dans un premier temps, nous présentons ces deux institutions et les scientifiques, médiateurs des situations didactiques que nous étudions (7.1.1 , p. 164). Dans un second temps, nous décrivons les groupes scolaires qui visitent le stand (7.1.2 , p. 169).

7.1.1 Le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » et ses acteurs

Dans cette section, nous présentons les deux institutions partenaires pour l'atelier au village des sciences. Puis, nous nous attardons sur l'activité habituelle des ingénieurs de recherche.

7.1.1.1 Deux institutions pour un stand

- **Le BRGM**

Le BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, est le service géologique national français. Une de ses missions est la recherche scientifique, pour comprendre les phénomènes liés au sol et au sous-sol.

En Bretagne, l'eau souterraine est un des domaines principaux où intervient le BRGM[64]. Les médiateurs de notre étude sont notamment liés à deux activités de la direction régionale Bretagne : le suivi des nappes d'eaux souterraines et le développement d'un outil au service de la valorisation des connaissances hydrogéologiques en Bretagne. Bruno et Flora, respectivement médiateur 2 et médiatrice 3 dans notre étude, sont ingénieurs hydrogéologues au BRGM.

- **L'OSUR**

L'OSUR est l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, administrativement, une école interne de l'Université Rennes 1. Cette composante « Science de la Terre et de l'Environnement » a une fonction de recherche, d'observation et aussi d'enseignement[65]. L'OSUR a pris la suite d'une structure qui était une structure plutôt d'animation de la

64 Le BRGM en Bretagne : http://www.brgm.fr/regions/reseau-regional/bretagne
65 En tant qu'unité de formation et de recherche (UFR) dérogatoire

recherche, le CAREN, Centre Armoricain de Recherche sur l'ENvironnement. Le chargé de communication (Alain-Hervé) accepte de nous ouvrir ses portes pour notre étude (annexe 22). Il nous présente ses missions, développer l'attractivité et la visibilité de l'observatoire, et assurer la valorisation de ses activités vers des publics multiples. Dans le cadre qui nous intéresse ici, il nous confie : « depuis fort longtemps on s'est beaucoup investi en termes de médiation, au sens large, culture scientifique, avec des collaborations régulières avec l'Espace des sciences (EDS), mais aussi le Rectorat » (Chargé de communication, entretien préalable, annexe 22, tdp. 1). L'OSUR propose tous les ans au village des sciences, plusieurs stands coordonnés par le chargé de communication. Parmi les laboratoires que l'OSUR regroupe, Géosciences est celui dont dépend Virginie, la médiatrice 1 citée dans notre étude.

7.1.1.2 Les médiateurs sont des ingénieurs de recherche

Nous présentons les trois hydrogéologues dans leur activité quotidienne.

A. Virginie date l'eau

Virginie fait son doctorat, en sciences de la Terre, dans l'université et le laboratoire où elle travaille aujourd'hui. Sa thèse concerne l'âge des eaux souterraines en Bretagne[66]. Elle crée une entreprise, un laboratoire privé. Elle propose aux collectivités locales son expertise pour préciser l'origine d'une pollution, prévoir l'impact d'un changement d'occupation des sols sur un bassin versant ou connaître le temps de reconstitution d'une nappe d'eau souterraine. Pour cette activité, elle a dû adapter son discours et ses centres d'intérêt : « J'ai eu du coaching personnalisé pour sortir du jargon scientifique (parce que je sortais de thèse) et parler, non plus en termes de méthodes, mais en termes de bénéfice client » (entretien rétrospectif, Virginie). Elle s'intéresse à la didactisation des savoirs, pour des personnes d'une communauté autre que la sphère des connaisseurs en hydrogéologie.

Virginie travaille aujourd'hui dans un laboratoire spécialisé en géologie, géophysique et géochimie, Géosciences Rennes[67] (UMR Géosciences CNRS / Université de Rennes 1 OSUR). Ingénieure de recherche hydrogéologue, elle fait partie de l'équipe des hydrogéologues, et de la sous-équipe « datation des eaux ». Nous développons ci-dessous ses

66 *Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes,* (Ayraud, 2005)

67 Site de Géosciences Rennes : https://geosciences.univ-rennes1.fr/

activités principales dans le laboratoire : de l'enseignement, peu de recherche fondamentale, mais de la recherche appliquée, et de la valorisation et communication.

Elle donne des cours à l'université. Elle considère cette activité comme sa première action de communication. Sa pratique professionnelle passée dans le privé lui confère des connaissances qu'elle met au service de la formation. Elle assure les cours relatifs aux projets professionnels des étudiants, des aspects techniques aux réglementations sur l'eau.

Elle est engagée dans les recherches menées par son équipe sur la datation de l'eau. Elle participe à l'amélioration du système actuellement utilisé. Elle analyse de l'eau issue de forages locaux, mais aussi d'autres régions et d'autres pays. En effet, son collègue Thierry (ingénieur de recherche) a monté des machines, équipées d'un système[68] que le laboratoire est le seul à maîtriser en France.

- Le système d'analyse repose sur la propriété de solvant de l'eau : des gaz peuvent s'y dissoudre. Lors de son cycle naturel, tant qu'elle est à l'air libre et jusqu'à son infiltration dans le sol, l'eau emmagasine les gaz contenus dans l'atmosphère. Ces gaz dissous, plus ou moins concentrés dans l'eau, forment l'empreinte de l'année à laquelle les eaux se sont infiltrées. Les hydrogéologues parlent de « signature ». En effet, parmi les gaz contenus dans l'atmosphère, des mesures sur les quantités de gaz (destructeurs de la couche d'ozone, et à effet de serre[69]) sont réalisés depuis les années soixante, et l'évolution de leur concentration est connue.
- Le système particulier d'analyse de l'eau, utilisé dans ce laboratoire, consiste à détecter la trace de ces gaz dissous, et à mesurer leur quantité dans l'échantillon à analyser. Les valeurs obtenues sont comparées aux données connues, inscrites sur un abaque utilisé par les scientifiques.
- La page intégrée dans l'annexe 21 propose une explication de la datation des eaux, didactisée par Virginie et son chef d'équipe, pour des non-connaisseurs. Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet d'étude et de communication sur l'eau de Plancoët. Cette eau est mise en bouteilles et consommée. Elle est peu chargée en nitrates, ce qui peut paraître surprenant, *« compte-tenu de la proximité d'une agriculture qui avait mauvaise presse en Bretagne pour cause de teneurs élevées en nitrates et pesticides*

68 Le système *purg & trap* (purge et piégeage) a été inventé aux États-Unis en 1992. L'équipe de Rennes l'a fait évoluer pour obtenir un nombre de données supérieur.

69 Ceux qui sont des marqueurs détectables par les scientifiques du laboratoire, sont les CFC et les SF6 (voir l'illustration de l'annexe 21.

dans les rivières. » (Devogel & Lechapt, 2015).

Virginie et son collègue analysent et interprètent[70] les résultats, pour définir depuis combien de temps l'eau transite dans le milieu souterrain d'où elle a été pompée. Ils réalisent quelquefois eux-mêmes le prélèvement des échantillons sur le terrain.

Une part importante de l'activité de Virginie concerne la valorisation de la datation des eaux. Elle est au centre d'actions de communication : la rédaction de plaquettes, la participation à des salons, la rédaction d'articles pour des revues non scientifiques.

Elle anime une structure, la plateforme « CONDATE Eau[71] » qui permet de faire des prestations de service pour des collectivités et des entreprises. « On a une entité comptable, au niveau de l'OSUR, mais c'est l'équipe datation des eaux. Cette plateforme a été créée au moment de l'autonomie des universités, quand on a appris qu'on avait moins de budget » (entretien rétrospectif, Virginie). L'équipe voit alors l'opportunité de transformer une partie de son activité pour créer une source de financement annexe, tout en répondant à des besoins : « on a là, pour moi, un outil de mission publique. Parce que aider les collectivités à gérer leur ressource en eau, c'est super important. De savoir s'ils ont besoin de mettre en place une usine de dénitratation à 15 millions d'euros, alors, qu'en fait, dans 2 ans ça va s'améliorer, moi je trouve ça super important » (ibid.). L'entrée d'argent permet de renouveler les machines ou de payer des stagiaires.

Virginie a une mission de valorisation et de communication en hydrogéologie au sein de son laboratoire et de l'OSUR. Elle est, entre autres, connaisseur des problématiques du transport des polluants dans l'eau.

B. Bruno et Flora mesurent la profondeur des eaux souterraines

Bruno et Flora sont diplômés de l'École Nationale Supérieure de Géologie. Ils sont hydrogéologues, ingénieurs au BRGM. Bruno est chargé du suivi de la profondeur des eaux souterraines en Bretagne.

Le BRGM a une mission de communication auprès du « grand public », il administre et héberge un site internet, le SIGES (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines), que Bruno et Flora alimentent, en partenariat avec l'Agence de l'eau Loire-

70 De fréquentes anomalies requièrent des interprétations qui relèvent de la pratique de techniques et de savoirs plus vastes que ceux que nous avons décrits.

71 « CONDATE Eau » est une plateforme hébergée par l'OSUR : https://osur.univ-rennes1.fr/page.php ? 96

Bretagne et la Région Bretagne. La plateforme[72] bretonne rassemble les articles sur les eaux souterraines de la région. Elle propose une navigation par public ciblé : « Grand public », « Scolaire » et « Expert ».

Une particularité du métier de Flora et Bruno, comme de tous les hydrogéologues, est qu'ils ne voient pas directement l'objet sur lequel ils travaillent. Au début des années 2000, Bruno est chargé de la réalisation du projet de Système d'information pour la localisation et l'utilisation des ressources en eau souterraine (Silures). Il explique alors que ce programme est d'abord *« un travail de synthèse qui vise à modéliser le fonctionnement des aquifères bretons afin de choisir des zones productives en eau de bonne qualité, et de définir les ressources à protéger »* *(Martin, 2001).* Leur travail comporte une dimension de modélisation importante.

Pour explorer le sous-sol et mesurer la profondeur de l'eau et ses variations, Flora et Bruno gèrent les données des 52 forages (piézomètres[73]) bretons. Dans chaque piézomètre, un appareillage automatique mesure en continu la profondeur de l'eau souterraine. Ces mesures sont ensuite interrogées par un réseau de téléphone, et rapatriées dans leur bureau, à Rennes. Les données sont ensuite mises à disposition du public sur le portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES).

Illustration 80: Piézomètre (extrait du site du SIDES)

Il leur arrive aussi d'aller sur le terrain pour contrôler la qualité de la réalisation des forages. « On peut aussi mettre des appareils dedans. On peut mettre des caméras vidéos pour savoir ce qui se passe sous nos pieds. Et tous ces éléments nous permettent d'améliorer notre connaissance du sous-sol. » (Bruno, interview Studio village, annexe 24, tdp. 11) Des mesures ponctuelles de la profondeur de la surface de la nappe peuvent être réalisées manuellement (Illustration 80, p. 168). *« Une sonde est accrochée à un ruban métré, que l'on descend dans l'ouvrage. Lorsque la sonde atteint l'eau, un contact électrique se fait déclenchant une sonnerie et/ou un voyant lumineux. La lecture du ruban renseigne sur la profondeur de la nappe »* (BRGM, s. d.).

72 Site du SIGES : http://sigesbre.brgm.fr/

73 Un piézomètre désigne *« tout forage destiné à effectuer des mesures et des prélèvements sur une nappe, à l'exclusion de toute activité d'exploitation »* (BRGM, 1994, p. 2)

Dans leur bureau, Flora et Bruno sont amenés à rencontrer ou avoir au téléphone, des usagers. Ils sont de moins en moins nombreux depuis que le site du SIGES existe. La plateforme contient des données qui sont consultées, sur les prélèvements d'eau par exemple. Les hydrogéologues enrichissent « l'espace cartographique parce que ça intéresse beaucoup les gens : y-a des articles à lire, mais ils veulent aussi visualiser sur leur territoire les différentes données » (Flora, entretien rétrospectif).

7.1.2 Les classes en visite sur le stand

Les quatre groupes inscrits sur le stand le vendredi matin appartiennent à deux classes de CE1. Nous n'avons pas rencontré la PE de la première classe avant l'événement. L'entretien préalable mené avec Brigitte, la PE de la seconde classe (groupes 3 et 4), révèle sa stratégie au moment de l'inscription. Le choix de ce stand est lié à un thème présent dans la programmation de la classe, plus tard dans l'année. La thématique de l'eau est abordée de différentes façons dans les programmes officiels du cycle 2 : le respect de l'environnement et les changements d'états de la matière. La classe doit faire une classe de mer au printemps, et visiter une ferme.

Ce que Brigitte vise pour ses élèves, c'est qu'ils voient autre chose que ce qu'ils font habituellement en classe, tout en restant dans le programme scolaire : pour le cycle 2, la découverte du monde de la matière, la relation avec le vivant, où trouve-t-on de l'eau et les états de l'eau. Dans le résumé du stand, les mots clés qu'elle a repérés sont le cycle de l'eau et la pollution. Cette visite est une ouverture sur l'extérieur.

Elle attend, pour elle-même, d'avoir un apport technique qui vient d'une personne qualifiée. Elle espère y trouver de nouvelles idées pour exploiter ce thème en classe.

Nous ne rencontrons pas les PE après la visite du stand. En effet, elles estiment que l'exploitation qu'elles font de la sortie au village des sciences n'a pas d'intérêt pour notre travail.

7.2 La participation au village des sciences, une action préparée par le collectif

Dans cette section, nous développons quelques étapes du travail préparatoire des institutions et des ingénieurs qui prennent en charge la médiation. L'annonce du stand est faite environ six

mois avant l'événement (7.2.1, p. 170) ; le stand fait l'objet d'une vidéo de promotion du village des sciences dans le mois qui précède (7.2.2, p. 171) ; le collectif des scientifiques du stand se réunit pour la préparation de l'atelier (7.2.3, p. 174). Nous finissons par une analyse de la préparation (7.2.4 , p. 188).

7.2.1 L'annonce du stand

Le chargé de communication de l'OSUR et le directeur du BRGM participent à la réunion de préparation du VDS. Ils rédigent la description du stand dans le programme en ligne. Nous en précisons le calendrier général dans la section 1.3 (p. 19), et le rétroplanning de l'Espace des sciences (pour l'organisation du Festival des sciences) est en annexe 4.

Illustration 81: Présentation du stand, extrait du programme général du village des sciences 2013

Le programme du stand met l'accent sur l'origine souterraine de l'eau du robinet et sur sa vulnérabilité. Le dispositif est la découverte de ce que sont les eaux souterraines, à l'aide de maquettes. Les éléments de savoirs scientifiques annoncés concernent la circulation de l'eau dans le sous-sol, sa place dans le cycle naturel de l'eau, ainsi que le lien avec des pollutions générées par l'homme. L'annonce interpelle le public à propos de l'eau potable en Bretagne. Le débat peut s'ouvrir autour d'une question socialement vive (Simonneaux, 2010) dans cette région : la pollution des eaux souterraines, entre les savoirs scientifiques et les conséquences sociales.

7.2.2 Une maquette du stand dévoilée en vidéo

L'Espace des sciences fait produire une capsule vidéo de 3 minutes (Espace des sciences, 2013c) sur une des maquettes du stand, une coupe de terrain. Virginie y présente la circulation des eaux souterraines dans un sous-sol formé de roches poreuses.

La maquette modélise plusieurs systèmes, dont la circulation de l'eau dans les milieux souterrains et les relations entre la nappe libre et la rivière. Elle montre l'influence des activités humaines (pompage et pollution) sur ces systèmes. L'hydrogéologue met en relation les manipulations qu'elle réalise sur la maquette avec son métier.

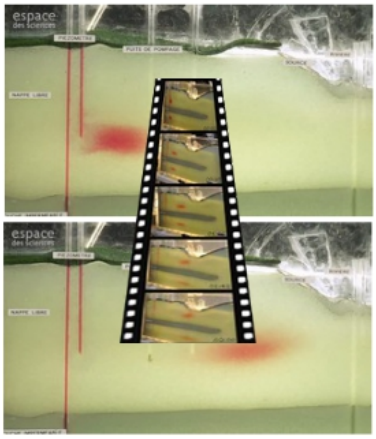
Nous proposons à notre lecteur de visualiser cette courte capsule vidéo[74] qui permet d'identifier rapidement l'objet de notre étude, sans entrer dans les détails.

Nous analysons brièvement quelques aspects de ce système sémiotique :

- L'hydrogéologue s'adresse à un destinataire supposé, hors-champ. Le lecteur de la vidéo n'interagit pas avec Virginie. La situation filmée n'est pas une transaction didactique.
- L'action de l'hydrogéologue est cependant didactique : elle explique quelque chose à un lecteur fictif, supposé non-connaisseur de la circulation des eaux souterraines dans un milieu poreux (le transcript de la vidéo se trouve en annexe 23 et dans le synopsis des plans de la vidéo, en annexe 9). Elle met en relation un système sémiotique (la maquette) à visée didactique, avec un discours adapté à ce non-connaisseur. L'action didactique de l'hydrogéologue est encapsulée dans un montage vidéo, lui-même didactisé : le temps du montage n'est pas celui du tournage.
- La durée des capsules est la même pour toutes les vidéos de la série *Les expériences des scientifiques*. La durée de trois minutes est contrainte par le cahier des charges. Il s'agit d'un *temps institutionnel.* Dans la situation filmée, Virginie met en évidence la circulation de l'eau dans la maquette, en la colorant et en constatant son déplacement. Or, le phénomène a une durée qui dépasse la durée observée sur la vidéo. Deux solutions techniques sont utilisées au montage avec des effets différents.

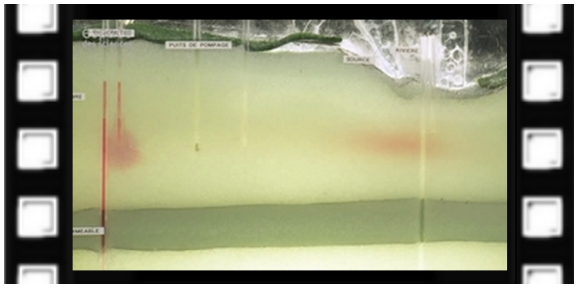
74 La courte capsule vidéo produite par Les Films de L'autre Côté peut aider notre lecteur à identifier rapidement l'objet de notre étude : https://www.youtube.com/watch ?v=UmsudGz1UKw&feature=youtube_gdata_player

- Dans le plan 14 (voir le tableau synoptique des plans en annexe 9), les images de la scène sont accélérées (Photogramme 29, p. 172) : le colorant se déplace dans le film, plus vite qu'en réalité. La piste son, en revanche, est coupée et dure le temps du plan accéléré (annexe 8).



Photogramme 29: Accélération des images entre le début et la fin du plan 14

- Entre le plan 20 et le plan 21, un fondu de une seconde fait le raccord dans la scène qui a été coupée : la tache de colorant semble sauter d'un point à un autre, après avoir coexisté dans deux endroits à la fois (Photogramme 30, p. 172).



Photogramme 30: Fondu de deux images (raccord des plans 20 et 21)

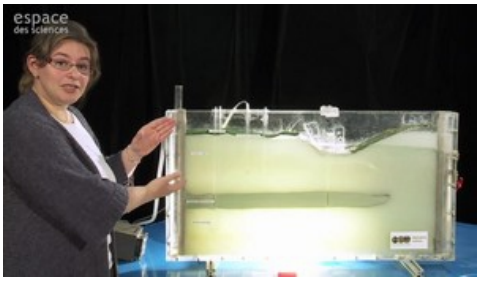
- En temps réel, le mouvement est presque imperceptible lors d'une courte observation. En revanche, sur la vidéo, les phénomènes (la circulation de l'eau, et sa trajectoire) sont très nets, immédiatement perceptibles. Cependant, le film ne respecte pas *le temps de l'expérience.* Alors que le phénomène réel est perçu dans l'attente, il enseigne le temps nécessaire au déplacement. En revanche, la durée artificiellement réduite de la vidéo pointe un changement de lieu, mais la notion de temps semble effacée.

- Les éléments de savoir que Virginie met dans le milieu en trois minutes sont structurés et ponctués en moments clés qui permettent la constitution d'un contrat (à court terme), sur lequel elle s'appuie au fil de son discours. Ces éléments de savoirs sont explicites et multicodés par la locutrice avec son discours combiné à la ressource, ainsi qu'avec la présence de nombreux déictiques verbaux et non verbaux.
- Les éléments de savoir sont renforcés au montage, avec le jeu des divers plans.

- les *plans rapprochés* sont utilisés pour des éléments de savoirs généraux. Le regard ne porte que sur le buste de la locutrice (Photogramme 31, p. 173). L'environnement visible est restreint à un détail de la maquette qui sert d'accroche pour le plan suivant, un plan américain ;

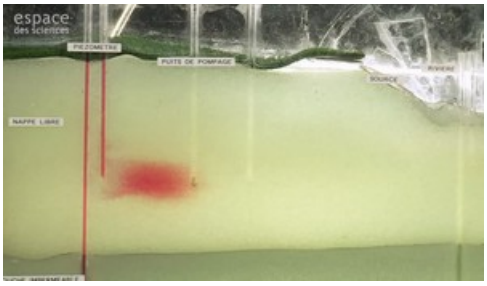
Photogramme 31: Plan rapproché, centré sur la locutrice (plan 2)

- les *plans américains* cadrent la gestuelle des bras de l'hydrogéologue, en relation avec la maquette (Photogramme 32, p. 173) ;
- de nombreux *inserts* cadrent les détails de la maquette (Photogramme 33, p. 173) ;

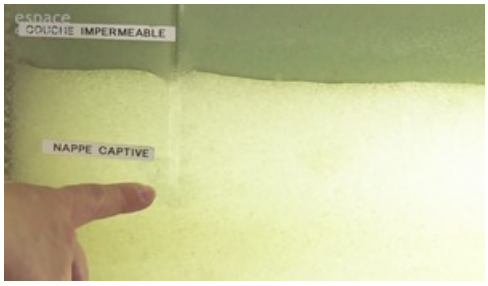


Photogramme 32: plan américain (plan 3)

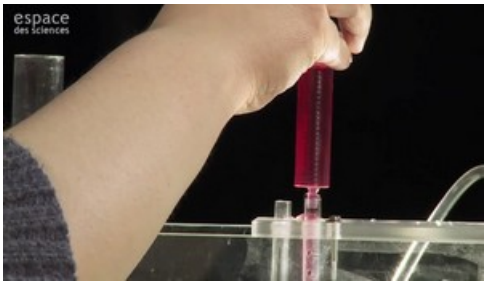
- les *gros plans* zooment sur les mains de l'hydrogéologue et sur ce qu'elles font. La plupart des gestes sont déictiques (Photogramme 34, p. 173). Les inserts y sont majeurs. D'autres, comme dans le plan 9, montrent une manipulation de l'hydrogéologue sur le milieu (Photogramme 35, p.173). L'insert de la maquette y est mineur.



Photogramme 33: Insert sur la tache de colorant (plan 14)



Photogramme 34: Geste déictique sur un insert (plan 6)



Photogramme 35: Gros plan sur les mains qui modifient le milieu (plan 9)

Les éléments de savoir s'accumulent rapidement, trop nombreux pour être assimilés par tous, dans le temps de la vidéo. Le *temps didactique* n'est pas le *temps institutionnel*. La vidéo est conçue pour être vue, et revue, voire segmentée, et orchestrée avec d'autres ressources, avec d'autres objets de savoir, avec d'autres moments clés.

7.2.3 Préparation du collectif à l'utilisation des maquettes

Le stand est préparé par un collectif de chercheurs, connaisseurs en hydrogéologie, mais avec des pratiques différentes : le chargé de communication, les ingénieurs de recherche, un docteur invité et des doctorants en hydrogéologie. Ils se rassemblent, quelques jours avant l'événement, autour des maquettes déjà identifiées comme le cœur du projet de stand. Elles correspondent à un *style de pensée*[75] commun.

Dans un premier temps, nous décrivons les deux maquettes, ressources centrales. Puis, nous regardons comment ces ressources sont utilisées dans la rencontre assimilée à une situation de formation. Nous observons ensuite l'émergence de nouveaux éléments de savoir. Enfin, nous faisons une analyse didactique de cette situation de préparation du stand (annexe 25).

7.2.3.1 Des maquettes issues du laboratoire de recherche

Les *« maquettes d'aquifères »* sont annoncées dans le programme (Illustration 81, p. 170). Ces maquettes modélisent des savoirs partagés dans la communauté des hydrogéologues. De leur point de vue, la compréhension de la circulation de l'eau souterraine (en milieu poreux ou fracturé), et certaines de ses propriétés, sont incontournables pour comprendre les enjeux de préservation des ressources en eau potable.

La maquette 1 : la coupe d'un aquifère en milieu poreux

La première maquette qui représente la coupe d'un aquifère en milieu poreux (Illustration 82, p. 175) est celle utilisée par Virginie dans la capsule vidéo (7.2.2 , p. 171). Elle permet de modéliser la circulation des eaux souterraines dans un tel milieu.

L'idée de construction de cette maquette a dix ans environ. « C'était un moment où ils se posaient la question, dans l'équipe hydrogéologie : comment intervenir dans la Fête de la science ? comment montrer comment ça marche ? » (Virginie, entretien rétrospectif, « première maquette »). Cette dernière question tente de trouver un moyen pour apporter des éléments de savoirs en réaction à des conceptions[76] erronées sur les milieux souterrains. Les hydrogéologues les rencontrent régulièrement chez les jeunes élèves, mais aussi chez un public adulte. « *Les nappes d'eau*

75 *« Le style de pensée est caractérisé par les points communs des problèmes qui intéressent un collectif de pensée, par le jugement que ce dernier considère comme allant de soi »* (Fleck, 1935, p. 173).

76 Nous convenons avec Tiberghien et Vince qu'une *conception « est un ensemble de connaissances ou de procédures hypothétiques que le chercheur attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données. Cet ensemble de connaissances ou procédures hypothétiques doit aussi être trouvé chez plusieurs élèves pour constituer une conception. »* (2005, p. 1)

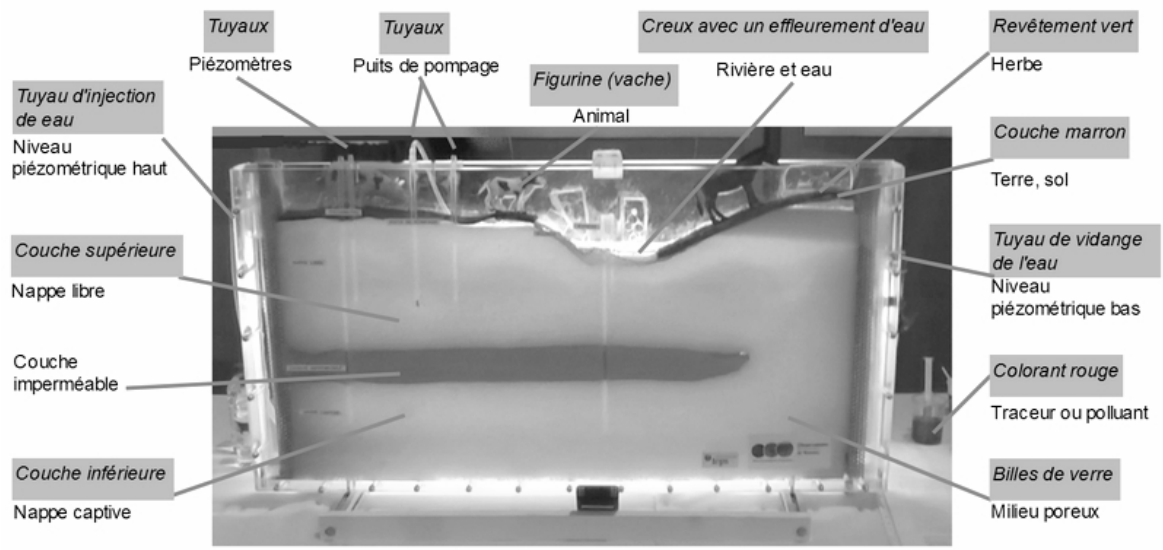


Illustration 82: Maquette 1 légendée (italiques sur fond gris), avec l'équivalent sur le terrain

souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains ; il s'agit d'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées. » (BRGM, s. d.-b) La conception de la nappe d'eau souterraine comme un cours d'eau est un obstacle épistémologique à la compréhension du cycle de l'eau, au rôle du sous-sol pour la qualité de l'eau, et à la prévention de la pollution. *« Ce qui nous trompe, c'est que le même mot à la fois désigne et explique. La désignation est la même ; l'explication est différente »* (G. Bachelard, 1938, p. 20).

- Dans un milieu poreux, l'eau circule dans les pores de la roche, ou entre les grains. Dans la maquette 1, le milieu représenté par des billes est poreux ;
- Dans un milieu fissuré, l'eau circule dans les fissures. Dans la maquette 2 (décrite ci-dessous), le milieu présente des fissures ;
- Dans un milieu karstique, l'eau circule dans des cavités (grottes, rivières souterraines). Cette conception d'un milieu creux, où l'eau souterraine circule, est la plus fréquente chez les non-connaisseurs. Or, c'est le cas le moins fréquent en France.

En quête d'un moyen pour `«montrer comment ça marche»`, le but des membres du labo est de proposer un système sémiotique, une interprétation systémique, de la circulation des eaux souterraines.

Un chercheur du labo et un ingénieur d'étude découvrent une maquette intéressante sur un catalogue américain de matériel didactique spécialisé. Cependant, elle est faite avec des couches de sable, et l'observation des colorants ne leur parait pas aisée. Ils gardent donc l'idée

de la coupe d'un aquifère en milieu poreux, mais construisent une maquette avec les matériaux utilisés alors dans le labo : des billes de verre.

La maquette 2 : la coupe d'un aquifère de socle

La seconde maquette (annexe 33) représente la coupe d'un aquifère de socle (M2), un milieu fracturé (Illustration 83, p. 176). Cette maquette permet de montrer comment l'eau s'infiltre dans le socle granitique breton. En réaction à la maquette 1, le but des doctorants qui la conçoivent, est de montrer ce qu'il se passe en Bretagne, dans le granite. « La deuxième a été faite par des doctorants dans le cadre d'un projet avec le CIES[77]. Il fallait faire des projets de vulgarisation » (Virginie, entretien rétrospectif, annexe 33, « deuxième maquette »). L'utilisation de M2 n'est pas décrite dans notre étude.

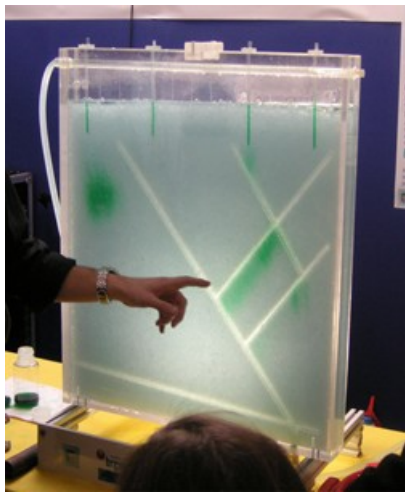


Illustration 83: Maquette 2, coupe d'un milieu fracturé

Respectivement en 2003 et 2008, ces maquettes sont construites pour le « grand public ». Cependant, les matériaux et les techniques de constructions sont issus des pratiques du laboratoire d'hydrogéologie. Un cadre en aluminium avec des parois de plexiglas renferme des billes de verre. Au début des années 2000, cette technique permet des observations et des mesures pour la recherche.

Les coupes d'aquifères représentent ce que les hydrogéologues, eux-mêmes, ne peuvent pas voir. Ils extraient leurs données de signes extérieurs : ils observent le niveau des rivières, ils regardent dans les puits et les forages agricoles.

B : Ces ouvrages souterrains sont des indices pour nous, pour savoir comment la circulation de l'eau souterraine se fait dans le sous-sol. Si elle est rapide ou lente, et suivant le type de roches, si la roche est capable de contenir de l'eau et de former ce qu'on appelle une nappe phréatique(Bruno, interview au Studio Village, annexe 24, tdp. 9).

Le cœur du métier des hydrogéologues est d'étudier quelque chose qu'ils ne voient pas. Par nécessité, ils créent des représentations de cet invisible à partir de traces naturelles et artificielles : des affleurements[78] de roche dans des carrières, des prélèvements issus de

77 Les Centres d'Initiation à l'Enseignement Supérieur (CIES) offraient aux étudiants doctorants une initiation au métier d'enseignant chercheur sur trois ans (pratique pédagogique et stages de formation en parallèle à leurs travaux de recherche).

78 Un *affleurement* est la partie d'une couche géologique visible en surface.

forages et l'étude de *carottes*[79], mais aussi le suivi d'éléments introduits à dessein dans le milieu : des traceurs. L'eau est marquée pour suivre et étudier son déplacement.

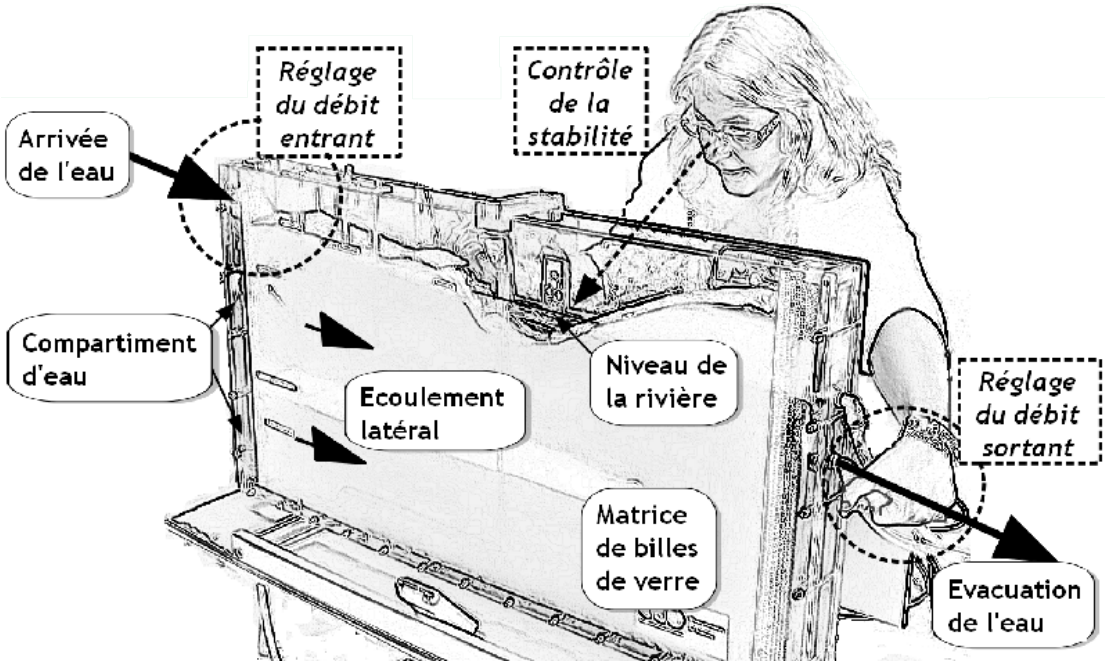
7.2.3.2 Une situation de formation : Virginie forme ses pairs

Les maquettes sont des objets techniques. Elles nécessitent une description de leur mise en route, dans un premier temps. Ces objets sont construits pour un usage didactique. Cet usage en relation avec les savoirs visés est décrit dans un second temps. Nous effectuons enfin une analyse épistémologique du rôle de la maquette.

A. Mise en eau et réglages

Tous les acteurs du collectif n'ont pas la même connaissance de ces maquettes. Ils ne les ont pas tous pratiquées. Le chargé de communication et Virginie sont présents au moment de la création de la maquette M1, il y a dix ans, et de la maquette M2, il y a cinq ans. Ils ont déjà eu l'occasion de s'en servir dans de nombreuses occasions. Bruno a déjà manipulé M1 dans le cadre d'une présentation au « grand public ». Flora, le docteur invité (Joe) et les doctorants découvrent les deux maquettes, lors de cette préparation.

Les maquettes sont des productions de leur institution, aussi Alain-Hervé et Virginie les présentent-ils au groupe. La priorité est que tous les médiateurs sachent les faire fonctionner.



Photogramme 36: Mise en eau de la maquette et stabilisation de la rivière, contrôles et réglages

79 Une *carotte* est un échantillon du sous-sol prélevé sans en détruire la structure

Le cadre de chacune d'elles est relié à un système de pompage qui alimente la maquette en eau, et à un système d'évacuation de l'eau. Des réglages et des contrôles sont nécessaires pour « mettre en eau »[80] les maquettes, et obtenir une rivière stable (Photogramme 36, p. 177).

L'eau entre d'un côté et sort de l'autre côté de la maquette. Cela crée un écoulement latéral, dans la matrice de billes de verre, analogue à la circulation de l'eau souterraine. Celle-ci n'est pas visible dans la matrice, d'où l'utilisation de colorants, analogues des traceurs sur le terrain.

B. De la maquette aux savoirs visés

Dès les premiers instants de la rencontre, Virginie indique que la maquette permet de communiquer sur le métier d'hydrogéologue : « ça permet vraiment d'illustrer ce qu'on fait tous les jours et de montrer le milieu souterrain avec les puits et comment on l'étudie » (Virginie, préparation du stand, « illustrer »).

Des tubes modélisent des piézomètres (Illustration 84, p. 178) qui descendent à deux profondeurs, dans deux nappes séparées par une couche imperméable. Ils permettent à Med1 d'injecter, au moyen d'une seringue, du colorant alimentaire qui modélise un traceur.

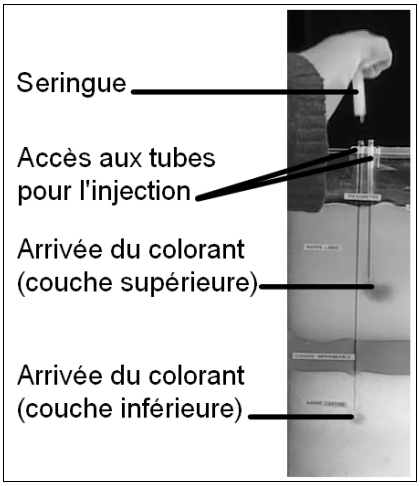


Illustration 84: Injection de colorant par les piézomètres

Le geste de la médiatrice qui injecte du colorant, par le tube, dans la matrice de billes de verre de la maquette, est l'analogue du geste de l'hydrogéologue qui injecte un traceur, par le piézomètre dans le sous-sol poreux sur le terrain.

A l'issue du tube (*tc* 00 :00, Photogramme 37, p. 179), le colorant se diffuse légèrement entre les billes, puis il est transporté par l'eau qui circule. Au moment de ce tournage, le déplacement entre l'issue des tubes et la rivière dure plus de deux minutes. Il n'est pas perceptible à un instant t. Le déplacement du traceur met en évidence le déplacement de l'eau dans la maquette, comme dans la réalité.

Rappelons que la capsule vidéo de promotion du village des sciences dure trois minutes. Les deux déplacements du colorant subissent, au montage, des effets (accélération, et coupure suivie d'un fondu des images) pour adapter ce temps de l'expérience au temps institutionnel

80 Expression employée pour désigner l'action de remplir le cadre pour immerger la matrice de billes et obtenir la rivière.

de la production audio-visuelle (7.2.2 , p. 171).

Pour Virginie, ce temps doit être mis à profit pour instituer avec le public :

- Les eaux souterraines circulent entre les grains des roches. Elles sont contenues dans des nappes qui ne sont ni des rivières, ni des poches.

Le temps de la migration du colorant dans la matrice est le *temps* nécessaire de *l'expérience*, en situation d'utilisation de la maquette en direct.

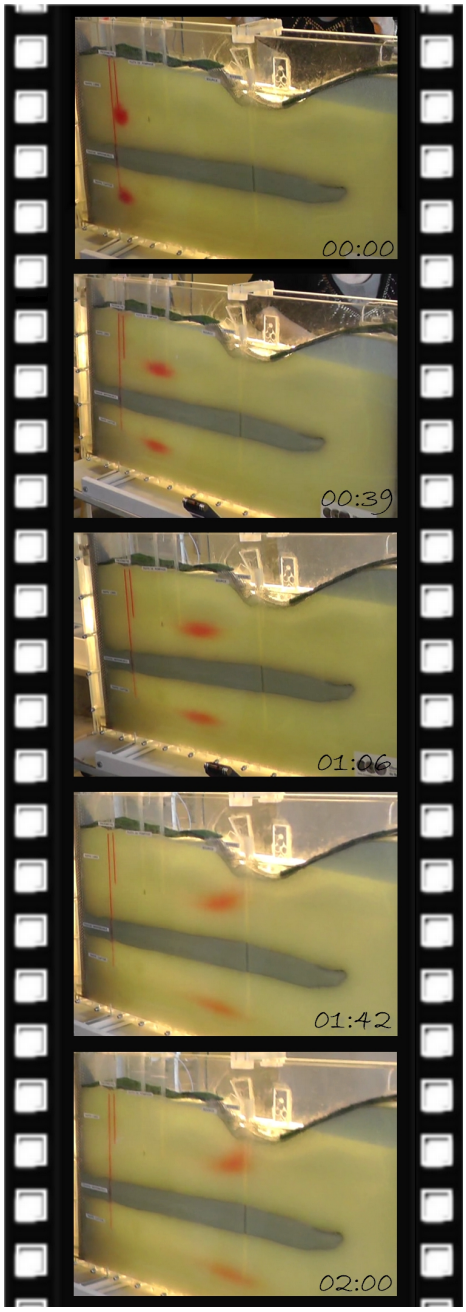
Nous observons, sur ce point, différentes propositions d'utilisation de la même ressource. Ici, *le temps l'expérience* avec la maquette est présenté comme un temps à transformer en *temps didactique*. Les propositions de Virginie et d'Alain-Hervé se juxtaposent, pendant la préparation du stand, et ouvrent des possibilités d'actions différentes :

V : alors là il faut causer pendant ce temps-là\ sur le fait que ça circule/ que l'eau c'est pas des rivières/

A-H : y-a des posters derrière (ibid., « pompage truqué »)

Virginie et le chargé de communication témoignent de schèmes d'utilisation du temps[81] différents. Virginie met ce temps à profit pour faire observer le déplacement de l'eau et l'instituer, Alain-Hervé pour faire prendre connaissance des posters. Le temps d'attente est exploité par Virginie pour expliciter des éléments du milieu matérialisé par la maquette. Alain-Hervé propose d'ajouter, dans le milieu, des éléments de savoir matérialisés sur de nouvelles ressources, les posters.

Au bout d'une minute de déplacement (*tc 01 :06*), Joe, un docteur en hydrogéologie, fait une proposition : installer une petite pompe (cachée) pour dévier discrètement le traceur vers le lit de la rivière (Photogramme 38, p. 180). En effet, dans la nature, l'eau



Photogramme 37: Déplacement du traceur (préparation de l'atelier)

81 Le temps didactique offert par le temps de l'expérience.

de la nappe remonte vers la rivière et l'alimente. Virginie lui demande de patienter. Dans la minute qui suit, Joe et ses collègues observent effectivement la déviation naturelle du traceur vers le lit de la rivière *(tc 00 :42 et 02 :00)*. Ils peuvent conclure :

- La nappe souterraine supérieure (la nappe dite *libre*) alimente la rivière.
- L'eau de la nappe inférieure (dite *captive*) poursuit son chemin vers la mer ou une autre rivière.

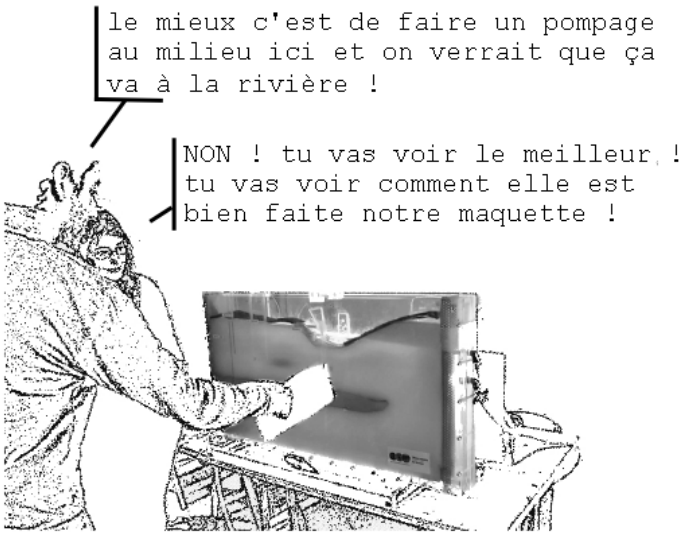
Bruno revient sur l'aspect technique de la maquette.

B : et donc techniquement\ c'est pas ça qui bloque/ ((Bruno montre le tube au niveau du lit de la rivière))

V : ah non non non/ techniquement c'est parce que tu as un TROU\ c'est la topographie\ c'est la rupture de topographie\ le changement de gradient\

B : c'est pas biaisé alors/

V : ah non c'est pas biaisé (ibid., « pompage truqué »)



Photogramme 38: Proposition de trucage rejetée

La maquette comporte d'autres tubes qui descendent dans la matrice et qui représentent des puits. Au moyen d'un tuyau, Virginie connecte une pompe au tube qui descend dans la nappe libre. Au bout de quelques secondes de pompage, l'eau de la rivière descend et disparaît.

- Des pompages excessifs provoquent l'assèchement des rivières.
- Quand une rivière est à sec, l'eau de la nappe libre ne remonte pas.

Quand la pompe est en route, on peut montrer autre chose. Virginie injecte de nouveau du colorant dans les nappes. Le colorant représente une pollution, cette fois. A l'endroit du pompage, la progression du colorant est stoppée. Il est aspiré par la pompe ; il colore le tube et le tuyau.

- « Des polluants peuvent être transportés par les eaux souterraines. »
- « Les puits de pompage peuvent permettre d'endiguer la progression de pollutions. »

V : voilà les infos prioritaires que j'ai envie que, quand les gens partent du stand, ils aient retenu. Et après, y-a ce que vous, vous avez envie que les gens aient envie de retenir. C'est-à-dire qu'on a TOUS nos sensibilités différentes. On a TOUS, notre message qu'on a envie

de passer

CC : y-a aussi le temps de résidence de l'eau, et les nitrates, qui reviennent régulièrement

V : donc après, moi, je vais pas vous filer le discours tout fait, vous faites passer les infos que vous avez envie, en fonction de la maquette. (préparation du stand, « informations prioritaires »)

Effectivement, des échanges suivent la remarque de Virginie. Les exemples évoqués alors amorcent, sans les développer, de nombreuses problématiques associées.

Les posters affichés en arrière-plan dans le stand donnent des pistes potentielles aux médiateurs, en fonction des centres d'intérêts du public et de leurs propres connaissances.

C. Un modèle de la circulation des eaux souterraines et de leur relation avec les rivières

L'étude du déplacement de l'eau dans un milieu poreux a été conduite expérimentalement par Darcy en 1856, et contemporainement appliquée à la création des fontaines de la ville de Dijon (Darcy, 1856). Les recherches actuelles et leurs applications utilisent encore des équations dérivées de la Loi de Darcy[82]. Cependant, tous les concepts, dans leur détail, et dans leur forme symbolique, n'ont pas d'intérêt dans le contexte d'un échange avec un public non connaisseur.

Or, l'échange amorcé par Joe et poursuivi par Bruno avec Virginie est celui de connaisseurs. Les hydrogéologues abordent des éléments théoriques. Hacking fait remarquer : *« Disons qu'il y a des théories, des modèles et des phénomènes. Il serait normal de penser que les modèles sont doublement des modèles. Ils sont modèles pour les phénomènes et modèles pour la théorie »* (1989, p. 349). Nous constatons ici que le seul modèle dévoilé au public non connaisseur est le modèle pour les *phénomènes*. Selon la définition de Hacking *« les phénomènes sont réels, nous les voyons se produire »* (1989, p. 349).

Bruno conclut que le phénomène « n'est pas biaisé » dans la maquette. La révélation de Virginie l'aide à percevoir le lien entre le phénomène observé et les éléments théoriques qu'il connait et qu'il partage avec les membres de sa communauté : « c'est parce que tu as un TROU\ c'est la topographie\ c'est la rupture de topographie\ le changement de gradient\ » (ibid., « pompage truqué »). Aucune explication des concepts énoncés ici n'est nécessaire dans leur collectif. Nous observons que le collectif n'est pas dans le cadre d'une expérimentation, mais dans celui d'une expérience de vie. Fleck différencie les deux

82 L'écoulement des eaux souterraines est régi par la loi de Darcy, établie expérimentalement en 1856. Le débit Q qui s'écoule dans l'unité de temps, à travers une section totale de terrain A, est fonction de la perméabilité K et du *gradient hydraulique* (ou perte de charge) I (Q = KAI). (Blavoux & Castany, s. d.)

situations ainsi :

> *Alors que l'expérimentation peut être interprétée en termes de questions et de réponses, l'expérience doit être comprise comme un état intellectuel extrêmement complexe, reposant sur des interactions entre ceux qui connaissent, ce qui est déjà connu et ce qui est à connaître* (1935, p. 24).

La découverte est ici celle d'un *modèle*. Pour éclairer nos propos, nous poursuivons notre analyse avec les définitions de Hacking.

Hacking prend à son compte le questionnement de Kuhn sur l'articulation nécessaire de la théorie sur le monde réel : *« comment les scientifiques relient-ils des expressions symboliques à la nature ? »* (Kuhn, 1990, p. 402). Il propose alors de définir les *modèles* en fonction de la *théorie* : *« les théories sont vraies ou du moins visent à atteindre la vérité »* (Hacking, 1989, p. 349), et *« les modèles sont des intermédiaires triant quelques aspects des phénomènes réels et les reliant, en simplifiant les structures mathématiques, aux théories qui gouvernent les phénomènes »* (ibid., p. 350).

Les dimensions de la maquette, sa forme et son instrumentation (pompe au débit variable) ont été étudiées pour reproduire quelques principes théoriques de la dynamique des fluides : le *débit* de l'eau qui s'écoule, et le *gradient hydraulique* créé par l'incision dans la maquette. La maquette est construite sur des bases théoriques connues, pour créer un phénomène à observer : la déviation de l'eau souterraine vers la rivière. La maquette contient un *modèle* de l'alimentation des rivières par la nappe souterraine libre.

7.2.3.3 Où d'autres ressources didactiques s'avèrent nécessaires

Dans cette section, nous évoquons l'arrivée d'une troisième maquette. Nous notons ensuite que des pratiques locales de savoir sont abordées, et ressourcent les futurs médiateurs. Enfin, nous analysons un échange qui fait émerger la nécessité de jeux de langages avec le public.

A. Une troisième maquette « trait-d'union »

En complément du matériel du laboratoire, Virginie prévoit d'apporter la maquette (que nous nommons M3). Elle la réalise au moment où elle crée son entreprise pour pouvoir la déplacer facilement, sans eau. M3 n'est pas interactive comme M1 mais comporte d'autres analogies avec la réalité :

```
V : j'ai une petite maquette ((Illustration 85)) dans mon bureau où au lieu
      d'utiliser des billes j'ai utilisé des pierres et j'ai mis une
      résine bleue autour des pierres\ donc ça permet de passer du modèle
      des billes au modèle un peu plus réel avec des pierres\ du caillou\
```

on voit y-a un petit tracteur dessus\ c'est une maquette qui fait 1/4 de cette taille-là/ ((en montrant M1)) et qui sera là\ qui est exactement la même/ mais au lieu des billes c'est des pierres\

CC : ça a beau être analogique/ pour des enfants passer de la maquette à la réalité c'est pas forcément évident\ on a intérêt à avoir des cailloux/ des carottes\ la petite maquette pour faire le trait d'union\ (Préparation du stand, «petite maquette»)

Voir la maquette M1 comme une représentation de la réalité n'est pas considéré par Virginie et Alain-Hervé comme un processus trivial pour les enfants. Il leur parait nécessaire de les accompagner. Montrer des roches réelles et présenter une maquette (M3) avec des repères connus, comme le modèle réduit de tracteur, sont des points de vigilance annoncés. M3 est un intermédiaire, elle se rapproche du « réel », mais d'un point de vue de sa « matérialité », pas nécessairement du point de vue des causes et effets qui organisent ce réel.

Illustration 85 : Maquette 3

D'autres ressources « traits-d'union », aident à faire des relations avec le terrain réel. Les carottes de roches sont rassemblées, surtout en association avec M2, pour montrer du granite fissuré. Pour les médiateurs, les posters et un classeur de données diverses font de potentielles relations entre les problématiques d'hydrogéologie et le public.

B. Des savoirs situés dans le contexte local

Au-delà des aspects scientifiques, les hydrogéologues praticiens dans la région sont porteurs de ressources plus historiques. Ils dévoilent des aspects de la situation locale aux doctorants. Des questions sur l'origine de l'eau du robinet en Bretagne, et sur les sourciers sont abordées, suivies du signalement de drains maçonnés dans le bassin rennais.

a. L'eau du robinet en Bretagne

Virginie développe le cas particulier de la Bretagne quant à l'origine de l'eau potable. Elle sait que l'objet du stand peut amener des questions vives. La Bretagne est une exception dans l'utilisation des eaux souterraines. Elle s'appuie sur la lecture de deux cartes présentes sur un des posters : l'une est la carte des pollutions en nitrates, l'autre est la proportion d'eau souterraine dans la fourniture en eau du robinet.

Virginie : Y-a pas qu'en Bretagne qu'y-a plein de nitrate, y-en a aussi beaucoup dans le Nord. Le seul problème c'est que dans le Nord, ils vont chercher l'eau en profondeur et nous on n'y va pas. C'est pour ça que c'est plus gênant chez nous. Alors pourquoi y-a peu d'eaux souterraines en Bretagne ? Ben c'est lié au fait que dans des

massifs de socle, trouver les fractures, c'est difficile, et tant que le marteau fond-de-trou[83] n'était pas apparu, c'était difficile d'aller faire des forages profonds ! Donc voilà : c'est un truc historique, qu'on garde en Bretagne, qui fait que les eaux souterraines sont peu exploitées, et que pendant longtemps, on a cru que les roches étaient complètement imperméables. Vous avez des bouquins des années '70 qui disent « y-a pas d'eau souterraine en Bretagne » donc à Ploemeur, pour ceux qui connaissent, c'est 100 mètres cube heure.

Joe : Un million par an

Virginie : Un million par an, c'est quand même pas rien ! (Préparation du stand, « Bretagne »)

Le collectif s'accorde des ratios :

- En France, 80 % de l'eau du robinet vient du pompage de l'eau souterraine. En Bretagne, c'est 20 %, mais ça augmente.

b. Les sourciers

Parmi les thèmes récurrents relatifs à l'eau souterraine et abordés lors d'événements pour le « grand public », se trouve celui des sourciers.

Virginie : On va quand même avoir un public de bretons. Et ça, ((M2)) c'est notre milieu souterrain. Et quand nos sourciers, nos anciens, nous parlent de veines d'eau, c'est toujours pas des rivières ! C'est que souvent, c'est ces fractures qui font quelques millimètres de diamètre, quelques millimètres d'épaisseur, où l'eau circule et où se concentrent les flux (préparation du stand, « sourciers »)

Quand nous l'interrogeons sur cet aparté, Virginie nous explique que le recours aux sourciers est une pratique courante dans la région pour trouver où creuser un puits. À partir du moment où la pratique scientifique peut avoir un point d'ancrage dans la pratique sociale, elle fait le lien. Virginie ne se positionne pas par rapport à l'activité du sourcier, mais donne une traduction scientifique à la description de la circulation de l'eau. Les « veines d'eau » du sourcier sont les « fractures qui font quelques millimètres de diamètre, quelques millimètres d'épaisseur, où l'eau circule et où se concentrent les flux » des hydrogéologues.

c. Les drains maçonnés du bassin de Rennes

Il est décidé de mettre à jour le *book* constitué pour l'édition du VDS 2003. Il contient des données imprimées (photos, tableaux, graphique, schémas) qui pourraient permettre de répondre précisément à certaines questions. Les médiateurs le garderont sous la main pendant la médiation.

83 Le *marteau fond-de-trou* est un outil de foration rapide à l'air comprimé apparue au milieu des années 70

Bruno propose des photos (Photogramme 39, p. 185), pour que le public se fasse une idée de leur travail sur le terrain : un forage en cours, un piézomètre, des puits et un drain maçonné[84]. Une explication semble nécessaire pour les membres du collectif qui ne connaîtraient pas le contexte local. En effet, 30 % des eaux de Rennes arrivent par des drains maçonnés qui récupèrent les eaux souterraines, sous les champs du côté de Fougères (35).

Photogramme 39: Présentation de photos, un drain du Coglais

Bruno : oui mais finalement, ça va dans le sens du tunnel souterrain qui apporte l'eau, c'est pas forcément une bonne idée

Virginie : Ah ouais c'est pas faux ! ou alors si vous êtes avec des amateurs avertis ! (ibid, « drains »)

La photo des drains est insérée avec les autres dans le *book*.

Les savoirs scientifiques en hydrogéologie ne sont pas développés dans le collectif. Les concepts manipulés et les pratiques partagées par les hydrogéologues constituent leur *style de pensée* (Fleck, 1934). Ils sont déjà constitués en documents par les transactants. Par contre, des éléments de savoir, en lien avec le contexte social, historique et géographique, nécessitent des échanges.

C. Jeux de langages

La question du jargon est abordée en toute fin de rencontre. Bruno le repère comme un obstacle potentiel et interroge Virginie à propos des termes à employer.

B : et du point de vue de nos termes un peu techniques tu penses que ça passera avec les élèves de 7 ans ?

V : quels termes techniques ?

B : c'est des CE1 jusqu'à la 5e, c'est des gens qu'ont de 7 à 12 ans

V : ben « piézomètre » faut dire « puits »

B : je pense que certains termes, ils vont rien comprendre

V : ouais, mais tu vas le voir à la tête des gamins

F : ils vont demander je pense

B : j'suis pas sûr

V : y-a plusieurs choses. Soit tu vas le voir parce qu'ils vont commencer à

84 Le réseau des drains du Coglais est composé de 13 drains maçonnés construits en 1880. http://www.eaudubassinrennais-collectivite.fr/articles-du-site/les-drains-du-coglais.html

partir en vrille, ils vont commencer à discuter. Soit tu vas le voir à la tête de l'instit', qui va te regarder avec des yeux… et tu vas te dire : oups, là j'ai utilisé un mot qui ne faut pas.

B : ouais, mais il est pas là tout le temps aussi !

V : ouais, mais les groupes seront pas tout seuls. Y-aura quand même des intervenants avec eux : des papas ou des mamans. Tu le verras aussi à leur tête. Si eux ne comprennent pas, les gamins n'auront pas compris.

B : d'accord

AH : mais c'est vrai que « nappe libre », qu'est-ce que ça évoque « nappe », en fait ? Faut faire un effort, parce que « nappe » pour eux c'est un truc que tu mets sur une table !

V : après tu ne peux pas non plus tout simplifier ! C'est des termes aussi qu'ils peuvent apprendre. Tu peux dire « nappe de surface » au lieu de « nappe libre ».

AH : après, tu peux donner des ordres de profondeur pour qu'ils se rendent compte, une fourchette : « ben voilà, ça fait 15-20 mètres » (ibid., « jeux de langages »)

L'échange entre les quatre médiateurs révèle des propositions didactiques de natures différentes, mais qui ne s'opposent pas toujours.

Dans ce dialogue, Bruno est en attente d'évoquer, voire de trouver une position commune pour les termes à employer, et éviter, avec les élèves, le jargon des hydrogéologues. Nous pensons que Bruno propose de trouver une *paraphrase* commune.

Pour Virginie, il s'agit d'un problème à régler en situation de communication : s'adapter au transactant. Il s'agit de trouver l'*ajustement* adéquat en fonction du public (Culioli, 1973, p. 85-86). Elle donne des indices précis, des éléments de sémiose qui sont des ressources pour elle : l'agitation des élèves est un signe d'incompréhension ; leur expression faciale ou celle de leur accompagnateur aussi.

Toutefois, un *lexique spécifique* lui paraît quelquefois nécessaire. Il fait partie des éléments de savoirs à mettre en relation avec les concepts nouveaux. L'opposition entre les nappes libres et captives a du sens dans les relations entre le sous-sol et le sol. Ces relations font partie des savoirs visés dans le jeu d'apprentissage. Il ne faut donc pas les gommer. Virginie propose de traduire éventuellement « libre » par « de surface » : la relation avec le sol est en effet maintenue.

Notons la difficulté transpositive dans le langage : en faisant la substitution proposée par Virginie, l'opposition libre/captive est perdue. Lemke pense que les mots spécifiques embarquent des sens construits à l'intersection de différents contextes qui font leur richesse.

> *Every word is rich with meanings, meanings that accumulate as we encounter it in many different contexts. Every word is an intersection of many statements, many discourses*

> *that make use of it. Every word-in-context is part of some possible exchange of meaning between different members of a community »* (1998, p. 4).

Lors de l'ouverture du VDS au « grand public » (samedi), Bruno décrit et explique à un visiteur adulte : « La nappe qui est sous une couche imperméable est emprisonnée, on l'appelle nappe captive. Quand on va la chercher, elle est sous pression, c'est pour ça qu'on l'appelle captive ». Le lien de cause à effet surprend. Nous apprenons d'abord que les hydrogéologues qualifient cette nappe de « captive » parce qu'elle est « prisonnière » sous une couche imperméable. Ce premier élément de savoir, dans la description, est de l'ordre de la *périphrase,* « captif » semble plus difficile à comprendre que « prisonnier »[85]. Ensuite, nous apprenons que l'eau qui en sort est sous pression. Sur le terrain, quand ils vont la chercher, les hydrogéologues constatent d'abord que l'eau qui sort du puits est sous pression. Ils en déduisent qu'elle est prisonnière, sans autre échappatoire, dans une nappe qu'ils qualifient, en conséquence, de « captive ». L'explication est d'un second niveau de paraphrase, de l'ordre de la *paraphrase-commentaire* (Lefeuvre et al., 2016, p. 152-153).

Le « piézomètre », dans sa fonction d'accès à la nappe pour y injecter un colorant, peut être traduit par « puits ». Si on veut lui attribuer un rôle dans la *mesure,* par les hydrogéologues, de la profondeur des nappes ou de la pression de l'eau qui s'y trouve, le terme spécifique est sémantiquement éclairant : piézo*mètre*.

Alain-Hervé semble aller dans son sens. Il propose même d'ajouter un élément de savoir à relier à la notion de « nappe » : parler de son épaisseur[86] réduirait la possibilité de la confondre avec un bout de tissu. Il propose d'introduire dans le *milieu* du jeu d'apprentissage, un élément de savoir nouveau, mais qui reste dans le jeu épistémique des hydrogéologues. Il propose de *densifier* l'activité épistémique (Santini, 2012).

La didactisation du jeu épistémique des hydrogéologues pour évoquer la circulation des eaux souterraines passe par des *jeux de langage*. Nous en empruntons une description à Wittgenstein.

> *Représente-toi la diversité des jeux de langage à partir des exemples suivants, et d'autres*

85 Lefeuvre, Maisonneuve et Sensevy produisent et font produire aux élèves ce type d'opérations dans le cadre de l'étude de fables. *« À ce sujet, Descombes, évoquant la nécessité – et la difficulté – de paraphraser un texte philosophique pour l'expliquer, suggère qu'une des grandes méthodes consiste à paraphraser en éliminant les substantifs du texte source (Van Reeth, 2013). D'une certaine manière, ce que suggère Descombes, c'est de substituer à certains substantifs du texte source une périphrase à insérer alors dans le texte de la paraphrase »* (2012, p. 150).

86 … en évitant la *fourchette,* dans ce cas précis !

> *encore :*
>
> *Donner des ordres, et agir d'après des ordres – Décrire un objet en fonction de ce qu'on voit[87], ou à partir des mesures que l'on prend – Produire un objet d'après une description (dessin) – Rapporter un événement – Faire des conjectures au sujet d'un événement – Établir une hypothèse et l'examiner – Représenter par des tableaux et des diagrammes les résultats d'une expérience – Inventer une histoire ; et la lire. Jouer du théâtre – Chanter des comptines – Résoudre des énigmes – Faire une plaisanterie ; la raconter – Résoudre un problème d'arithmétique appliquée – Traduire d'une langue dans une autre – Solliciter, remercier, maudire, saluer, prier. (Wittgenstein, 2004, p. 39-40)*

Le jeu d'apprentissage reste multimodal. Les jeux de langage sont fortement corrélés aux actions sur et avec les ressources matérielles, et associés au langage non verbal.

7.2.4 Analyse de la préparation du stand

La préparation du stand met Virginie en situation de former ses pairs à l'utilisation des maquettes. Cette situation, associée aux entretiens réalisés avec l'hydrogéologue, mais aussi aux situations filmées lors des médiations sur le stand, nous permet de décrire le document développé par l'hydrogéologue. Nous décrivons ensuite la genèse documentaire *a priori* enclenchée chez les hydrogéologues futurs médiateurs. Enfin, nous analysons les enjeux épistémiques de la préparation du stand.

7.2.4.1 Le document développé par Virginie

Virginie a des connaissances sur les *ressources* contenues dans les maquettes. En effet, à partir des maquettes, elle a développé un *document* suite à l'expérience acquise, au fil de plusieurs années de l'utilisation de ces ressources, pour didactiser la circulation des eaux souterraines à un public de non-connaisseurs en hydrogéologie.

À partir des situations décrites, nous analysons la genèse du document « Maquette 1 » pour Virginie. Nous considérons l'ensemble des ressources qu'elle fait fonctionner, les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation développés, et enfin, un schème d'utilisation de ces ressources.

Virginie utilise un ensemble de ressources (Adler, 2010, p. 38-39) pour faire fonctionner la maquette1 en public :

- Les ressources matérielles qui constituent la maquette et qui entrent dans les manipulations observées :

87 C'est nous qui soulignons, pour corréler la citation aux propositions de Virginie, Alain-Hervé et Bruno.

- artefacts : pompe, tuyaux, tubes, seringue, colorant, matrice de bille de verre, figurines ;
- ressource naturelle : de l'eau.

- Des ressources sociales et culturelles :
  - le temps institutionnel, le temps de l'expérience, le temps didactique ;
  - le langage verbal, des langages non verbaux.
- Des ressources humaines :
  - ses propres connaissances ;
  - la complicité/réactivité des élèves dans les transactions. Les questions clés sont des ressources que les autres médiateurs vont s'approprier. Ce sont des ressources contextuelles, à mettre en relation directe avec le schème d'utilisation de la maquette en public. Nous observons une utilisation différente de la ressource principale pour le document audio-visuel.

Nous observons l'instrumentalisation des maquettes par Virginie. Elle les utilise telles que leurs possibilités ont été établies lors de leur conception et à d'autres fins aussi : elle s'en sert pour développer des problématiques comme le stockage de l'eau et la prévention de la pollution ; elle fabrique la maquette 3 sur le modèle de la maquette 1, mais fait des modifications pour faciliter son transport et son usage dans d'autres situations d'utilisation.

Virginie, à partir de la maquette 1, a développé un document pour le but d'enseigner la circulation des eaux souterraines à un public de non-connaisseurs en hydrogéologie. Ce document comporte un schème d'utilisation des ressources, combinées en fonction de ce que son concepteur veut montrer, et en fonction de l'expérience qu'elle a acquise dans des situations analogues (« grand public » lors d'un événement ponctuel, ou classes lors de visites du campus).

La maquette 1 est constituée d'un ensemble de ressources présentes dans le milieu, elles aussi associées à des schèmes d'utilisation développés par l'hydrogéologue utilisatrice de la maquette. Le schème d'utilisation du cochon (et autres accessoires à la surface de la maquette) pour accéder au système sémiotique de la coupe de terrain ; le schème de l'injection du colorant qui va migrer, et donc permettre de visualiser la circulation de l'eau dans la nappe ; le schème de l'arrivée du colorant sous la rivière qui va permettre de mettre en

relation la nappe et la rivière ; le schème de l'utilisation du pompage pour montrer des effets de l'action de l'homme sur l'environnement (assèchement des rivières, pollution).
Nous développons une partie du schème d'utilisation de la maquette 1 dans le texte 2 (p. 190).

Schème d'utilisation de la maquette 1 par Med1 devant un public non connaisseur d'hydrogéologie
But : faire découvrir que les nappes phréatiques soutiennent les rivières.
Règle d'action : injecter du colorant dans la nappe pour rendre visible l'eau et faire observer son déplacement horizontal, puis sa déviation vers la rivière.
Sous-but 1 : montrer que l'eau qui circule horizontalement dans la nappe remonte dans la rivière.
Invariants opératoires (exemples) :

- connaissances scientifiques du contenu :
  - le colorant se disperse dans l'eau (= théorème en acte / concept en acte : la dispersion) ;
  - l'eau (rendue visible par le colorant qu'elle transporte) se déplace dans la nappe (= théorème en acte / concept de circulation des eaux souterraines, naturelle sur le terrain, et créée par la pompe dans la maquette) ;
  - le déplacement entre le lieu d'injection et la rivière prend du temps (= théorème en acte / concept en acte : le temps) ;
  - l'apparition du phénomène de déviation de l'eau vers la rivière est dû au changement de gradient.
- connaissances d'utilisation de la maquette :
  - l'incision dans la maquette crée un changement de gradient nécessaire à l'apparition du phénomène de déviation de l'eau vers la rivière ;
  - la stabilité de la rivière, dans la maquette, est contrôlée par le réglage de la pompe à l'entrée, et l'ouverture de la vanne en sortie.
- connaissances sur le public :
  - quand on pose telle question au public (*d'où vient l'eau des rivières ?*), sa réponse est souvent la même (*de la pluie !*) et permet d'engager un nouveau questionnement productif (*et quand il ne pleut pas, l'eau des rivière, elle vient d'où ?*).

Sous-but 2 : mettre à profit le temps d'attente dû au temps de l'expérience.

Texte 2: Développement d'un schème d'utilisation de la maquette 1 par Virginie

7.2.4.2 Vers une genèse documentaire pour les futurs médiateurs

Du point de vue topogénétique, cette situation de préparation du stand comporte deux parties distinctes : la prise en main des maquettes, et les échanges entre pairs.
La première partie est dissymétrique : Virginie est porteuse de savoirs sur les maquettes, leur fonctionnement et leur utilisation pour un public de non-connaisseurs. Nous y observons une phase d'*instrumentation* (Rabardel, 1995).des hydrogéologues média Virginie, le *professeur* dans la situation, met dans le *milieu* les éléments nécessaires à la prise en main des ressources par les futurs médiateurs, qui sont ici en position d'*élèves*.

- Ceux-ci doivent s'approprier les possibilités prévues par ces ressources : que

montrent-elles ? À quels savoirs donnent-elles potentiellement accès ?

- Ils doivent apprendre à les « mettre en eau » et à contrôler les différents réglages (variables) pour éviter des inondations et montrer certains phénomènes.

  La technique doit permettre de révéler des phénomènes. Le but est de créer les conditions artificielles pour rendre les phénomènes naturels possibles. Les maquettes, bien réglées, permettent en effet de faire des analogies avec ce qui existe, ce qu'il se passe dans la nature, et la pratique des hydrogéologues.

- Ils doivent scénariser leur intervention pour parvenir à partager ces savoirs avec un public de non-connaisseurs. La présentation de Virginie est un exemple possible de déroulement. Elle montre les savoirs que la maquette permet de construire. Elle récapitule ces savoirs au fil des *milieux* successifs qu'elle crée. Le jeu épistémique cible pour le stand est exprimé au fil de la manipulation des maquettes.

La présentation de Virginie à ses pairs témoigne de ses propres *schèmes d'utilisation des ressources « maquettes ».*

La seconde partie, Virginie invite les futurs médiateurs à se détacher de l'usage défini des maquettes, et à s'en servir autrement, en liaison avec d'autres savoirs, eux-mêmes en relation avec d'autres ressources : des roches, des données imprimées, mais aussi des éléments de savoirs structurés dans des discours. Dans les échanges verbaux de la seconde partie de la préparation, chaque hydrogéologue est porteur de ressources pour les autres.

La préparation de l'atelier est pour chaque participant un moment conçu pour tirer parti des ressources et commencer à développer des schèmes d'usage associés. Le *temps institutionnel* de la rencontre, avec les échanges et les découvertes, est lui-même une ressource pour tous les transactants. La préparation du stand vise, pour les médiateurs du stand, à développer un schème d'usage de ces ressources avec un arrière-plan commun. Le *document* que chacun développe doit contenir des éléments de savoir communs en plus des éléments de savoir acquis personnellement dans d'autres situations.

L'arrière-plan commun des hydrogéologues futurs médiateurs raisonnablement attendu concerne :

- les éléments de savoir sur les contenus scientifiques qui peuvent être montrés avec les maquettes (savoirs visés pour le public, le jeu épistémique cible) ; ils sont une base commune des pratiques de savoir des hydrogéologues ;

- le fonctionnement et la prise en main de la maquette ;
- des réactions connues du public.

Il est entendu que chaque médiateur peut développer des éléments de savoir issus de son expérience personnelle.

Les éléments de savoir de l'arrière-plan commun attendu correspondent aux invariants opératoires. Nous les avons identifiés dans le schème d'utilisation de M1 par Virginie, quand elle didactise la circulation des eaux souterraines pour un public de non-connaisseurs (Texte 2, p. 190). Les futurs médiateurs adoptent-ils le même schème d'utilisation que Virginie, pour les mêmes ressources (maquettes et accessoires), pour la même activité (médiation pour un public scolaire au village des sciences) ?

7.2.4.3 Des jeux épistémiques source en arrière plan

Virginie ponctue chaque phase de manipulation en instituant le savoir que le milieu permet de construire (7.2.3.2 B. , p. 178). Ces savoirs sont déjà formulés pour un public non connaisseur, étroitement liés aux phénomènes essentiels visés par les concepteurs des maquettes. Nous formulons pour les maquettes ce que Lefeuvre, Maisonneuve et Sensevy expriment pour des textes : ces savoirs exprimés par Virginie sont des *« essentiels de premier ordre »*, ce que disent les maquettes (dans un processus d'instrumentation). *« Par « essentiels », nous entendons des éléments de signification incontournables. »* (2016, §1.4.1)

Le processus de transposition est antérieur à la rencontre du collectif de l'édition 2013 du VDS. Virginie donne accès au *jeu épistémique cible* (Gruson et al.) des maquettes, pour le public. Ce jeu est transposé de l'analyse du jeu épistémique source.

L'étude de la pratique professionnelle des ingénieurs nous fait apparaître que les piézomètres et les traceurs revêtent des réalités différentes selon les institutions et les projets en cours. Au jeu épistémique cible correspondent plusieurs *jeux épistémiques source*[88] *(ibid.)* : la datation des eaux souterraines pour Virginie, la surveillance du niveau des nappes souterraines pour Bruno et Flora, la dispersion des polluants dans les eaux souterraines pour Joe. Nous comparons les savoirs particuliers que pourraient développer chaque médiateur, à des *« essentiels de second ordre » (Lefeuvre et al., 2016, p. 146)*, des savoirs essentiels qui peuvent être développés à partir des maquettes (dans un processus d'instrumentation).

88 *« Un jeu épistémique source est modélisé à partir de la pratique produite par des experts. Il correspond donc à un modèle de description du savoir en jeu dans les pratiques humaines de référence » (Gruson, Forest, & Loquet, 2012, p. 357)*

La partie commune du jeu épistémique source n'est pas exprimée sous une forme théorique. Nous la voyons émerger accidentellement, le cas échéant, dans quelques ébauches d'explications techniques (« à cause du *changement de gradient* », « avant l'apparition du *marteau fond-de-trou* »). L'arrière-plan commun n'est pas développé. La pratique d'hydrogéologie apparaît principalement sous la forme d'un lexique spécifique (aquifère, milieu karstique, traceur, fracture…). La didactisation du jeu épistémique source passe par des jeux de langages qui prennent plusieurs formes.

7.3 Le stand, un jeu et un plateau de jeu organisés

Les acteurs qui se rencontrent sur le stand sont définis à l'avance ; dans un premier temps, nous regardons quelques aspects logistiques de l'organisation générale du village, et des dispositions internes au stand (7.3.1, p. 193). La veille de l'ouverture du village des sciences, une partie du collectif apporte le matériel et aménage le stand ; dans un second temps, nous décrivons comment l'espace est investi (7.3.2, p. 194).

7.3.1 Planning et rotations

Le planning des classes en visite est réalisé par l'Espace des sciences. L'organisatrice fournit à l'accompagnateur référent de la classe, et au porteur du projet de stand, le planning qui le concerne. Les professeurs respectent le cadre dont ils ont connaissance à leur inscription : le nom des stands visités, les horaires et la nécessité de partager la classe en deux groupes, chacun accompagné d'au moins un adulte. Les médiateurs s'organisent.

Notre étude de cas compare quatre situations de médiation, avec des groupes scolaires, le vendredi matin.

Deux classes de CE1 effectuent la visite du village des sciences séparée en deux groupes (Illustration 86, p. 194). Dans sa classe, Véro[89], la PE1, encadre le groupe 1.

Établissement : École A **Ville** : commune d'accueil du village des sciences **Classe** : CE1
Coordonnées du contact : Nom – Véro (pseudo) - Téléphone - Adresse électronique 2013

	9h00	9h45
Groupe 1 12 élèves	**Stand 15** *BRGM et OSUR* **L'eau du robinet, ça coule de source ?** PE	**Stand 46** *ASSOCIATION LE MILIEU* **Les Bouillants, arts numériques** PE
Groupe 2 13 élèves	**Stand 46** *ASSOCIATION LE MILIEU* **Les Bouillants, arts numériques**	**Stand 15** *BRGM et OSUR* **L'eau du robinet, ça coule de source ?** A00.1

Illustration 86: Planning de la classe 1 (Véro), anonymé et annoté pour la recherche

89 Dans cette étude, les prénoms des PE sont des pseudonymes.

Le groupe 1 commence par la visite du stand sur l'eau du robinet, pendant que le groupe 2, avec une accompagnatrice (Acc1), visite un autre stand. Au bout de trois quarts d'heure, les deux groupes font une rotation sur les deux stands. Le planning de la classe de Brigitte est basé sur le même principe.

L'équipe du stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » définit la présence de chacun (Illustration 87, p. 194) : trois médiateurs font les animations à tour de rôle. Le premier groupe est reçu par la médiatrice 1 (annexe 29), et le second groupe par le médiateur 2 (annexe 30). Le groupe 3 encadré par Brigitte, la PE2, est accueilli par la médiatrice 3 (annexe 31). La médiatrice 1 prend en charge le groupe 4 (annexe 32), encadré par un accompagnateur (Acc2) (Illustration 87, p. 194).

15/ L'EAU DU ROBINET, ÇA COULE DE SOURCE ?

BRGM et OSUR

Niveau scolaire : du CE1 à la Terminale **Attention ! maximum 10 personnes**

Rotation médiateurs

Heure	Établissement	Ville	Classe	Nombre d'élèves	Coordonnées accompagnateur	
9h00	École primaire	Commune du VDS	CE1 Groupe 1	12	Prénom NOM Véro N° tel Adresse mail de l'école PE 1	Médiatrice 1
9h45	École primaire	Commune du VDS	CE1 Groupe 2	13	Prénom NOM Véro N° tel Adresse mail de l'école Acc. 1	Médiateur 2
10h30	École primaire	Commune du VDS	CE1 Groupe 3	14	Prénom NOM Brigitte N° tel Adresse mail de l'école PE 2	Médiatrice 3
11h15	École primaire	Commune du VDS	CE1 Groupe 4	15	Prénom NOM Brigitte N° tel Adresse mail de l'école Acc. 2	Médiatrice 1
12h00	Collège	Commune à 54 km du	6ème / 5ème	15	Prénom NOM	

Illustration 87: Planning du stand 15 (extrait anonymé et annoté pour la recherche)

7.3.2 Des tables d'exposition agencées avec les ressources du collectif de chercheurs

Le stand est agencé autour de deux grandes tables et de panneaux d'affichage. Le jeu des transactants est délimité autour de cette zone.

L'espace où se trouvent les médiateurs (avant la médiation) est privé (Illustration 89, p. 195). Les médiateurs y posent leurs affaires personnelles, mais aussi des ressources complémentaires pour la médiation (données imprimées, réserve de colorants). Ce sont les coulisses, la partie technique des maquettes : les pompes et les réservoirs non accessibles au public (Illustration 95, p. 231).

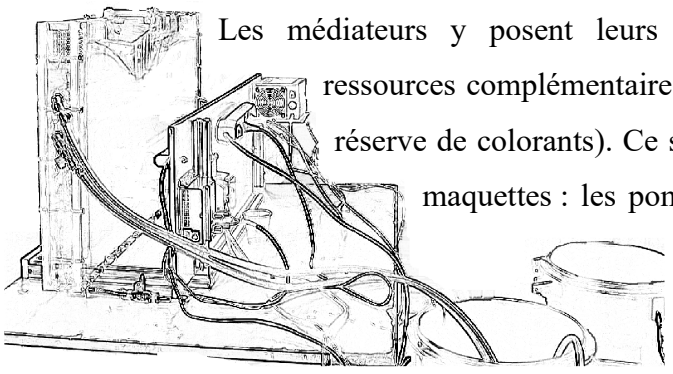


Illustration 88: Arrière de la maquette 1

L'espace d'où est prise la photo (Illustration 89, p. 195) est l'allée

centrale du village des sciences. C'est aussi l'espace où tous les transactants (public et médiateurs) se trouvent pendant la médiation (Plateau_de_jeu 6, p. 195).

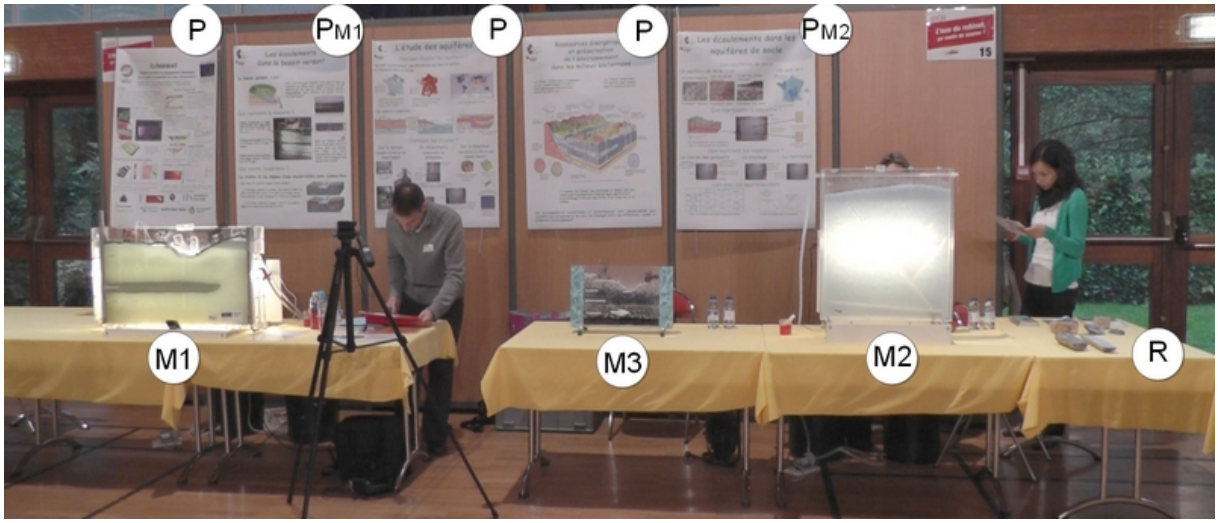
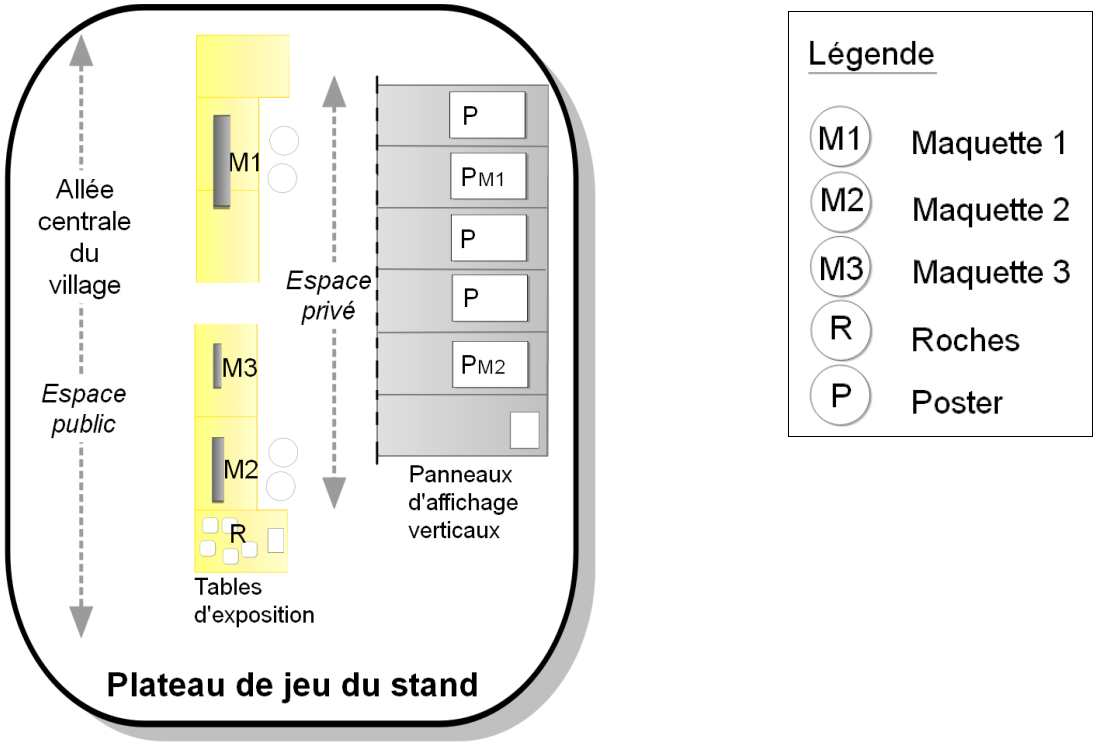


Illustration 89 : Stand « L'eau du robinet, ça coule de source ! » avant l'arrivée des groupes

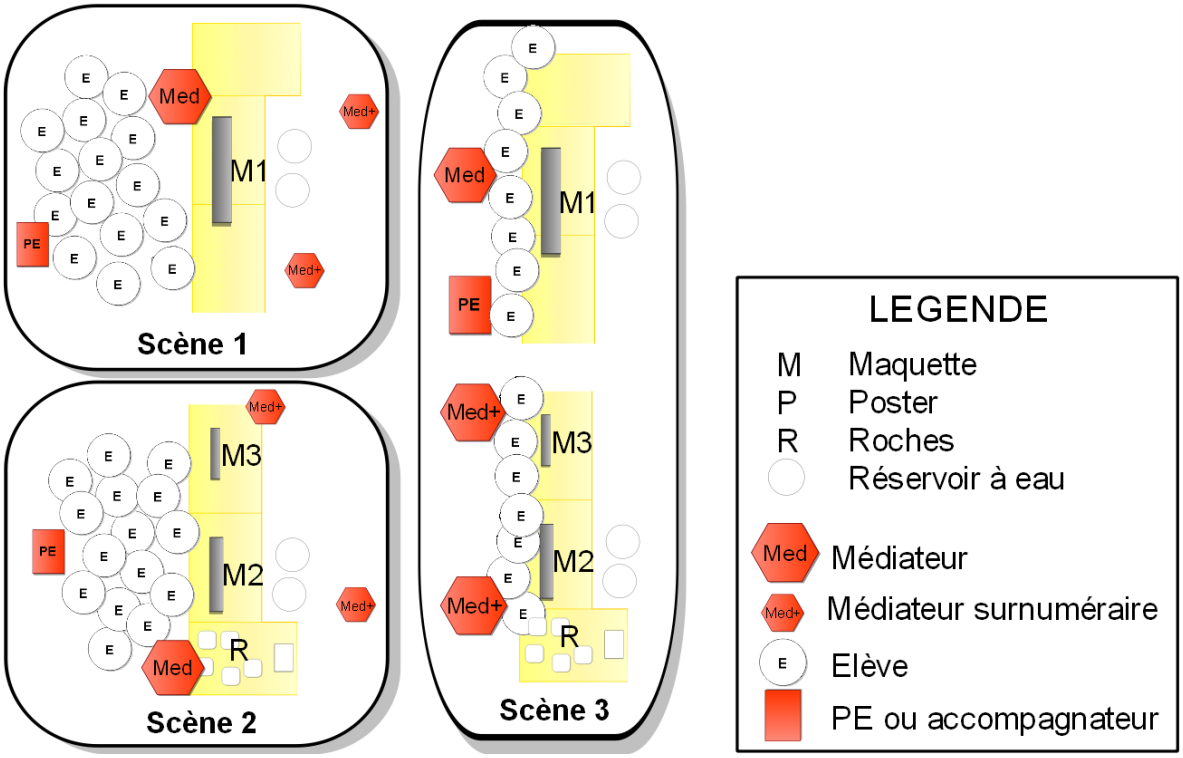
Tournées vers l'allée centrale, sur les tables, les trois maquettes (M1, M2 et M3) et les échantillons de roches (R) sont au plus près du public. Sur les cinq posters affichés, deux sont relatifs (PM1 et PM2) aux maquettes M1 et M2. Nous n'observons pas d'utilisation des posters avec les groupes scolaires étudiés.



Plateau_de_jeu 6: Le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? »

L'espace est ainsi défini par les médiateurs, et ainsi respecté par le public. Les transactants y évoluent groupés (scènes 1 et 2) ou dispersés (scène 3). Les scènes (Plateau_de_jeu 7, p. 196) sont toujours occupées dans le même ordre, et investies autour des mêmes ressources :

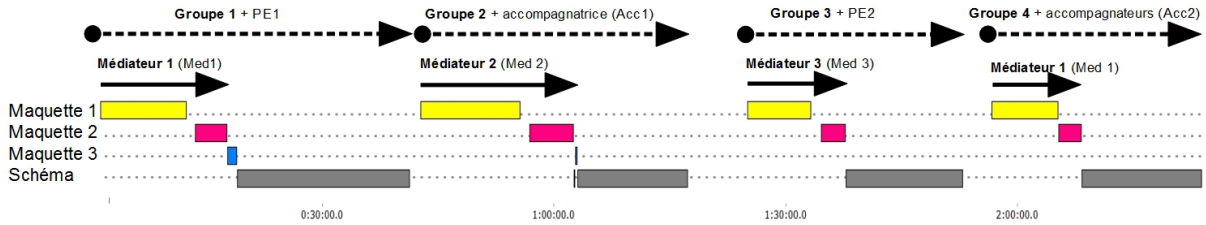
- la scène 1 est occupée par la maquette 1 ;
- la scène 2, s'organise autour de la maquette 2 associée aux roches (R), et ponctuellement autour de la maquette 3 ;
- la scène 3 occupe tout l'espace public du stand.



Plateau_de_jeu 7: Les trois scènes principales

7.3.3 Du mouvement

Les élèves sont d'abord regroupés autour de la maquette 1 (Vue_synoptique 12, p.197), sur la scène 1 (Plateau_de_jeu 7, p. 196). Ils se déplacent ensuite ensemble devant la maquette 2, et évoquent éventuellement la maquette 3 (scène 2). Dans cette première partie de l'atelier, auprès des maquettes, les groupes sont pris en charge par un seul médiateur. Les autres médiateurs l'observent et lui apportent une aide technique, le cas échéant. En effet, les maquettes requièrent des réglages et des contrôles. Enfin, les élèves utilisent les tables du stand pour compléter le schéma de la coupe d'un aquifère poreux (scène 3, Plateau_de_jeu 7, p. 196). Tous les médiateurs présents se déploient alors, pour accompagner les élèves dans leur tâche : retrouver le nom des différents éléments, en se référant à M1 et M3.



Vue_synoptique 12: Rotation des groupes de CE1 sur le stand de l'eau du robinet, et utilisation des ressources

Ces choix d'organisation de l'espace, et de prise en charge du groupe ont un impact sur les transactions didactiques et sur l'évolution des médiations au fil de la journée. Lors de l'entretien à chaud, à l'issue de la journée de médiation, les médiateurs du stand parlent de l'intérêt d'être observateurs à tour de rôle. Ils ont appris non seulement des élèves, mais aussi de leurs pairs. Ils ont modifié le milieu et leur pratique en conséquence.

Dans l'étude qui suit, nous décrivons et analysons principalement les transactions qui se jouent sur la scène 1. Nous évoquons, en fin de chapitre, l'organisation des transactions sur la scène 3, à propos des positions topogénétiques particulières que cette situation génère (7.5.3.2, p. 220).

7.4 Étude comparative des médiations de trois hydrogéologues

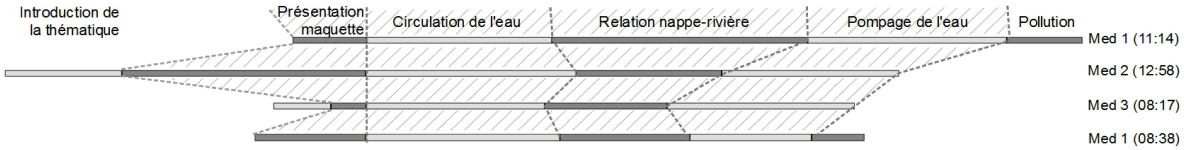
Nous étudions l'action des trois médiateurs hydrogéologues, Virginie (Med1), Bruno (Med2) et Flora (Med3), numérotés dans l'ordre du planning présenté précédemment (Vue_synoptique 12, p. 197). Les PE et les accompagnateurs qui encadrent les quatre groupes jouent un rôle dans l'installation des élèves et s'assurent que leur comportement est adapté. Les PE prennent de nombreuses photographies, mais n'interviennent à aucun moment dans les transactions didactiques à propos des savoirs en jeu. Nous n'évoquons, dans ce chapitre, que l'action des médiateurs. Nous décrivons les phases de jeu avec la maquette 1 au niveau mésoscopique (7.4.1 , p. 197), puis nous étudions dans les détails ce qui s'y joue (7.4.2 , p. 199).

7.4.1 Des similarités au niveau mésoscopique

Les éléments présentés comme essentiels lors de la préparation sont présents dans les quatre séances, et dans le même ordre : la circulation de l'eau dans la nappe, la relation entre la rivière et la nappe, et le pompage de l'eau (Vue_synoptique 13, p.198). Seule Med1 aborde la

pollution de l'eau pour conclure ses deux interventions, et Med3 l'inclut brièvement au moment du pompage.

En revanche, des différences importantes sont visibles en introduction de séance.



Vue_synoptique 13: Comparaison des phases de la séance des médiateurs 1, 2 et 3 avec la maquette 1

La chronologie du scénario de chaque médiateur repose sur trois questions clés dont nous retrouvons la genèse dans la préparation du stand, avec des savoirs associés.

Phase	Circulation de l'eau souterraine	Relation nappe-rivière	Pompage de l'eau souterraine
(1) Questions posées par chaque médiateur	L'eau circule-t-elle sous terre ?	D'où vient l'eau des rivières ?	D'où vient l'eau du robinet ?
(2) Réponses apportées par chaque médiateur	Oui, entre les grains de la roche, mais pas sous la forme de rivières souterraines.	Les eaux souterraines, plus que les eaux de ruissellement, alimentent les rivières.	L'eau du robinet est pompée dans les eaux souterraines. Les pompages excessifs assèchent les rivières.
(3) Extraits des conseils donnés lors de la préparation par l'ingénieure de recherche (Med1) au regard de son expérience	déjà/ commencer à leur parler du fait que ça circule et pour le mettre en évidence on va pouvoir utiliser des colorants donc faire comme on s'amuse à faire dans les aquifères avec des chlorures/ des machins/ des trucs\ (ibid., « circule »)		la rivière disparaît dès qu'on pompe de trop\ et deuxième chose qu'on peut montrer/ quand on met le pompage en route c'est que si on met un colorant/ (.) donc là on peut partir après sur tout ce qui est remédiation quand y-a une pollution\ (ibid. « remédiation »)
	les infos les plus importantes à faire passer sur cette maquette-là/ c'est/ les nappes souterraines c'est pas des rivières/ sauf cas exceptionnels des milieux karstiques\ c'est pas la majorité de la France/ (.) les rivières sont soutenues par les nappes/ (ibid. « info »)		

Tableau 2: Trois phases de médiation communes en référence aux intentions exprimées lors de la préparation

Le tableau 2 (p.198) présente les trois phases repérées dans toutes les médiations, introduites dans chaque cas par la même question (1). Les savoirs institutionnalisés par chaque médiateur sont à peu près formulés de la même façon (2). Nous associons, à chaque phase, les éléments

de la préparation susceptibles d'expliquer la réplication du même schéma par les trois médiateurs : nous transcrivons des extraits des conseils transmis lors de la préparation (3).

Les médiateurs 2 et 3 semblent adhérer à la cohérence du scénario présenté par Med1 lors de la préparation et dont ils observent la mise en œuvre, lors de la première médiation. Ces trois phases semblent correspondre aux mêmes jeux d'apprentissages avec les mêmes enjeux de savoirs identifiés ci-dessus. Qu'en est-il au niveau microscopique ?

7.4.2 L'analyse microscopique révélatrice de stratégies didactiques différentes

Nous analysons à présent des extraits des cinq jeux d'apprentissage pour repérer les stratégies des médiateurs : l'introduction de l'objet du stand, la circulation des eaux souterraines, la relation entre la nappe et la rivière, le pompage de l'eau souterraine, et un jeu conclusif sur la pollution de l'eau.

7.4.2.1 L'introduction de l'atelier avec ou sans maquette

Pendant la préparation, aucun scénario n'est évoqué concernant la présentation de l'objet du stand, l'eau souterraine, ainsi qu'à propos de l'introduction des systèmes sémiotiques auprès du public. Nous observons différentes stratégies des médiateurs.

A. Le cochon et les taupes

Med1 introduit la séance directement devant la maquette et cherche à y situer l'eau souterraine (annexe 29).

1-Med1-alors ici vous savez vous vous rappelez de quoi on va parler/
2-Es-non\
3-Med1-Non/ qu'est-ce qu'il y a d'après vous dedans/ dans la maquette/
4-E-un cochon\
5-Med1-ah oui/ non/ ça c'est DESSUS la maquette\ mais c'est vrai/ y-a un cochon\ mais DEDANS c'est quoi/
6-E-de la glace
7-Med1-c'est pas de la glace\ regardez c'est quoi là ici qui coule/ ((Med1 montre l'arrivée d'eau par le tuyau))
8-Es-de l'eau/
9-Med1-de l'EAU\ on va parler de l'EAU et vous m'avez dit y-a des cochons là-dessus/ y-a une vache/ ça c'est l'herbe/ c'est la terre/ et ça c'est quoi/
10-E-l'eau\
11-Med1-l'EAU\ et c'est l'eau qui est SOUS nos pieds\ on va parler de l'eau SOUTERRAINE\ parce que SOUS nos pieds y-a de l'EAU\

Les élèves ne connaissent pas le thème de l'atelier. Le premier élément identifié dans le milieu est le cochon, la figurine posée sur une surface verte (Photogramme 40, p. 200). Le cochon de la maquette représente un cochon dans la réalité ; le tissu vert, l'herbe. Les élèves voient la matrice de billes de verre comme de la glace, mais ne voient pas l'eau. Elle n'est pas visible. Med1 doit mettre en évidence le tuyau, à l'entrée de la maquette, pour que les élèves comprennent que de l'eau arrive dans la maquette. Med1 présente alors les éléments nécessaires de ce qui représente l'espace souterrain, et uniquement ceux-là. Son doigt oriente verticalement le regard des élèves. Il part du cochon, et il descend du monde connu vers le milieu à découvrir : l'herbe, la terre et, enfin, ce qu'on a « sous nos pieds » (tdp. 11), l'eau souterraine (Photogramme 40, p. 200).

Photogramme 40: Extrait de l'introduction de Med1, premiers éléments nécessaires à la compréhension de la maquette

Med1 sait que la lecture de ce système sémiotique peut être difficile. Les figurines sur la maquette sont des indices, placés là pour permettre des inférences. Leur fonction est d'identifier la surface terrestre et d'orienter l'espace verticalement : le sol et le sous-sol vus en coupe. Med1 repère les difficultés des élèves et dirige leur attention, de la surface terrestre connue vers un espace souterrain invisible non éprouvé. Elle utilise des signes, des adverbes et gestes déictiques, accompagnés d'un regard soutenu vers les élèves qu'elle interroge (Photogramme 40, p. 200). Elle régule son enseignement pour que les élèves voient comme elle. Med1 institue la présence d'eau sous nos pieds et définit l'objet du stand : l'eau souterraine. Les élèves du groupe 4 (annexe 32) ont la même difficulté à identifier ce que représente la matrice de billes de verre.

Med1 : alors si là y-a une rivière là ça représente quoi/
Es : [des animaux]
E : [des animaux] faux
Med1 : et le truc vert c'est quoi/
Es : l'herbe/
Med1 : l'herbe donc c'est le sol\ et donc ça c'est quoi dessous/ qu'est-ce qu'il y a sous le sol/
E : de la glace/
Es : la terre

Med1 : y-a pas de la glace dans sous le sol/ la terre\ voilà\ et sous la terre y-a quoi/
E : ah ben des taupes des
Med1 : de la roche/ des cailloux\
Es : ah oui/

Les élèves du groupe 4 savent que le thème du stand est l'eau. Med1 leur demande de nommer ce qu'ils reconnaissent dans la maquette. La rivière est citée en premier, vraisemblablement car le mot est écrit. Puis, les enfants désignent les « animaux ». La suite montre les difficultés des élèves à lire le modèle de la coupe de terrain. Comme ceux du groupe 1, ils pensent que les billes de verre représentent « de la glace » (tdp. 7). Les élèves n'évaluent pas les ordres de grandeur et ne perçoivent pas le monde minéral (tdp. 10-11) vers lequel Med1 dirige leur attention. Leurs pratiques de savoir sont plus proches du monde animal que du monde minéral.

B. Une maquette pour voir ce qu'on a sous nos pieds

Le médiateur 2 et la médiatrice 3 articulent le thème de l'atelier à la nécessité d'utiliser une maquette. Med2 (annexe 30) fait asseoir les élèves, s'installe et échange avec eux en dehors du champ de vision direct de la maquette (Photogramme 41, p. 201). Il contextualise le thème de l'atelier, l'eau du robinet, dans la vie quotidienne des élèves, puis justifie l'usage d'une ressource particulière, la maquette, pour montrer l'eau souterraine que l'on ne peut pas voir autrement. Stratégiquement, son intention semble être de les préparer à la lecture de ce système sémiotique particulier « une représentation de ce que l'on a sous nos

Photogramme 41: Extrait de l'introduction du médiateur 2, nécessité d'une maquette pour voir l'eau souterraine invisible

pieds ». Il introduit une réalité du terrain, invisible dans la vie quotidienne : « on ne le voit pas ». Med3 explicite aussi, mais de façon magistrale, la relation entre la maquette et le thème de l'eau souterraine : « on a fait une maquette pour vous montrer où elle se trouve l'eau souterraine ». Dans un second temps, tous debout devant la maquette, Med2 nomme les couches de roches représentées par des billes de verre, et donne une idée de l'échelle de la maquette. Il compare le puits de pompage à une paille utilisée pour aspirer de

la grenadine dans un verre, et enfin, familiarise les élèves à la présence d'eau dans la matrice de billes de verre. Beaucoup moins exhaustive que Med2, Med3 ne montre que les éléments essentiels à la compréhension du système sémiotique « coupe de terrain », jusqu'à la désignation de l'eau dans la matrice de billes de verre.

L'introduction de la séance est le moment d'annoncer et de situer l'objet du stand : les eaux souterraines. Med2 et Med3 introduisent cette thématique et la nécessité d'un système sémiotique particulier, avant de présenter la maquette. En revanche, Med1 commence la lecture du modèle analogique sans que la fonction de celui-ci ne soit élucidée. Les trois médiateurs rendent *visibles* (Adler, 2010) aux élèves, les éléments matériels et symboliques qui composent la maquette. Les médiatrices 1 et 3 ne présentent que les éléments pertinents pour initier les élèves à la coupe verticale du terrain. Med2 présente tous les éléments qui seront utilisés dans la séance.

Les figurines et le tissu vert ne présentent pas le même problème d'interprétation que la matrice de billes de verre. Les figurines animalières posées en surface sont identifiées par les élèves pour ce qu'elles représentent, des animaux de la ferme. Cependant, pour les médiateurs, les figurines et l'herbe visent aussi à identifier et orienter l'espace, afin d'aider les élèves à voir ce qui se passe sous les pieds de l'animal, comme ce qui se passe sous nos pieds. La figurine « cochon » est un élément symbolique à mettre en relation, verticalement, avec les couches inférieures pour comprendre le système sémiotique de la coupe de terrain. D'autres échanges analysés dans notre corpus mettent en évidence des interprétations (non discutées dans les groupes scolaires) des figurines animales : le cochon, la vache et l'âne (sur M1), mis en relation avec le tracteur et le puits (sur M3) font quelquefois percevoir les maquettes comme la représentation de fermes.

7.4.2.2 L'eau souterraine circule

Le premier phénomène que les médiateurs montrent est la circulation de l'eau dans la maquette, au moyen d'un traceur. Dans un premier temps, nous décrivons la stratégie de Med1 et nous la comparons à l'approche de Med3. Dans un second temps, nous observons Med2 qui, au même moment de la médiation, doit opérer une régulation inattendue.

A. Des questions pour mettre l'esprit en marche

Cet extrait fait suite à l'introduction de Med1 avec le groupe 1.

1- Med1 – et donc sous nos pieds là donc ça c'est une maquette et ça c'est la roche/… vous pouvez avoir différentes tailles de roches et de l'eau qui circule à l'intérieur\ donc là ce qu'on va faire/ moi je vous dis qu'elle circule\ est-ce que vous la voyez circuler/
2- Es – non
3- Med1- non/ comment on pourrait faire pour la voir circuler/
4- E – faudrait XXX
5- Med1- si on n'en mettait pas beaucoup/ oui\ c'est une idée\ (.) est-ce que vous avez d'autres idées/ (.) ah ah\ regardez ce que j'ai là/ ((montre un bécher contenant un liquide rouge et une seringue))
6- E – du sang\
7- Med1- oh non
8- E – je sais c'est du sirop
9- Med1- c'est une sorte de sirop/ et qu'est-ce que je vais en faire/ d'après vous\
10- E – tu vas en mettre dedans
11- Med1- ouais/ ça va servir à quoi/
12- E – à voir l'eau

Med1 fait une proposition, « l'eau circule », qu'elle met immédiatement en doute, sous la forme d'une question : « est-ce que vous la voyez[90] circuler/ ». Elle engage les élèves dans une observation et les accompagne dans une réflexion pour trouver une solution : « comment on pourrait faire/ pour la voir circuler\ » (tdp. 3) puis « qu'est-ce que je vais en faire/ ((du colorant)) » (tdp. 9) et encore « ça va servir à quoi/ ((de mettre le colorant dans la maquette)) » (tdp. 11). Dewey, en 1910, évoque la *morsure des questions* pour mettre l'esprit en marche[91].

13- Med1- à voir l'eau voilà\ à colorer l'eau\ et on va voir si j'ai raison ou si je vous raconte des bobards\ est-ce que l'eau elle circule ou pas\ (.) alors pour pouvoir COLORER l'eau et la voir circuler on a besoin de mettre l'eau DANS la roche/ vous vous rappelez ÇA c'est la roche\ donc ce qu'on utilise c'est ÇA\ c'est quoi ça\ est-ce que vous savez\ ce que ça représente/
14- E – oui c'est un tuyau/
15- Med1- c'est une sorte de tuyau ouais\ mais est-ce que ça vous rappelle quelque chose/est-ce que certains chez leurs parents/ ont des puits\ vous savez ce que c'est des puits/
16- E – c'est pour mettre de l'eau dedans\
17- Med1- NON c'est pas pour mettre de l'eau/ c'est pour justement ALLER CHERCHER l'eau dans la roche\ donc ÇA ça représente des PUITS/ tous les petits tuyaux/ c'est des puits\ c'est des tuyaux qui permettent d'aller chercher l'eau\ et qui nous permettent\ à NOUS les

90 C'est nous qui soulignons.

91 *« The shock, the bite, of a question will force the mind to go wherever it is capable of going, better than will the most ingenious pedagogical devices unaccompanied by this mental ardor. It is the sense of a problem that forces the mind to a survey and recall of the past to discover what the question means and how it may be dealt with. »* (Dewey, 1997, p. 207). Le choc, la morsure, d'une question force l'esprit à aller partout où il le peut, mieux que le ferait le plus ingénieux des dispositifs pédagogiques non accompagné par cette ardeur mentale. C'est le sens d'un problème qui oblige l'esprit à l'examen et à la convocation du passé pour découvrir ce que signifie la question et de quelle façon elle peut être traitée (traduction personnelle).

CHERCHEURS/ d'aller COLORER l'eau\ ((Med1 injecte de l'eau colorée dans la nappe supérieure))

Med1 fait expliciter le sens des actions, leur nécessité : utiliser un colorant pour voir l'eau circuler ; accéder à la nappe souterraine en creusant un puits. Elle met ainsi en relation les éléments du milieu-maquette entre eux : le tuyau, l'eau, les billes de verre, le colorant. Elle met également en relation certains éléments du milieu-maquette avec le milieu-terrain, le tuyau et le puits. Elle précise la fonction du puits dans la vie quotidienne et l'usage que le chercheur peut en faire, dans la maquette et sur le terrain. Elle dévolue aux élèves la possibilité de faire des propositions pour les faire entrer dans le jeu, et ainsi favoriser la compréhension de la fonction des différents éléments matériels et symboliques présents dans le milieu et la construction d'un réseau de relations entre eux.

Med1 initie les élèves au mode opératoire de la maquette, tout en faisant le lien avec son activité d'hydrogéologue sur le terrain. Med3 fait un autre choix stratégique (annexe 31). Comme Med1, elle demande aux élèves comment on pourrait faire pour voir si l'eau circule. Les élèves proposent de creuser, ce qu'elle confirme en montrant les puits. Ensuite, elle annonce elle-même le protocole, et décrit les résultats attendus : « et là ici/ on va mettre de la COULEUR comme ça vous allez pouvoir voir l'eau\ on va entrer par le puits justement/ et on va voir comment elle se déplace dans la roche\ » (Med3, « couleur »).

Med1 utilise un discours réticent qui engage les élèves dans un effort de mise en relation des éléments du milieu. Au contraire, Med3 exprime ces relations elle-même.

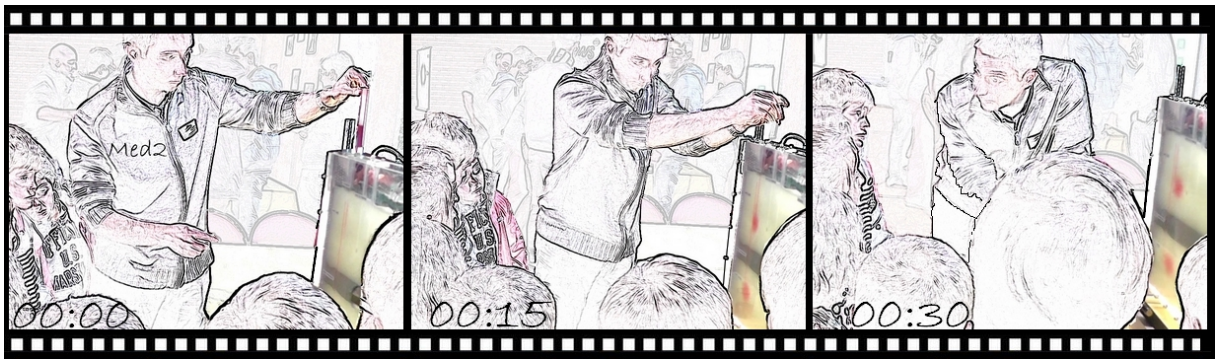
Au moment où Med1 demande aux élèves si la tache colorée a bougé, le nuage rouge s'est déjà détaché de la base du puits. Il n'est visiblement plus à la même place et les élèves confirment le mouvement de l'eau dans la maquette.

Pendant sa médiation, Med1 doit ajuster le débit de la pompe pour réguler une inondation : la rivière sort de son lit. Quand Med2 prend le relais de la médiation avec le groupe 2, il conserve ces réglages qui permettent de stabiliser la rivière. Cependant, le temps de l'expérience n'est plus le même. Avec le groupe 1, en vingt secondes, le déplacement de la tache est visible. Avec le groupe 2, au bout de trente secondes, la tache est toujours très proche de la base du puits et la perception du mouvement n'est pas immédiate.

B. Bouge ou ne bouge pas ?

Le médiateur 2 a précédemment initié les élèves du groupe 2 au système sémiotique de la

coupe de terrain. Il annonce la suite : «on va essayer de voir/ si l'eau qui est sous nos pieds/ BOUGE\». Il justifie l'usage d'une eau colorée pour voir ce qui n'est pas visible autrement. Il injecte l'eau colorée dans les deux nappes de la maquette.



Photogramme 42: Injection du colorant dans les deux nappes et début de déplacement de la tache

a. Où le mouvement est nié

Le début de l'extrait étudié se situe environ 30 secondes après que le médiateur a injecté l'eau colorée dans la couche inférieure de la maquette (Photogramme 42, p. 205, *tc 00 :00*), et 15 secondes environ après l'injection dans la couche supérieure (*tc 00 :15*). Le mouvement que le médiateur a l'intention de faire observer est celui de la tache colorée, entre les billes de verre de la matrice, un déplacement, (approximativement) rectiligne et horizontal, de la gauche vers la droite, avec une vitesse constante très lente.

1-Med2 : et qu'est-ce qui se passe avec cette eau/ le rouge qu'on a mis/
2-E1 : elle bouge pas\
3-E : les cailloux ils sont tout roses\
4-Med2 : elle bouge pas/ qui est-ce qui a dit qu'elle bouge pas/
(Photogramme 42, p. 205, *tc 00 :30*)
5-E1 : moi\ ben parce qu'on croirait pas qu'elle bouge\
6-Med2 : eh ben là on l'a mise ici/ ((Med2 pointe du doigt l'extrémité du tuyau d'où est sortie l'eau colorée, dans la couche inférieure)) dans le tuyau/ et où est-ce qu'elle est déjà maintenant/

Le verbe "bouger" peut être ambigu pour les jeunes élèves. Quel est le mouvement[92] attendu ? Une agitation ? Une vibration ? Une circulation ? D'après l'expérience sensible, après l'injection de l'eau colorée, la maquette ne présente aucun mouvement spectaculaire immédiat. Le médiateur perçoit certainement le déplacement attendu, mais aucun mouvement ne s'offre au regard des élèves. Aucun sentiment ou réaction, en lien avec un mouvement, ne peut donc être éveillé : «on croirait pas qu'elle bouge\»(élève, tdp. 5). Par

92 Nous changeons ici de classe de mots (le nom *mouvement* pour le verbe *bouger*). Problème de deux familles de mots qui ne contiennent pas toutes les classes de mots, ou bien dont le verbe n'est pas adapté (par exemple *mouvoir*). Bien que la grandeur physique est *mouvement*, une alternative aurait pu être *déplacement/se déplacer* ou bien *transport/transporter* pour parler de l'action de l'eau sur le colorant.

contre, les élèves observent la dispersion du colorant dans la matrice de billes, juste après son injection (Photogramme 42, p. 205, *tc 00 :30*) : « les cailloux ils sont tout roses\" (élève, tdp.3).

b. Une question d'espace mathématique

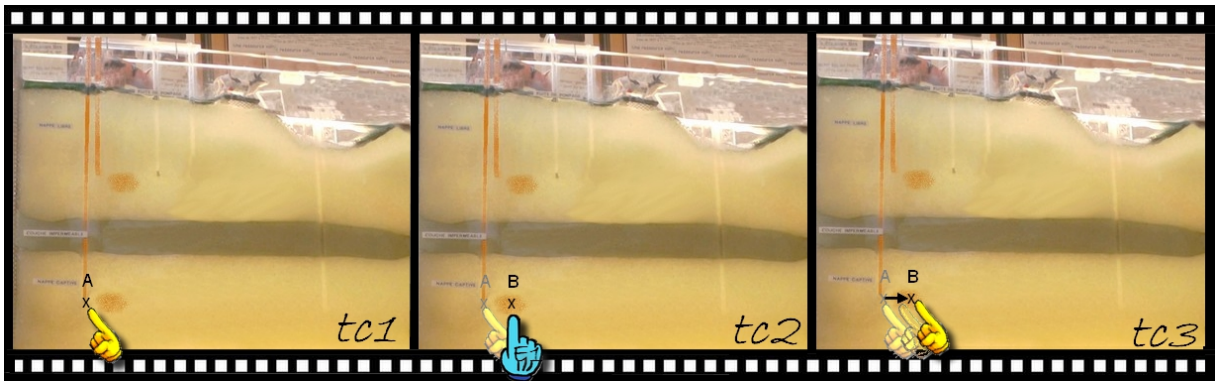
Nous faisons l'hypothèse que la construction du concept de *mouvement* est antérieurement passée par sa perception empirique et directe : la perception du mouvement d'un véhicule sur la route est de l'ordre de l'immédiat, son observation est réalisée sans intermédiaire, directement. En un instant perçu comme bref, la voiture parcourt une grande distance. Or, les élèves ne reconnaissent pas, dans la maquette, un mouvement de cet ordre : « elle bouge pas\ » (E1, tdp.2). Depuis l'injection de l'eau colorée, la tache ne semble pas avoir bougé. L'immédiat (la perception d'une voiture qui passe) se fait sans médiation. Pour rendre perceptible le mouvement de l'eau colorée dans la maquette, le médiateur décide d'agir, et il recourt à un intermédiaire[93].

Le médiateur invite à identifier des positions spatiales successives dans le repère empirique de la maquette, « on l'a mise ici/ (Photogramme 43, p. 207, *tc1*) dans le tuyau/ et où est-ce qu'elle est déjà maintenant/ » (Med2, tdp.6). Le médiateur met en évidence le déplacement dans l'espace en définissant la position initiale de la tache :

- il désigne un point, une position « géométrique », sur la paroi de la maquette, avec deux déictiques combinés. Son geste est soutenu par l'adverbe « ici ». La position de départ est matérialisée par le doigt maintenu sur la paroi ;
- il rappelle l'origine de l'apparition du colorant dans la maquette : « dans le tuyau/ », une position relative, une relation, au phénomène étudié.

Il ne reste pas de trace matérielle du départ de la tache telle qu'elle est après l'injection du colorant. Les trois éléments (les deux déictiques et la relation avec l'extrémité du tuyau) concourent à instituer la position initiale de la tache de colorant. Nous la situons avec un point A. Le médiateur (gant jaune sur le photogramme 43, p. 207, *tc1*) le fait de façon rétroactive, faute de ne pas avoir contractualisé l'événement au moment où il est arrivé (E_A). Il introduit E_A dans le *milieu didactique* au moment où la tache est au point B (événement E_B). Des deux variables qui expriment le déplacement, la durée et la distance, le médiateur rend essentielle

93 L'étude étymologique de la famille de mots autour de la racine *med* est au cœur de notre travail : *immédiat, intermédiaire, médiateur,* mais aussi *milieu.*



Photogramme 43: Pointage de deux positions du colorant et de l'espace qui les sépare (dans la couche inférieure)

celle qui concerne l'espace. À propos de la relation entre durée et l'espace, Bergson pose la question suivante :

> *« savoir si ce n'est pas avec des points de l'espace qu'on aura composé les moments de la durée (...) Involontairement, nous fixons en un point de l'espace chacun des moments que nous comptons, et c'est à cette condition seulement que les unités abstraites forment une somme (...) mais lorsqu'on ajoute à l'instant actuel ceux qui le précédaient, comme il arrive quand on additionne des unités, ce n'est pas sur ces instants eux-mêmes qu'on opère, puisqu'ils sont à jamais évanouis, mais bien sur la trace durable qu'ils nous paraissent avoir laissé dans l'espace »* (Bergson, 1888, p. 58-59)

Ainsi, Med2 matérialise-t-il le point initial A.

c. *Une question de dynamique (cinématique ?)*

Le médiateur engage ensuite les élèves à réitérer une observation et à l'exprimer : « et où est-ce qu'elle est déjà maintenant/ » (tdp. 6).

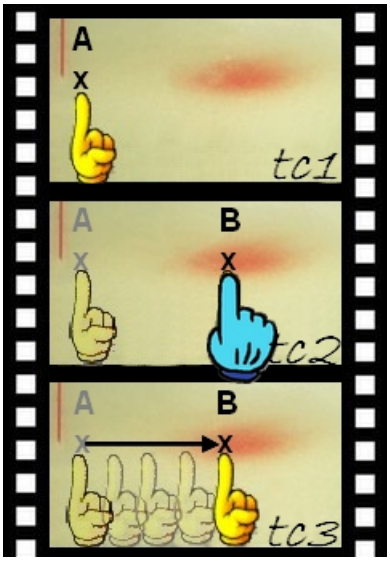
7-E2 : dans la couche
8-E1 : dans les cailloux-là ((en montrant))
9-Med2 : ((Med2 déplace son doigt jusqu'à l'endroit où se trouve l'eau colorée à présent)) elle est là/ alors est-ce qu'elle a bougé/
10-Es : oui
11-Med2 : et ben oui elle a bougé\
12-E2 : là y-a un espace\
13-Med2 : vous voyez elle a commencé à être ici/ et maintenant elle vient par là\ (dans la couche inférieure, Photogramme 43, p.207 et Photogramme 44, p.208)

L'élève 1 (gant bleu sur le photogramme 43, p. 207, *tc2*) pointe la position B. Le médiateur opère alors une translation de la main contre la maquette, en partant de A et en stationnant sur la nouvelle position, B, du colorant.

Le doigt permet de pointer les positions observées. Il permet de "rejouer" le mouvement, comme dans un enregistrement. Le médiateur le fait deux fois.

Comme un zoom sur l'essentiel (Photogramme 44, p. 208), la zone à observer est délimitée

par le jeu des doigts sur la paroi de la maquette. L'attention est concentrée sur une zone. Par cette action, le médiateur réduit l'environnement et soustrait les autres éléments de la maquette de l'attention des élèves.



Photogramme 44: Resserrement de l'attention sur les deux positions et la translation

Le médiateur aboutit à une idée générale du mouvement qui puisse s'appliquer ailleurs : la mise en évidence d'une distance parcourue pendant une certaine durée. Le médiateur réduit volontairement la durée du déplacement de son doigt par rapport au mouvement du colorant qu'il modélise. La vitesse réelle est trop lente pour être perçue par les élèves. Le mouvement est rendu intelligible par :

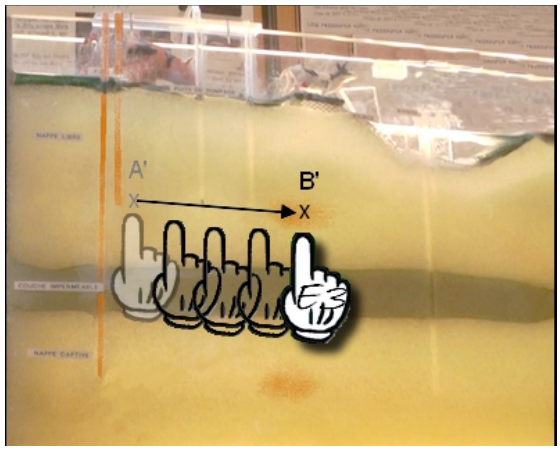
1. le stationnement du doigt en A puis le pointage d'un élève en B matérialisent deux positions successives (Photogramme 44, p. 208, *tc1-2*), en définissant l'espace parcouru (grandeur : longueur) ;
2. le déplacement du doigt entre A et B, qui modélise, en accéléré, le déplacement du colorant (Photogramme 44, p. 208, *tc3*), un déplacement avec une direction, dans un espace limité. La durée réelle est vécue pendant l'expérimentation. Le doigt la rejoue en accéléré (durée fictive).

Notons que les grandeurs, longueur parcourue et durée, qui caractérisent le mouvement avec la direction, ne sont ni mesurées ni quantifiées, ici. Seule la présence d'un déplacement dans une direction est observée. Selon le public (autres situations observées), la vitesse d'écoulement dans les nappes est abordée, avec des comparaisons entre ce qui se passe dans la maquette (de l'ordre du millimètre par seconde) et sur le terrain (de l'ordre du mètre par an).

d. Réinvestissement

Jusqu'au tour de parole 13, la tache de colorant observée est celle qui se trouve dans la couche inférieure (photogramme 43, p. 207). Le médiateur demande alors ce qui se passe au-dessus, dans la couche supérieure : « et là regardez ici/ » (Med2, tdp.13). Le phénomène est le même, mais à un endroit différent de la maquette. Cependant, le temps écoulé depuis l'injection du colorant dans la maquette a augmenté, ainsi que l'écart entre la position de départ et la position du colorant au moment de la question.

Le moyen de perception de l'écart entre les deux positions successives (notées A' et B' sur le photogramme 45, p. 209) est immédiatement réinvestie par une élève : « elle était là/ et elle est là\ » (E3, tdp.14). À la manière du médiateur quelques instants plus tôt (mais dans l'autre couche), le premier « là » pointe l'issue du tuyau qui amène le colorant dans la couche supérieure. Il ne s'agit pas du même point A que précédemment, mais de son analogue dans la couche supérieure. Le second « là » pointe la position du nuage de colorant au moment de la transaction (B'). Le médiateur obtient ainsi, non seulement la réponse à la question initiale « est-ce que ça bouge ? », mais aussi la procédure pour le montrer. Il institutionnalise par le geste et la parole : « et là ça continue\ alors ça bouge\ » (Med2, tdp.15).



Photogramme 45: Pointage de la position du colorant à deux instants, dans la couche supérieure

e. *Vers la modélisation*

Un élève le décrit fort justement : « là y-a un espace\ » (E2, tdp. 12). Un autre identifie les deux positions qui prouvent le déplacement : « elle était là/ et elle est là\ » (E3, tdp.14). Entre la perception empirique et directe du mouvement (la voiture bouge) et la construction symbolique d'un déplacement dans l'espace entre deux points, il nous semble voir un processus d'apprentissage, au moins pour certains élèves. Ils semblent faire une relation entre la description en termes d'événement (ça bouge), et le concept d'espace. Nous y voyons le début d'un processus de modélisation, du monde des objets et des événements, au monde des théories et modèles (Tiberghien & Vince, 2005, p. 4). Tiberghien et Malkoun considèrent, après Koyré, que le cadre de pensée de la vie de tous les jours constitue *« une difficulté à la compréhension de la physique. »*

> *Une des différences entre la vie de tous les jours et la physique concerne la nature du mouvement. Dans la vie de tous les jours, l'équivalence entre l'immobilité et le mouvement rectiligne uniforme n'a rien d'évident ; les catégories de base sont « bouge » ou « ne bouge pas ». Alors que pour le physicien elles sont d'une part immobile ou mouvement rectiligne et d'autre part mouvement avec changement de vitesse.* (Tiberghien & Malkoun, 2007, p. 33)

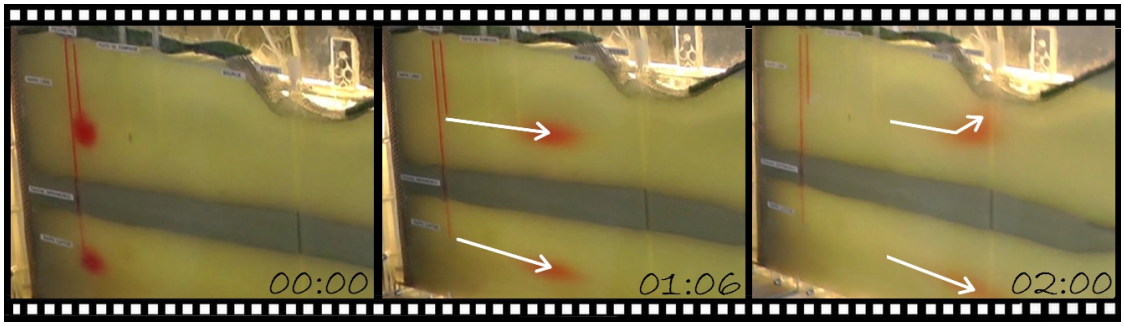
Cette situation de régulation nous paraît également candidate au *modèle précurseur* du

concept de mouvement en mécanique du point[94]. Selon Lemeignan et Weil-Barais, *« les modèles précurseurs comportent un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent. (…) [Ils] constituent ainsi des constructions didactiques conçues pour aider les élèves à accéder aux modèles savants. »* (1993, p. 26).

Cette régulation est heureuse, car elle semble faire avancer le temps didactique. Le modèle du mouvement mis en jeu est adapté aux élèves : il rend accessibles, dans le milieu, les éléments essentiels (nécessaires et contenus dans le modèle scientifique), pour la résolution du problème posé ; y a-t-il un mouvement, et comment peut-on l'observer ? Le médiateur modélise un mouvement imperceptible par une comparaison de positions et un mouvement accéléré de la main, dans un contexte adapté. Il rend consciente la possibilité de percevoir une très petite vitesse en utilisant un intermédiaire.

7.4.2.3 Une question clé pour introduire la relation entre la nappe et la rivière

« L'eau des rivières, elle vient d'où ? » La question est ici posée par les médiateurs après l'observation de la circulation de l'eau dans la nappe, et pendant que le colorant se déplace encore (Photogramme 46, p. 210).



Photogramme 46: Migration du colorant dans la nappe (préparation du stand)

La migration du colorant prend du temps (durée variable selon le débit la pompe). Stratégiquement, il faut articuler le discours et les observations. Med1 l'explicite à ses collègues du collectif, lors de la préparation :

V : ((V injecte du colorant dans la nappe libre)) alors là il faut causer pendant ce temps-là\ sur le fait que ça circule/ que l'eau c'est pas des rivières/

CC : y-a des posters derrière

V : l'important c'est de montrer que les nappes souterraines sont pas des rivières/ et que l'eau/ elle arrive à circuler en passant entre des grains\ donc ça c'est un point SUPER important à faire passer au

94 *« Un mouvement, dans le domaine de la mécanique (physique), est le déplacement d'un corps par rapport à un point fixe de l'espace et à un moment déterminé »* (« Mouvement (mécanique) », 2015).

> niveau du grand public/ et donc là au bout d'un moment/ regardez/ on commence à voir/(.) l'eau dans la nappe est attirée par la rivière\ donc LÀ on met en relation directe la rivière et la nappe (.) moi ce que je faisais/ au moment où on est en train d'attendre/ justement\ avant que ça arrive à la rivière/ je demande\ l'eau de la rivière elle vient d'où/ d'après vous\(.) elle vient de la pluie\ elle vient des montagnes\ ah bon/ vous êtes sûrs/ ça fait dix jours qu'il n'a pas plu et y-a toujours de l'eau dans la rivière\ ben là vous montrez en fait que les nappes soutiennent les rivières et que c'est pour ça que l'été on a encore de l'eau\ (Préparation du stand, « pluie »)

Nous observons une appropriation de cette stratégie par med2 et med3.

« L'eau des rivières, elle vient d'où ? » Les élèves proposent à chaque fois « de la pluie ». Les médiateurs renchérissent alors comme Med1 : « et quand il ne pleut pas ? comment on a encore de l'eau quand il ne pleut pas ? ». L'observation du trajet de l'eau colorée, après ce temps d'échanges, permet de répondre que l'eau souterraine « MONTE vers la rivière\ » (Photogramme 46, p. 210).

Med1 a organisé l'activité autour des connaissances qu'elle a acquises antérieurement lors de l'utilisation de la maquette dans d'autres situations : le public scolaire pense que les rivières ne sont alimentées que par la pluie et l'eau de ruissellement. Elle a construit un schème d'utilisation de la maquette en situation didactique avec public : le temps d'attente du déplacement du colorant dans la nappe peut être mis à profit pour s'interroger sur l'origine de l'eau des rivières.

La plupart des médiateurs du collectif s'approprient ce schème d'utilisation de la maquette et du colorant. Ils ont pu en comprendre la pertinence, lors de la préparation, et dans l'action, en observant la séance de leurs collègues. Le temps de formation préalable à l'événement, et l'observation in situ des médiateurs, semble créer une genèse documentaire pour med2 et med3.

7.4.2.4 Le pompage de l'eau pour son utilisation domestique

La question de la gestion de l'eau par l'homme est introduite par un pompage effectué sur la maquette, dans la nappe libre. Tous les médiateurs utilisent les mêmes ressources : un tube de la maquette, puits de pompage, relié à une pompe, et le colorant qui permet de suivre le trajet de l'eau.

> 1 – Med1 – alors regardez\ on met le pompage en route\ là on aspire l'eau de la nappe\ et d'après vous\ si je recolore l'eau est-ce que l'eau va pouvoir toujours aller jusqu'à la rivière/
> 2 – Es – non

3 – Med1 – vous êtes sûrs/
4 – Es – oui
5 – Med1 – vous êtes sûrs comme ça vous/
6 – E – oui parce que quand elle va passer là ben ça ça va l'aspirer\
7 – Med1 – d'accord\ on fait le test pour être sûrs que vous ayez raison/
8 – Acc – reculez
9 – Med1 – ((injecte du colorant dans la nappe captive)) moi je crois que ce que je vois\ vous me le dites mais je veux qu'on me le prouve\ on regarde l'eau et on va voir si elle arrive à rejoindre la rivière\ (.) attention attention (.) alors/
10 – E – oui oui ça marche
11 – Es – ça marche
12 – Med1-eh oui vous aviez raison\ bravo\ effectivement elle ne va pas pouvoir rejoindre la rivière\ et d'ailleurs regardez bien la rivière\ est-ce qu'elle est toujours comme d'habitude/
13 – Es-non
14 – E-elle se fait aspirer par le machin
15 – Med1-oui\ quand on pompe trop fort les nappes souterraines on assèche les rivières\ faut pas pomper trop fort\ (Med 1 et groupe 4, annexe 32, « pompage »)

Avec son jeu de questions (tdp. 1-5), Med1 met les élèves en situation de faire des hypothèses et d'argumenter. Ils ont précédemment vu l'eau colorée migrer horizontalement et remonter vers la rivière. Le puits de pompage est sur cette trajectoire. L'expérience va confirmer l'hypothèse émise et Med1 formule le résultat (tdp. 12). À partir des éléments du contrat – Med1 sait que les élèves ont précédemment observé la trajectoire horizontale de l'eau dans la nappe –, et à partir des éléments du milieu – le puits de pompage se trouve sur la trajectoire de l'eau colorée –, les élèves sont en mesure de déduire que l'eau colorée va être aspirée par la pompe. Ils mettent les éléments du milieu en relation, à partir d'éléments de savoir précédemment contractualisés.

Elle incite alors les élèves à observer le niveau de la rivière qui a descendu. La question de Med1 (tdp. 12) est une expression qui oriente l'attention des élèves vers le milieu. Elle est doublée d'une réticence à décrire et expliquer elle-même. Un élève propose une explication que Med1 valide et institue (tdp. 15). Des élèves font avancer les savoirs que l'hydrogéologue reformule pour les instituer. Notons que Med1 attribue à la maquette un rôle spécifique : « on fait le test pour être sûrs » (tdp. 7). Avec le groupe 4 , à la fin de l'expérimentation de la circulation de l'eau dans la maquette, elle annonce « là on l'a prouvé\ l'eau circule\ ». Elle exprime clairement aux élèves le rôle de « preuve » du modèle.

Nous avons observé ce jeu d'apprentissage mené par d'autres médiateurs. Les gestes sont les

mêmes, mais les phénomènes sont désignés au fur et à mesure qu'ils sont visibles, voire par anticipation. La dialectique réticence-expression est inversée.

1 – Med2 – l'eau qui est là va remonter dans le tuyau\ (.) et il a aspiré tellement fort que regardez\ est-ce qu'il reste de l'eau dans la rivière/
2 – Es – non
3 – Med2 – l'eau de la rivière elle est partie complètement\ (Med 2 et groupe 2, «aspirer»)

Le médiateur 2 ne manifeste pas d'orientation vers le milieu, il montre le résultat sans que les élèves ne prennent en charge une partie du raisonnement. C'est le médiateur qui met en relation les éléments du milieu.

7.4.2.5 Une conclusion de séance sur la pollution

L'évocation de la pollution a été présentée comme une possibilité lors de la préparation. Aussi, selon les médiateurs, ce thème prend plus ou moins d'importance et des formes différentes.

A. Une évocation éphémère pendant le pompage

Med3 évoque la pollution au moment du pompage dans la nappe. Elle opère une bifurcation en montrant l'eau colorée qui fait rougir le tuyau de pompage : «par contre si y-a une pollution/ par exemple/ si ce que j'ai mis en rouge est un produit chimique/ une pollution/ et ben on va la pomper aussi/ quand on va prendre l'eau\ d'accord/» (Med 3, groupe 3, «produit chimique») Et elle poursuit avec la description du pompage excessif qui assèche la rivière. L'eau polluée est montrée, mais de façon ponctuelle, au moment de son passage dans le tuyau. Le milieu témoigne de ce pompage d'eau colorée, mais de façon éphémère.

B. Un problème majeur soulevé en fin d'épisode

Med1 choisit d'aborder la pollution en lui réservant une place privilégiée.

1 – Med1 – alors\ si on sort un peu de la maquette/ cette couleur rouge/ ça peut être aussi ce qu'on appelle des POLLUANTS\ est-ce que vous voyez ce que c'est des POLLUANTS/
2 – Es – non\
3 – Med1 – non/ c'est des CHOSES\ qui\ si on les BOIT/ ne sont pas bonnes pour la santé\ quand on est sur le sol/ on vous dit faut pas jeter les papiers/ faut pas vider de l'huile ou autre sur le sol/ parce que le risque c'est que du SOL/ ((Med1 pointe le sol de la maquette)) comme le colorant/ c'est que le polluant passe dans les nappes/ ((le doigt passe verticalement du sol à la nappe)) et que ça rejoigne les rivières ((déplacement horizontal de son doigt vers la

rivière)) et que ça les salisse ou que ça rejoigne les puits de pompage ((le doigt pointe les puits de pompage)) et donc l'eau du robinet\ donc il faut faire TRES attention à ce qu'on met le sol car ça risque de rejoindre les eaux souterraines/ les rivières/ ou l'eau du robinet\

4 – E – et après c'est pas bon\

5 – E – après c'est pas bon à boire\

6 – Med1 – voilà\ après on ne pourra plus la boire il faut faire attention à ne pas mettre trop de choses/ et puis on a besoin de boire de l'eau\ (Med 1 et groupe 1, annexe 29 «polluant»)

Med1 termine son exposé en ramenant le discours sur la vie quotidienne, avec un problème sociétal. Le terme *polluant* n'est cependant pas un concept connu des élèves, et elle en donne une définition qui touche non seulement l'environnement, mais aussi la santé des enfants. Elle illustre son discours sur la pollution dans la nature, par le déplacement de son doigt sur la maquette, comme pour mimer le trajet de l'eau colorée observé auparavant. Et deux élèves achèvent le raisonnement (tdp. 4-5).

Dans le jeu d'apprentissage qui lui permet de conclure, Med1 a une position topogénétique haute. C'est elle qui fait avancer les savoirs. Les éléments qu'elle met dans le milieu sont discursifs, symboliques. Elle s'appuie également sur la mémoire de ce qui a été observé plus tôt. Matheron et Salin parlent de *pratiques ostensives* du *« professeur qui reste maître de la mémoire institutionnelle dont il réorganise publiquement les souvenirs »* (2002, p. 64). Med1 rappelle, avec un geste de la main sur la paroi de la maquette, l'infiltration dans le sol, puis dans la nappe, la circulation de l'eau dans le sous-sol, le lien avec la rivière et son aspiration par le tuyau de pompage.

C. Genèse d'un nouveau document

Illustration 90 : Comparaison de l'eau limpide avec de l'eau colorée/polluée (samedi)

À l'issue de la journée réservée aux groupes scolaires, les médiateurs discutent de la nécessité de conserver le résultat du pompage de l'eau colorée. Ils veulent prendre le temps de comparer l'eau issue du pompage pollué avec un échantillon d'eau limpide prélevé dans la même nappe avant la pollution (Illustration 90). Dans le dispositif initial, le tuyau du puits de pompage disparaît derrière la maquette où se trouve la pompe et le bassin qui récupère l'eau sale. Dès le lendemain, les médiateurs remplacent le bassin par une petite bouteille qu'ils placent, au moment opportun, à l'avant de la maquette. Le public peut ainsi voir l'eau censée être destinée à la consommation,

artificiellement colorée/polluée. Trois ans après notre enquête, lors d'une rencontre informelle, nous apprenons qu'une bouteille d'eau minérale (de Plancoët) fait désormais partie du système de ressources associé à la maquette 1.

Un schème d'utilisation des puits de pompage de la maquette se construit au fil des séances. Le collectif fait évoluer le document entre deux séances. Il enrichit le milieu pour donner à voir un nouvel élément, mais aussi pour avoir le temps d'en parler. Dans un nouveau schème, ils combinent la ressource « eau de captage polluée » à la ressource « temps » dont ils ont besoin pour exploiter la première. La bouteille d'eau sert de témoin d'eau non polluée, et permet d'évoquer les résultats de leur projet de recherche sur le site de captation de Plancoët (7.1.1.2 A. , p. 166). L'activité de recherche amène un enrichissement de l'activité de diffusion scientifique.

7.5 Eaux souterraines : éléments de discussion sur les situations analysées

Nous apportons, dans cette section, des éléments d'interprétation aux analyses des différentes situations précédemment étudiées. Nous décrivons la maquette 1 comme un système sémiotique complexe (7.5.1 , p. 215), puis nous caractérisons les actions didactiques des médiateurs avec la dialectique expression / réticence (7.5.2 , p. 217). Nous décrivons ensuite les positions topogénétiques évolutives des médiateurs (7.5.3 , p. 218), avant de développer notre interprétation des genèses documentaires engagées dans cet événement (7.5.4 , p. 220).

7.5.1 Un système sémiotique complexe

La maquette est considérée, par les hydrogéologues, comme une maquette analogique de la circulation des eaux souterraines qu'ils étudient sur le terrain. La relation maquette/terrain est complexe, car la maquette comporte plusieurs modèles. La référence au terrain n'est pas seulement la correspondance des objets de la maquette avec les objets du terrain, c'est aussi la référence à la pratique d'hydrogéologues. Les modes opératoires avec la maquette correspondent aux modes opératoires, à une autre échelle, des hydrogéologues dans leur activité professionnelle.

L'action des médiateurs vise à montrer les relations qui existent entre les caractéristiques du modèle et celles du terrain. Cependant, rapportée à un espace derrière une paroi de plexiglas, l'expression « sous nos pieds » est loin d'être triviale pour les élèves. Plusieurs élèves observés lors de ces médiations évoquent la nécessité de creuser, si nous voulons voir ce qu'il

se passe sous nos pieds. Ils parlent de tunnels ou de pelles. *« La profondeur et l'inaccessibilité »* d'une part, et *« les problèmes d'échelle »* d'autre part sont des difficultés pour les élèves (Allain, 1995, p. 56). Nous pensons que la lecture et l'interprétation de coupes de terrain sous la forme de maquettes, et, à la fin de la séance, le légendage d'un schéma, sont des enjeux de la séance pour ces jeunes élèves (Santini, 2010), des objectifs de séquence à anticiper.

Dans la nappe inférieure, l'eau colorée migre horizontalement jusqu'au bord de la maquette. Lors de leur première médiation, les trois médiateurs essaient de faire comprendre aux élèves que, « dans la réalité », cette eau chemine jusqu'à la mer. Les réactions des élèves montrent des difficultés à comprendre la relation entre la maquette et le terrain. La remarque d'une élève incrédule résume l'incompréhension et le quiproquo : « ben en VRAI/ la grenadine ((le colorant rouge injecté dans la maquette)) elle va pas sortir dans la mer/ ». (Med 2 et groupe 2, « mer ») Les médiateurs renoncent à évoquer ce « prolongement » non représenté de la maquette dans les médiations suivantes. En effet, certains élèves voient dans la maquette, non seulement l'espace de circulation de l'eau derrière le plexiglas, mais aussi les tuyaux qui entrent et sortent du cadre, avec les robinets. Les connaisseurs de ce type de représentation identifient où commence et où finit le système sémiotique. Ce n'est pas le cas de tous les élèves pour qui la ressource n'est pas *transparente* (Adler, 2010). Aux objectifs d'apprentissages annoncés, s'ajoute l'approche de la lecture du système sémiotique de la maquette. C'est la condition pour entrer dans le jeu de la maquette, que Sensevy et Santini appellent *la représentation publique du phénomène étudié*.

> *Faire des sciences, c'est nécessairement déchiffrer des systèmes de signes en ayant compris la relation instaurée entre les capacités et comportements agissant sur et dans les instruments et ces systèmes de signes. Penser un dispositif didactique, c'est donc nécessairement penser aussi un système de signes (de symbolisation) et le rapport à construire entre ce système de signes et l'instrument dont il rend compte.* (Sensevy & Santini, 2006, p. 184)

La maquette du village des sciences n'est pas celle de la vidéo ou celle présentée lors de la préparation du stand. Elle comporte des éléments supplémentaires : les animaux de la ferme. Dans notre analyse didactique, nous déchiffrons cette présence comme un signe permettant de voir la coupe de terrain. Dans ce sens, la figurine d'un footballeur aurait le même rôle. La présence du cochon, dans le contexte local, suggère aussi les pollutions anthropiques dans les élevages intensifs mal contrôlés. Le public non scolaire des samedi et dimanche, traduit la présence des animaux en fonction de ses savoirs :

Visiteur : les animaux c'est pour montrer que les déjections vont

directement dans la nappe libre ?
Med2 : Voilà, exactement.

La traduction du système sémiotique est multiple : le cochon n'est pas nécessaire pour comprendre la circulation des eaux souterraines. La figurine n'est pas sur la maquette lors du tournage de la vidéo (Espace des sciences, 2013c). Le cochon, avec les groupes scolaires, joue un rôle didactique pour comprendre le système sémiotique de la coupe de terrain. Le cochon est un « trait-d'union » avec le public, une façon de convoquer des pratiques sociales et de les combiner avec des pratiques scientifiques.

7.5.2 Expression ou réticence comme stratégies didactiques

Les médiateurs prennent appui sur une maquette. Cependant, elle n'est pas toujours le milieu qui informe, en premier lieu, sur la validité des propositions. Elle est, tour à tour, plutôt un instrument de monstration ou plutôt un instrument d'expérimentation, selon l'équilibre réticence-expression propre aux stratégies didactiques des médiateurs.

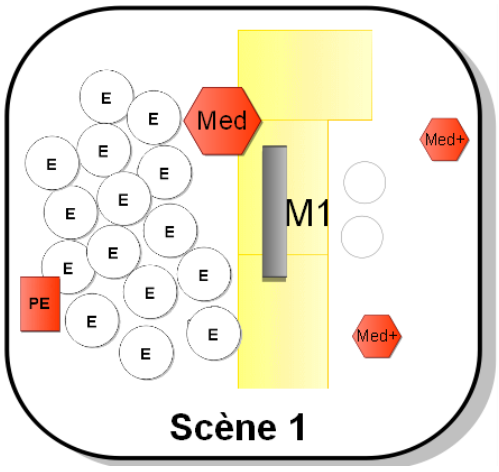
Nous observons deux stratégies principales. Med2 et Med3 disent et montrent. Ils proposent une traduction du système sémiotique, ils font regarder la maquette pour elle-même dans un premier temps. Ensuite, ils font des relations avec le terrain. Nous observons, dans ce cas, une expression directe des connaissances à acquérir, avec donc peu de réticence sur ces connaissances. Med1, en revanche, engage les élèves dans des observations directes avec un double discours sur la maquette et parallèlement sur ce que les objets et les actions représentent sur le terrain. Med1 dévolue plus souvent les problèmes et l'expression de solutions aux élèves. Elle montre une réticence à donner directement les résultats aux élèves. Elle préfère les exposer aux problèmes et les laisser découvrir les relations signifiantes. Elle a un usage plus important d'une expression orientée vers le milieu, vers l'étude du problème, avec une réticence forte sur les connaissances à acquérir

Les différences principales entre les trois médiations viennent du type d'équilibre produit entre l'expression et la réticence : ou bien le médiateur demande aux élèves de s'engager dans des hypothèses avant d'observer les résultats ou bien il ne le fait pas ; ou bien les élèves trouvent les réponses dans le milieu ou bien le médiateur prend à sa charge les descriptions *phénoménographiques* (Bachelard, 2011).

7.5.3 Positions topogénétiques des médiateurs et des PE

Lors des médiations observées sur ce stand, nous différencions deux situations. Celle observées sur les scènes 1 et 2, où un médiateur prend seul en charge le groupe d'élèves. Puis, celle observée sur la scène 3, où les élèves sont pris en charge par l'ensemble des adultes du pôle « professeur » présents lors des transactions sur les scènes 1 et 2.

7.5.3.1 Une situation propice à l'observation



Plateau_de_jeu 8: Scène 1 avec la maquette 1

Lors des médiations sur la scène 1, avec la maquette1 (Plateau_de_jeu 8, p. 218), nous observons la position topogénétique haute exclusive du médiateur qui a en charge le groupe.

Les médiateurs surnuméraires restent en dehors des transactions, sauf pour des aides matérielles très ponctuelles (Illustration 91, p. 219). Ils observent les stratégies du médiateur qui prend en charge le groupe et les réactions des élèves, sans intervenir. Med3, médiatrice surnuméraire lors des deux premières médiations, observe ses collègues agir, et prend des idées sous la forme de « bonnes images qui parlent ».

F : Petit à petit j'en ai ajouté en entendant les autres. L'idée de la paille, aussi((utilisée par Med2 pour expliquer la pompe)). Il faut qu'ils puissent raccrocher à des choses qu'ils connaissent ! Les puits aussi, qu'ils peuvent avoir chez leurs grands parents. Ça parle mieux, s'ils connaissent. L'idée de parler de l'eau dans une éponge plus que dans un tuyau, ça ressemble plus à ça, l'endroit où l'eau circule. C'est vrai que dans une éponge on la voit pas, mais y-en a bien de l'eau. (Flora, Med3, entretien rétrospectif)

Med3 semble agir ensuite sur un « modèle d'imitation ». Le mimétisme n'est cependant pas aveugle. Med3 semble avoir un *invariant opératoire* : « il faut qu'ils ((les élèves)) puissent raccrocher ((ce que je leur montre sur la maquette)) à des choses qu'ils connaissent ». En situation d'observation, elle puise, dans le milieu, des éléments de savoir qui coïncident avec ses connaissances à propos du public et qu'elle va utiliser lors de ses médiations futures. Elle fait des *régulations* qui nous paraissent *proactives*, selon Coulet (2010, p. 185). En effet, elle régule le schème développé lors de la préparation de l'événement.

Nous notons que les « bonnes idées » adoptées par Flora relèvent de l'utilisation d'images familières. Le milieu souterrain analogue à de l'*éponge*, rejoint l'exemple d'un obstacle emblématique de la pensée scientifique pour Bachelard. Il caractérise ainsi, *« comme obstacles de la pensée scientifique, des habitudes toutes verbales »* (1938/2011, p. 89). L'idée de l'eau contenue dans le milieu poreux est ici opposée à celle d'une eau circulant librement dans un tuyau, une image erronée très répandue. Elle est associée à la modélisation du milieu et à diverses simulations.

Les PE observées glissent en position topogénétique haute pour accompagner les médiateurs dans l'installation des élèves, et intervenir pour réguler des comportements inadaptés. Sinon, elles restent en position de *recul* (6.5.7, p. 159), prennent des photos et observent leurs élèves en situation d'apprentissage. *« Ainsi la présence du maître vaut d'abord comme engagement aux côtés de l'intervenant ; elle ne se confond pas avec son intervention effective pendant les séances »* (Garnier, 2003, p. 96).

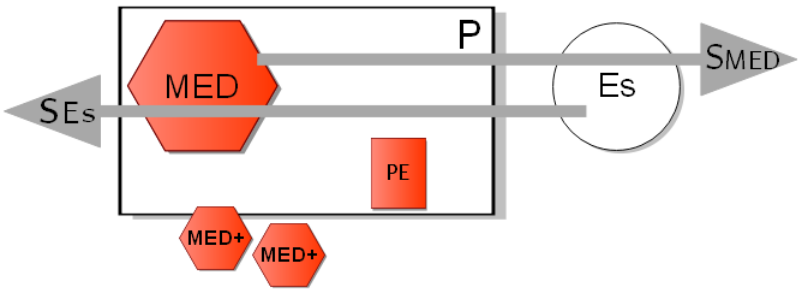


Illustration 91: Position haute du médiateur et observation des élèves en situation d'apprentissage

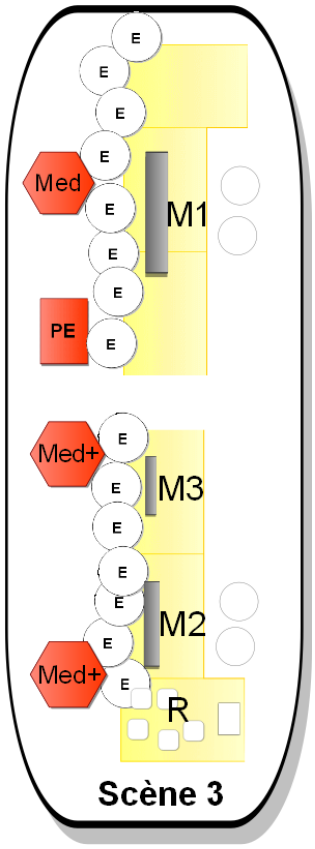
Lors de l'entretien préalable à la visite sur le stand, les PE nous expliquent qu'elles n'interviennent généralement pas pendant ce type de sorties : « ce sont eux les spécialistes » (Brigitte, entretien préalable). Elles confient leur classe à l'intervenant, tout en étant présentes. Cette présence relève de leur responsabilité[95] institutionnelle, mais elles l'expliquent également pour les aspects formatifs de la situation : ce qu'elles apprennent sur le thème du stand, les stratégies du médiateur, les idées de ressources, et sur leurs élèves. Nous retrouvons ici la position de recul de la PE sur le stand des « Os et articulations » (6.5.7 , p. 159).

95 *« La responsabilité pédagogique de l'organisation des activités scolaires incombe à l'enseignant titulaire de la classe »* (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992) *« Il en assure la mise en œuvre par sa participation et sa présence effective »* (ibid.).

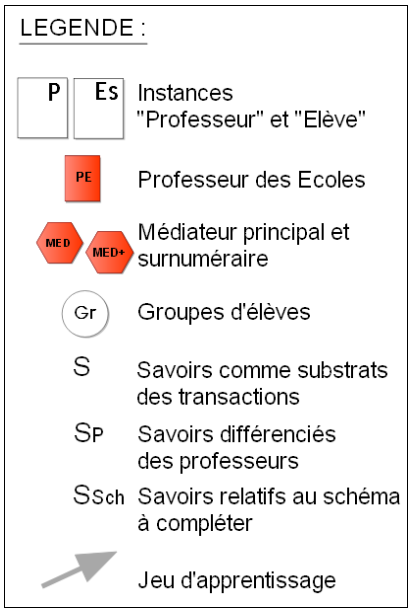
7.5.3.2 Des transactions parallèles avec un savoir ciblé commun

Sur ce stand, la séance se termine (scène 3, Plateau_de_jeu 9, p. 220) par un moment d'écriture, complétion d'un schéma fourni par les médiateurs (annexe 26). Le schéma représente les maquettes 1 et 3. Les élèves doivent y reporter le nom des éléments de la coupe de terrain, et formuler les phénomènes observés. Les élèves se répartissent devant la table d'exposition, regroupés autour du médiateur, des médiateurs surnuméraires et de la PE.

Les savoirs ciblés correspondent à ceux qui sont portés par le schéma à compléter (Ssch), l'objectif de l'instance « professeur » est commun (Illustration 92, p. 220). Cependant, les adultes circulent d'un groupe à l'autre ; leurs transactions correspondent à l'objectif de complétion du schéma, et à leurs connaissances propres, elles sont probablement différenciées.



Plateau_de_jeu 9: Scène 3 avec le schéma



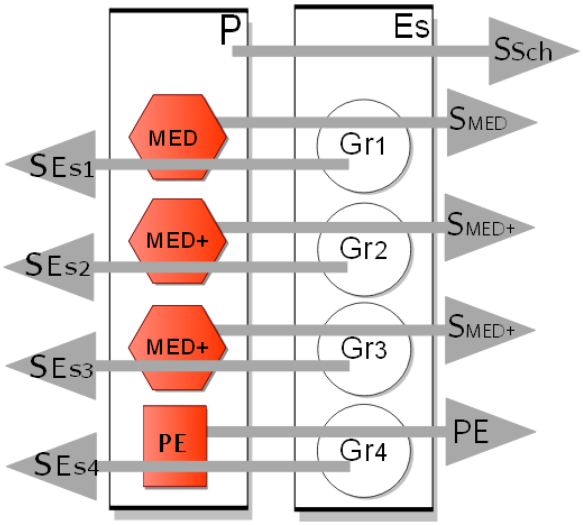


Illustration 92: Transactions parallèles avec savoir ciblé commun

7.5.4 Genèse documentaire

Nous nous interrogeons sur les genèses documentaires des hydrogéologues médiateurs.

La maquette principale du stand est issue d'une nécessité des hydrogéologues du laboratoire de montrer leur activité au quotidien : ils interagissent avec les eaux souterraines.

L'idée de l'artefact est trouvée sur le catalogue de matériel didactique américain. La maquette est une coupe de terrain. Elle comprend la coupe du sol, avec une rivière, des piézomètres et des puits de pompage ; la coupe d'un sous-sol, aquifère poreux où l'expérimentateur peut injecter de l'eau dans une nappe libre et une nappe souterraine séparées par une couche imperméable. La maquette (M1) est construite avec les matériaux en usage dans les salles d'expérimentation (plexiglas et billes de verre).

En dix ans, la maquette évolue techniquement : le système de circulation de l'eau en circuit fermé avec une seule pompe est remplacé par un système qui permet de régénérer l'eau avant de la réinjecter dans la maquette. Les utilisateurs successifs la font évoluer didactiquement avec des accessoires qui sont posés à la surface : animaux de la ferme, puits, tracteur. En dix ans, elle est aussi déclinée en deux autres maquettes. Une doctorante qui quitte le laboratoire après sa thèse construit, pour son activité professionnelle, une maquette analogue (M3), non interactive, mais portable et plus proche de la réalité matérielle (gravillons à la place des billes de verre). Plus tard, une équipe de doctorants conçoit, dans le cadre d'un projet inclus dans la formation, une maquette représentant le sous-sol breton (M2), un modèle de la circulation des eaux souterraines dans un aquifère de socle fissuré.

Les maquettes sont utilisées pour didactiser, en direction d'un public non connaisseur, la circulation des eaux souterraines, et le métier d'hydrogéologue sur le terrain. Dans le cas que nous étudions, en 2013, des hydrogéologues sont eux-mêmes les médiateurs au village des sciences.

Pendant la préparation de l'événement, les hydrogéologues futurs médiateurs apprennent à mettre en eau les maquettes et à faire les réglages qui permettent de montrer les phénomènes pour lesquels elle ont été conçues. L'approche est phénoménotechnique. Puis, les maquettes sont utilisées en tant que modèles analogiques, dans la mesure où elles permettent de simuler, dans un milieu analogue au milieu de référence, des gestes du médiateur analogues aux gestes de l'hydrogéologue, et d'obtenir, dans la maquette, des phénomènes analogues à ceux observés sur le terrain. Les phénomènes décrits à partir des maquettes sont des éléments de savoir, d'une part, qui appartiennent à un arrière-plan commun des hydrogéologues ; et d'autre part, qui constituent les savoirs essentiels « à faire passer » au public. Ils constituent ainsi le jeu épistémique cible, l'arrière-plan commun attendu des visiteurs à l'issue des médiations. La préparation des hydrogéologues, futurs médiateurs sur le stand, est aussi constituée de témoignages et de conseils. Ceux d'entre eux qui ont déjà utilisé les maquettes

avec un public de non-connaisseurs expriment des éléments de savoir sur les réactions habituelles du public et discutent du langage approprié. Les hydrogéologues futurs médiateurs commencent à développer des schèmes d'usage des maquettes lors de la préparation.

Selon son expérience, son activité, sa fonction dans son institution et les projets auxquels chaque hydrogéologue participe, il associe des éléments de savoir supplémentaires aux schèmes d'usage des maquettes.

Au village des sciences, les groupes sont pris en charge par un seul médiateur à la fois. Les hydrogéologues ayant déjà utilisé les maquettes sont les premiers à opérer. Les médiateurs surnuméraires sont observateurs. Ils opèrent des *régulations proactives* lors des médiations de leurs pairs, voire *rétroactives* (Coulet, 2010, p. 185) au fil des médiations que chacun réalise dans la journée. En situation de médiation, nous observons deux processus principaux :

- un « modèle d'imitation » des éléments présentés lors de la préparation et des médiations précédentes : les médiateurs reprennent les éléments de savoir « essentiels à faire passer », jeu épistémique ciblé comme arrière plan commun, mais aussi le déroulement proposé, jusqu'aux gestes et jeux de langages associés ;
- une dynamique collective de modification des ressources, quand un problème est identifié et qu'une solution est trouvée : par exemple, un échantillon d'eau colorée (polluée) est conservé pour le comparer en fin de séance à un échantillon témoin non pollué.

Avec un recul de trois années, nous observons que l'évolution opérée lors de notre étude est aujourd'hui intégrée dans l'usage habituel de la maquette. L'échantillon témoin d'eau non polluée est devenu, symboliquement, une bouteille d'eau de Plancoët.

7.6 Eaux souterraines en bref

Ce chapitre analyse principalement deux processus : la genèse documentaire des hydrogéologues médiateurs, et la didactisation de leurs pratiques de savoir pour un public non connaisseur.

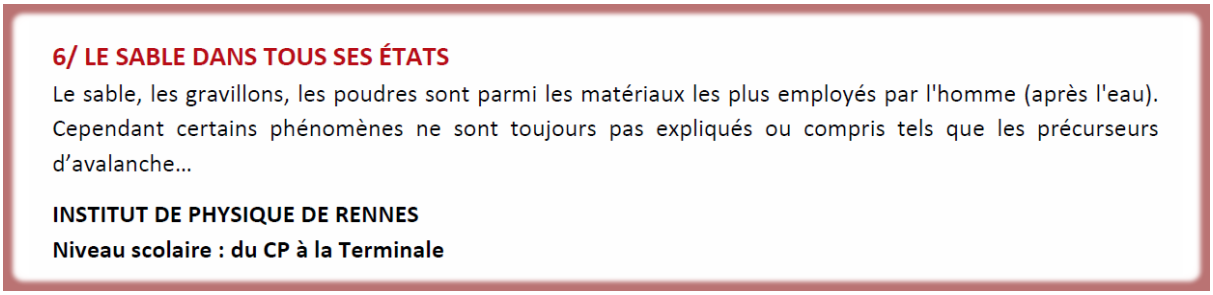
Les schèmes d'usage des ressources sont développés lors d'expériences de didactisations antérieures, pendant la préparation dans le collectif, et pendant l'observation des pairs. Par ailleurs, nous avons identifié au moins un schème d'utilisation de la maquette construit en situation par le collectif, et adopté par les médiateurs individuellement.

Les séances menées par les trois médiateurs ont peu ou prou le même enjeu épistémique. Nous observons effectivement des jeux d'apprentissage avec les mêmes enjeux de savoirs autour des manipulations principales. Ces phases de jeu correspondent à l'utilisation des modèles présents dans la maquette. Les éléments de savoir sont comme matérialisés dans les ressources que les médiateurs utilisent. Bachelard parle d'instruments comme *« théories matérialisées »* :

> *il faut que le phénomène soit trié, filtré, épuré, coulé dans le moule des instruments, produit sur le plan des instruments. Or les instruments ne sont que des théories matérialisées. Il en sort des phénomènes qui portent de toutes parts la marque théorique » (Bachelard, 1934, introduction)*.

Les maquettes contiennent, sous la forme de modèles, des éléments de savoir que les médiateurs ont en commun et qu'ils partagent avec le public. Cependant, nous avons identifié des variantes. Dans l'introduction de sa séance, avant d'utiliser la maquette, Med2 commence par décrypter le système sémiotique, pour les élèves. Med1, tant qu'à elle, focalise la conclusion de sa séance sur le transport des polluants dans les eaux souterraines. Ces différences semblent relever d'un invariant opératoire du schème, une connaissance du médiateur sur les besoins ou les intérêts de leur public.

Chapitre 8 - Le sable dans tous ses états


6/ LE SABLE DANS TOUS SES ÉTATS

Le sable, les gravillons, les poudres sont parmi les matériaux les plus employés par l'homme (après l'eau). Cependant certains phénomènes ne sont toujours pas expliqués ou compris tels que les précurseurs d'avalanche…

INSTITUT DE PHYSIQUE DE RENNES

Niveau scolaire : du CP à la Terminale

Illustration 93: Annonce du stand « Le sable dans tous ses états » dans le programme scolaire du village des sciences 2013

Le stand sur lequel nous enquêtons, « Le sable dans tous ses états », est proposé par le département Milieux Divisés de l'Institut de Physique de Rennes (IPR), une unité mixte de recherche (UMR) Rennes1 – CNRS. Cinq doctorants et trois enseignants chercheurs se succèdent sur le stand pendant les trois jours d'ouverture du village des sciences (Illustration 93, p. 225). Cette même année (2013), trois autres départements de l'IPR sont représentés au village des sciences avec les stands « Un monde infrarouge », « La photonique et ses applications », « Voyage au cœur de la matière : le monde à échelle nano ».

Dans ce chapitre, nous commençons par (8.1 , p. 225) présenter, dans leur contexte de recherche, les doctorants en physique qui ont accepté de participer à notre étude. Nous précisons ensuite (8.2 , p. 261) comment le stand est préparé pour le village des sciences. Nous focalisons notre étude sur les enjeux épistémiques et épistémologiques d'un des thèmes présentés : les sables mouvants (8.3, p. 275). Enfin, nous décrivons et analysons des épisodes de médiation sur cet objet, pour un public non scolaire, à partir les jeux d'apprentissage filmés sur le stand (8.4 , p. 310). Enfin, nous faisons une brève synthèse du chapitre (8.5, p. 355).

8.1 Les médiateurs du stand, leur contexte habituel de travail et un exercice de communication

L'Institut de Physique de Rennes (IPR) affirme sa volonté de communication sur son activité

et ses résultats de recherche. Selon le public concerné ou visé, selon le contexte, la didactisation des objets prend des formes différentes, sur le site internet du laboratoire, dans ses locaux ou à l'extérieur.

La visite des salles de manip est un exercice de communication fréquent de l'institut de physique. Le terme *manip* est l'abréviation de "manipulation", employé dans le laboratoire pour désigner le montage matériel associé à l'expérience scientifique menée. Un enseignant chercheur (EC) du laboratoire nous dit : « MANIP\ on utilise ça pour des montages de recherche » (tdp. 55), et Duran, directeur de recherche au CNRS, justifie l'emploi de ce terme dans sa description des pratiques de laboratoire : *« C'est un néologisme, mais il a le mérite de mettre le lecteur dans l'ambiance »* (2003, p. 8). Nous adoptons ce terme et ce qu'il véhicule dans les pratiques de laboratoire observées.

> EC : alors\ l'EXPérience/ pour moi c'est le fait d'utiliser le montage à une fin de compréhension ou d'explication\ c'est plutôt une ACTION la notion d'expérience/ c'est l'idée qu'on fait quelque chose avec le matériel/ à visée/ soit pédagogique/ pour nous/ pour comprendre ce qui se passe/ ou pour les autres\ (EC, entretien sur le stand de l'IPR, annexe 45, « montage »)

Ces visites sont une modalité pour donner à voir les recherches menées dans le laboratoire et les méthodologies utilisées. En effet, des chercheurs d'autres laboratoires passent régulièrement faire des visites, en marge de communications dans des séminaires locaux. Il s'agit aussi de valoriser l'activité du laboratoire, en accueillant de potentiels futurs partenaires intéressés par des applications (annexe 44). D'autres visiteurs habituels sont des collégiens, des lycéens, des étudiants en Licence ou Master, en vue de leur future orientation.

Notre étude de terrain ethnographique (Latour & Woolgar, 1988) commence donc par notre participation à une activité ordinaire organisée par nos enquêtés. Au fil de nos visites et des relations que nous créons, nous avons également accès à des phases d'expérimentations ou de traitement des données. Nous partageons des moments de convivialité suite aux soutenances de thèses. Nous échangeons avec des membres permanents du laboratoire. *Wayfarer* (Ingold, 2011b/2007), nous faisons un bout de chemin avec l'équipe de chercheurs.

Notre étude commence sur les lieux de travail de physiciens des granulaires, auprès des mêmes doctorants que nous filmons ensuite au village des sciences. Nous présentons l'objet de travail des quatre doctorants sur lesquels nous enquêtons. Il ne s'agit pas de faire des portraits selon des schémas identiques pour chacun. Nous choisissons de donner à notre lecteur une vue du contexte de travail des enquêtés, de leurs intentions et de leurs productions.

Les quatre doctorants sur lesquels nous enquêtons étudient les milieux granulaires. Lucie, Mickaël et Thao, dans le département Milieux Divisés, mènent des recherches sur les écoulements de grains qui se produisent dans un empilement, soit sous l'effet de la pesanteur (avalanches) soit sous l'action d'un fluide (air ou eau, comme dans le cas du transport de sédiments ou de la formation des dunes). Antoine, dans le département Matière Molle, étudie le phénomène physique du cisaillement dans les milieux compactés : le processus d'apparition de fissures. Ils nous accueillent dans leur bureau et leur salle de manip, le lieu où se trouve leur dispositif expérimental. En effet, les quatre doctorants travaillent avec des méthodologies expérimentales.

Le cas de Mickaël est plus largement décrit que celui des autres doctorants. En effet, il achève sa thèse peu de temps après notre arrivée, et est le plus disponible. Puis, nous faisons le portrait de Lucie qui est la seule, en plus de sa recherche expérimentale, à consacrer une partie de sa thèse à de la recherche théorique et à de la simulation numérique. Nous brossons plus rapidement les portraits de Thao et d'Antoine, non pas par manque d'intérêt pour leurs travaux, mais pour ne pas engager davantage notre lecteur dans un effort de compréhension des problématiques scientifiques de chacun des physiciens

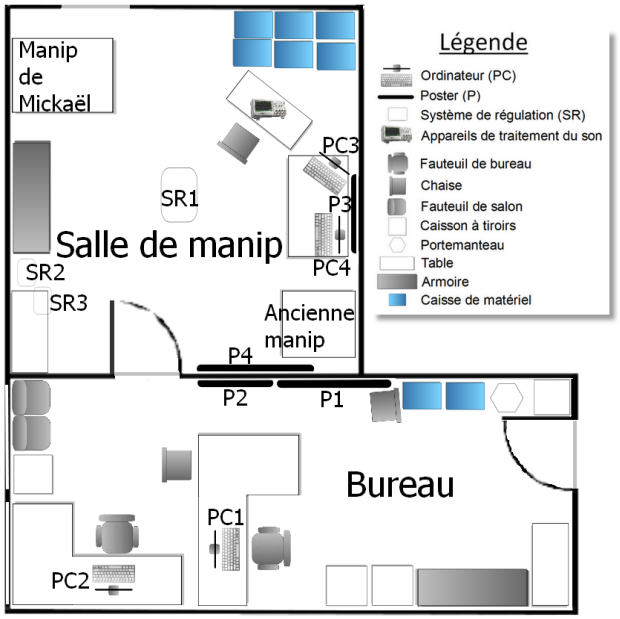
8.1.1 Mickaël déclenche des avalanches (étude de cas)

Dans un premier temps, nous décrivons la visite de la salle de manip de Mickaël (8.1.1.1). Ensuite, nous menons des analyses de natures différentes : une analyse didactique mésoscopique (8.1.1.2) suivie d'une analyse plus microscopique basée sur une modélisation de la situation (8.1.1.3), puis une analyse épistémologique (8.1.1.4) et enfin une analyse discursive (8.1.1.5).

8.1.1.1 Description de la situation

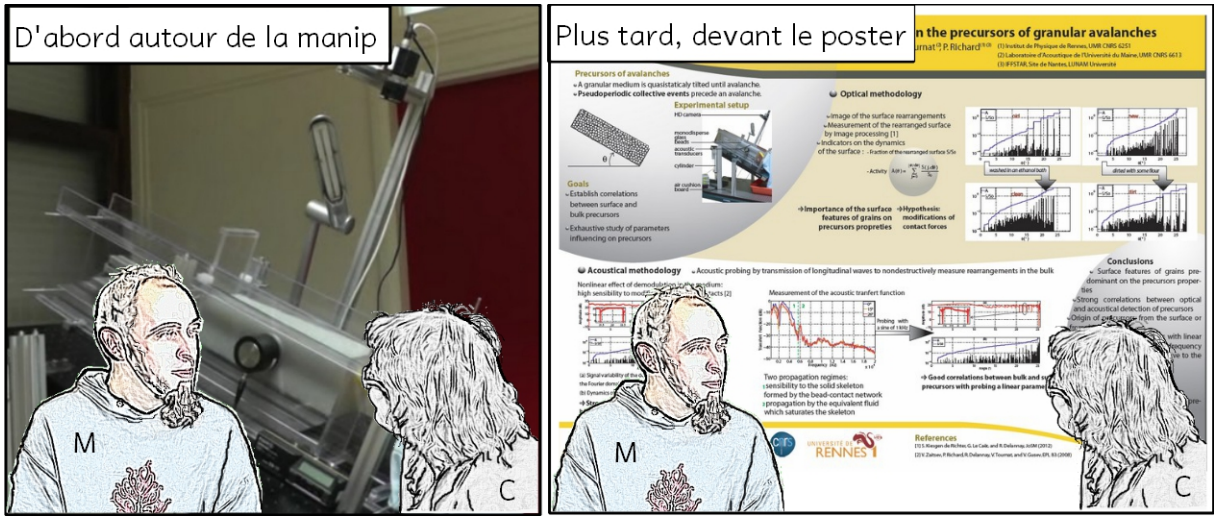
Nous faisons connaissance avec Mickaël une semaine avant la visite de sa salle de manip, lors de la préparation d'un stand pour la Fête de la science. Il nous accueille dans le bureau qu'il partage avec un autre doctorant (Plateau_de_jeu 10, p. 228). Sa salle de manip est contiguë. Les volets y sont fermés, la luminosité est contrôlée pour les expériences. Mickaël allume les néons et nous laisse découvrir l'environnement. Il répond volontiers à nos questions concernant cet espace et ses trois années de doctorat. Il nous mène devant sa manip, puis, immédiatement après, devant son poster (P4).

Nous relatons ces deux épisodes de la visite (Photogramme 47, p. 228) que le chercheur décrit postérieurement comme incontournables : « déjà j'emmène la personne le plus près possible de l'expérience (…) j'ai le poster à côté qui me sert beaucoup à montrer les courbes, voilà » (Mickaël, entretien rétrospectif, annexe 53, « manip »). Il est rodé à la présentation de ces deux artefacts. Nous l'interrompons peu. Nous nous exprimons essentiellement par des acquiescements.



Plateau_de_jeu 10: Espaces de travail de Mickaël

Nous ne les rapportons pas dans les transcripts de cette étude, mais ils sont essentiels à notre guide pour la poursuite de la visite. Ils lui indiquent notre compréhension et l'invitent à poursuivre.



Photogramme 47: Le chercheur (M) et la visiteuse (C), la manip et le poster

A. Le dispositif expérimental, la manip

Nous découvrons le montage expérimental réel de la recherche de Mickaël. Il a mis dix mois à mettre au point sa manip. Il étudie les *avalanches*. Il ne s'agit pas ici de coulées catastrophiques de neige, mais d'écoulements de micro billes à la surface d'une boîte qu'il incline lentement. Un sac de toile est accroché à l'issue de la pente, pour récupérer les billes emportées par l'avalanche. L'expérience n'est pas mise en route pour les visiteurs, mais le dispositif est resté tel qu'il était à l'issue de la dernière manip. Par ailleurs, la matière

granulaire, est suffisamment visible pour comprendre le phénomène étudié (Illustration 94, p. 229).

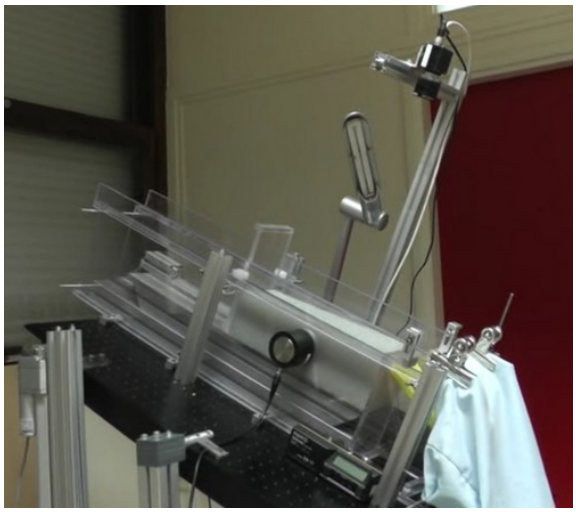


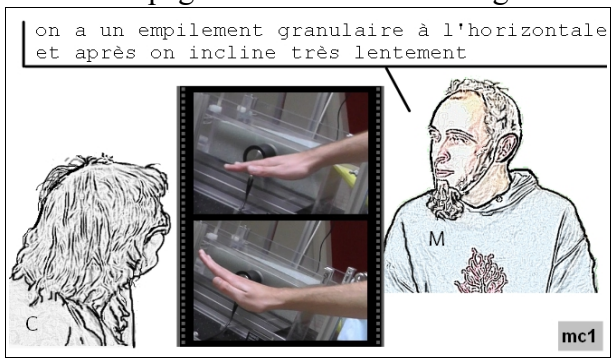
Illustration 94: La manip de Mickaël, un banc de précurseurs d'avalanches

Le visiteur connaisseur peut repérer les transducteurs et la table à coussin d'air, le vérin et le type de granulaire utilisé (annexes 41 et 42). Pour nous, qu'il sait non-connaisseur en physique, Mickaël adapte son discours et ce qu'il montre.

M : J'arrive à savoir, à peu près, quel est le niveau de la personne par rapport au domaine. Donc, par exemple, si c'est un acousticien, ça ira beaucoup mieux dans le discours. S'il ne connaît pas l'acoustique[96], je peux lui expliquer, voilà, y-a une onde qui se propage, y-a des grains qui bougent… À la réception ça va donner quelque chose de différent au niveau du signal (ibid.).

M précise l'objet de son étude, les *précurseurs d'avalanche.* Il définit les termes employés en relation avec des repères sur le montage, et en accompagnant son discours de gestes et d'onomatopées.

M : On a un empilement granulaire à l'horizontale et après on incline TRÈS lentement (Photogramme 48, p. 229). Au bout d'un moment, à 25-30 degrés, une avalanche de grains se produit. Donc y-a avalanche ici, quand les grains[97] sortent de la boîte.



Photogramme 48: Un mouvement de la main

M : Donc on voit que l'angle de la surface change, on voit qu'il y a des grains qui sont partis (Photogramme 49, p. 229), et avant cette avalanche, y-a des SIGNes PRÉCURSEURS. Donc on peut voir, en surface, des grains qui bougent de manière collective[98], tous en même temps, et de façon régulière avec l'angle d'inclinaison (Mickaël, entretien préalable, annexe 41, tdp. 42).

Photogramme 49: Des grains sont partis

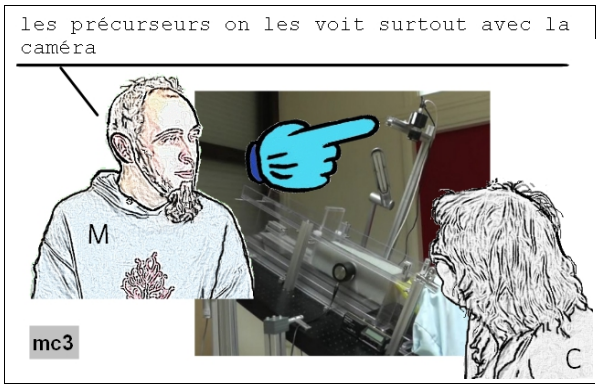
96 Méthodologie innovée par Mickaël pour l'étude des avalanches.
97 Les micro billes sont, de façon générale, nommés *grains*, de la catégorie des *granulaires*.
98 Voir le Texte 3, sur l'*auto-organisation critique*, p. 230

Le concept d'*auto-organisation critique*

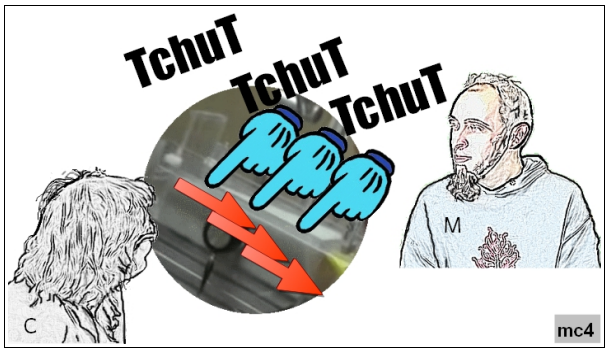
Les grains bougent de manière collective La formulation qui nous parait singulière. Elle est cependant, encline à créer cette image de pans entiers de la surface de grains qui se détachent. Cette référence à des phénomènes collectifs n'est pas anodine. Elle est issue de la théorie de l'*auto-organisation critique* qui permet d'étudier les changements brutaux du comportement d'un système. Cette théorie est née des travaux de Bak (Bak, Tang, & Wiesenfeld, 1987). Le physicien danois base sa théorie sur le modèle du tas de sable, et élargit le concept à bien d'autres champs. L'auto-organisation critique est un processus qui est utilisé pour décrire des sociétés animales (fourmis), des comportements humains (applaudissements, embouteillages), des systèmes géographiques (réseau urbains) ou économiques (krachs boursiers). Dans sa thèse, Mickaël commente : *« Pour chacun de ces systèmes une instabilité locale peut générer une instabilité globale après laquelle un nouvel état métastable est obtenu. »* (Duranteau, 2013, p. 15). Il utilise le concept d'*auto-organisation critique* pour décrire le comportement du sable dans sa manip.

Texte 3: Le concept d'auto-organisation critique

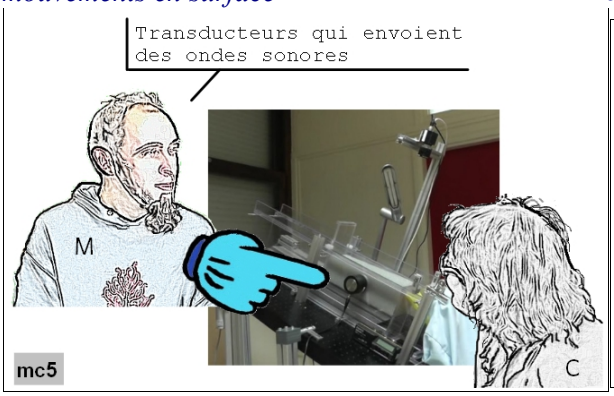
Les capteurs utilisés sont une caméra qui surplombe la boîte pour enregistrer des images de la surface (Photogramme 50, p. 230) : « et même à l'œil nu on voit les grains qui font tchutt tchutt tchutt ! » (Photogramme 51, p. 230). Le chercheur simule l'écoulement et le réarrangement des grains, en situant ces actions sur le montage réel.



Photogramme 50: La caméra filme les mouvements en surface



Photogramme 51: Les grains se détachent régulièrement



Photogramme 52: Les transducteurs, émetteurs-récepteurs d'ondes acoustiques

Photogramme 53: La relation entre les données optiques et les données acoustiques

Des transducteurs émettent des ondes acoustiques qui se propagent dans les billes (Photogramme 52, p. 230) ; d'autres réceptionnent les ondes propagées et les transforment en signal électrique. Mickaël détecte ainsi des mouvements dans le milieu granulaire. Il observe de bonnes corrélations entre les données recueillies par la caméra et les données acoustiques (Photogramme 53, p. 230).

La présentation de la manip porte également sur les aménagements mécaniques créés par le chercheur, pour optimiser la précision des mesures. Des montages analogues existent dans d'autres laboratoires. Mais, pour atteindre l'angle d'avalanche, Mickaël a préféré mettre, sous la boîte, un vérin hydraulique plutôt qu'une vis sans fin ou un ballon gonflable. Toujours pour réduire les vibrations, le vérin est posé sur une table à coussins d'air. En effet, les transducteurs utilisés pour capter les sons propagés dans le milieu granulaire sont extrêmement sensibles.

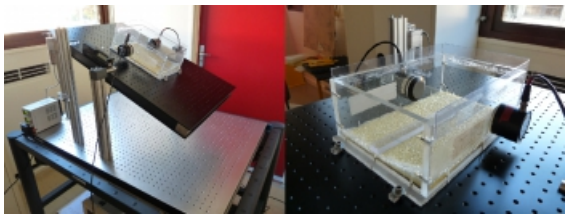


Illustration 95: Banc de mesure acoustique (photographies de l'IPR)

Le banc de mesure acoustique[99] est un équipement aujourd'hui valorisé par le laboratoire (Illustration 95, ci-contre).

B. Le poster

À la suite des explications fournies devant la manip, Mickaël nous présente ses résultats sur son dernier poster (Photogramme 47, p. 228). Affiché dans sa salle de manip, il a été réalisé pour la journée des doctorants de l'École doctorale des Sciences de la matière de l'université (janvier 2013). Dans l'entretien rétrospectif, Mickaël souligne que, pendant les visites, le poster est associé à la description de la manip.

Mickaël porte directement notre regard sur l'un des quatre graphiques regroupés (Illustration 96, p. 231) – chacun correspond à un résultat obtenu avec un état de surface de billes différent « Là c'est l'angle d'inclinaison. Les petits bâtons, c'est la fraction de surface qui va bouger » (ibid., tdp. 61). Mickaël rappelle son action sur la boîte et le phénomène observé.

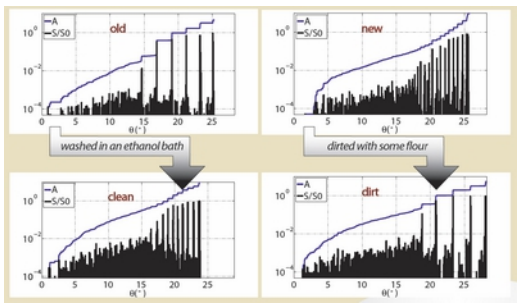
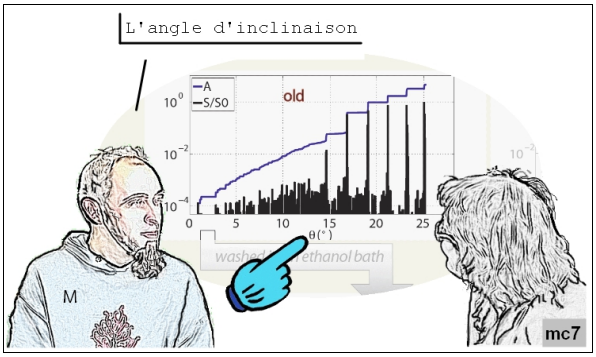


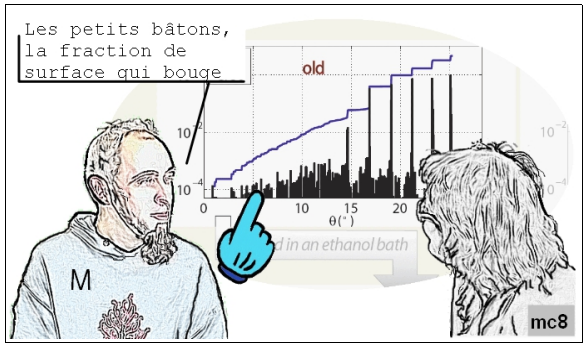
Illustration 96: Extrait du poster de Mickaël, comparaison des résultats pour quatre qualités de grains différents

99 https://ipr.univ-rennes1.fr/valorisation/equipements

Il agit sur l'angle d'inclinaison de la boîte, par rapport à l'horizontale. Son doigt pointe la variable notée en abscisse, l'angle téta (θ°) qu'il fait varier (Photogramme 54, p. 232). Les billes se détachent alors de la surface, de façon régulière. La fraction de surface qui bouge est représentée par les bâtons du graphique (Photogramme 55, p. 232).



Photogramme 54: L'angle d'inclinaison en abscisse



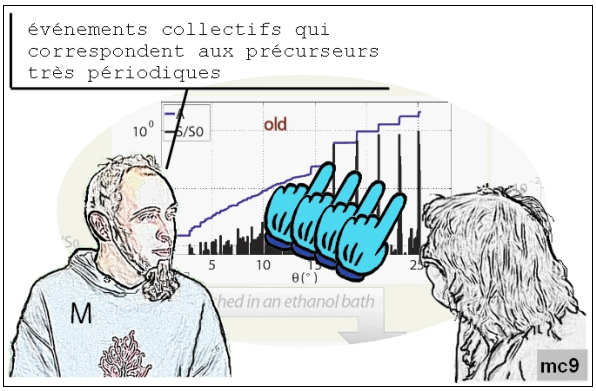
Photogramme 55: La fraction de surface qui bouge en ordonnée

C'est une échelle logarithmique, c'est pas une échelle linéaire, donc là, ici, on a 1 % de la surface qui a bougé, et à la fin 100 %. Donc, c'est l'avalanche et on voit qu'y-a des grands événements collectifs, et qui correspondent aux précurseurs qui sont très périodiques (ibid.) (Photogramme 56, p. 232).

Mickaël nous donne le temps de découvrir le reste de son poster, prêt à répondre à nos questions. Nous nous souvenons y avoir repéré deux courbes, et d'avoir eu un sentiment de satisfaction, né de la surprise de pouvoir interpréter la juxtaposition des deux graphiques. Le plaisir de comprendre. Une caméra et des transducteurs, la corrélation entre les données optiques et les données acoustiques. Nous décrivons le souvenir de notre action *in situ*, à la fin de la partie suivante, en l'articulant à l'analyse didactique de la situation.

8.1.1.2 Analyse didactique mésoscopique

Nous analysons l'action du chercheur, nécessaire pour que le visiteur ne se perde pas dans l'environnement inconnu. Mickaël orchestre la visite telle qu'il l'a conçue : la manip puis le poster. Il agit en relation avec les ressources qu'il utilise. Pour comprendre sa stratégie, nous repérons des *moments clés (mc)* au fil des deux épisodes. Ils correspondent à des relations entre des éléments de savoir que



Photogramme 56: Les grandes variations correspondent aux signes précurseurs

Mickaël propose pour nous donner à voir sa pratique. Ces moments clés sont quelquefois des phrases. Ce sont souvent des groupes de mots associés à d'autres signes (gestes déictiques, mimes et onomatopées). Ils peuvent être assimilés à des syntagmes, mais avec une syntaxe qui n'est pas seulement verbale. Ils sont repérés entre les pauses du locuteur.

A. La manip et le phénomène

Le chercheur nous mène d'abord devant la manip. Il utilise sa main (mc1, Photogramme 48, p. 229) pour montrer la position initiale de la boîte par rapport à sa position finale observable, et ainsi, exprimer l'inclinaison de la boîte contenant les micro billes. En s'appuyant sur la différence d'épaisseur de billes, en amont et en aval de la boîte (mc2, Photogramme 49, p. 229), Mickaël nous montre d'où les grains se détachent avant l'avalanche. Il nomme ces mouvements de grains « signes précurseurs », et les décrit comme réguliers.

La caméra est montrée du doigt (mc3, Photogramme 50, p. 230), et son rôle justifié méthodologiquement. L'instrument optique permet d'enregistrer les images pour observer les mouvements. Mickaël ne nous montre pas les vidéos, mais mime, avec des bruitages (mc4, Photogramme 51, p. 230), les mouvements évoqués précédemment.

Mickaël pointe un transducteur (mc5, Photogramme 52, p. 230) et définit son rôle. Il choisit d'exprimer cet élément de savoir, sachant nous ne sommes pas connaisseur de ce type d'instrument. Quand il invite un collègue acousticien, il ne le fait pas. Nous identifions ici un élément de contrat antérieur à la situation (Mickaël sait que nous n'avons pas de compétences en acoustique) qui agit sur son action avec nous. Le milieu est organisé par Mickaël pour nous. La transaction entre nous repose sur un contrat antérieur à cette visite.

Il évoque enfin (mc6, Photogramme 53, p. 230) les bonnes corrélations entre les mesures acoustiques et optiques. Pour cela, il pointe de nouveau les instruments qui permettent de capturer les données et d'effectuer les mesures.

Pour résumer, devant la manip, Mickaël organise le milieu et aide le visiteur à faire des relations entre les différents éléments. Ces relations créent des savoirs :

- Le chercheur crée des avalanches en inclinant une boîte pleine de micro billes ;
- À partir d'un certain angle, les grains commencent à se détacher collectivement ;
- Les précurseurs peuvent permettre de prédire l'avalanche ;
- Mickaël filme ces mouvements de surface pour les étudier ;

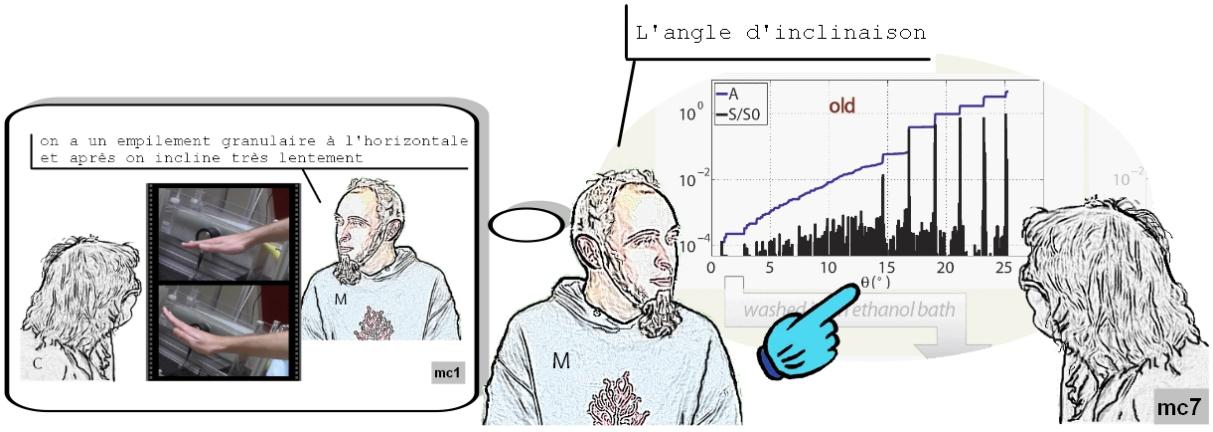
- Ce sont les données optiques qu'il associe à d'autres mesures, acoustiques, réalisées dans le volume de la boîte, à l'aide de transducteurs ;
- Les transducteurs servent à envoyer et à réceptionner des ondes acoustiques ;
- Quand il compare les deux types de données, il obtient des corrélations.

B. Le poster et la théorie

Mickaël nous mène ensuite devant son dernier poster.

Les posters sont le produit du travail personnel d'un chercheur, encadré par ses directeurs, et signés par l'équipe. Ils sont situés dans le temps et dans un contexte : initialement, les posters sont créés à l'occasion d'événements (séminaires, colloques ou congrès). Sur ce support, le chercheur communique ses derniers résultats à des personnes plus ou moins proches de ses préoccupations scientifiques. L'auteur choisit le message essentiel, sa formulation, les illustrations, l'ordre des informations ; il conçoit un support, d'une part, qui permette la lecture et la compréhension individuelle lors d'une exposition, et d'autre part, qui puisse venir en soutien d'une présentation orale. La présence des posters dans les labos est donc un recyclage. La production du poster est événementielle, mais il est la marque de nouveaux résultats du labo que le chercheur affiche donc et commente à chaque visite. La seconde vie des posters semble essentielle : toute visite à l'IPR passe par un exposé devant ces affichages (annexe 44).

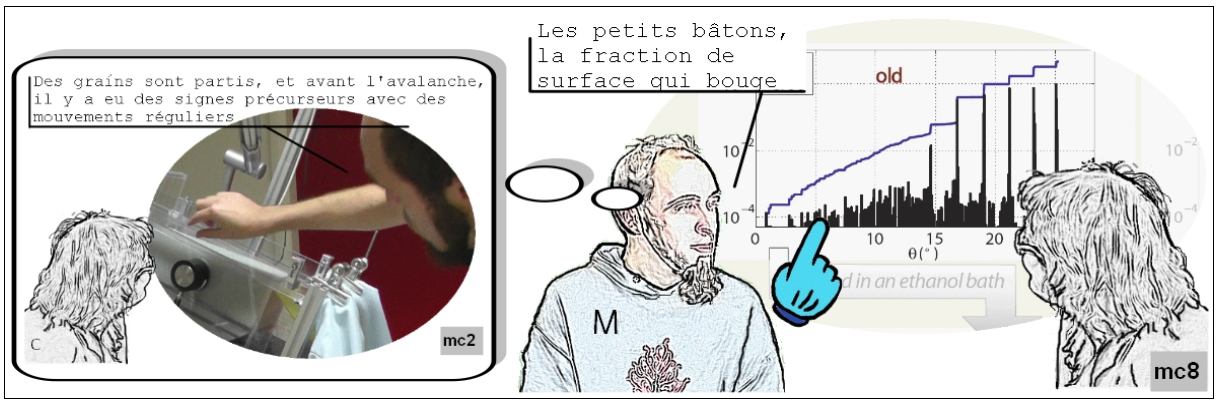
La production de Mickaël est composée de systèmes sémiotiques variés : graphiques, textes, photographie, logos, schémas et équations. L'environnement est encore très dense.



Photogramme 57: L'angle d'inclinaison mimé devant la boîte est représenté graphiquement

Mickaël nous engage dans la lecture d'une représentation graphique : il pointe et lit la grandeur qui varie en abscisse, « l'angle d'inclinaison » (mc7, Photogramme 57, p. 234).

Il montre l'ordonnée et indique qu'elle correspond à « la fraction de surface qui bouge » (mc8, Photogramme 58, p. 235). Nous faisons le lien et nous appuyons sur ce que Mickaël a construit précédemment : l'inclinaison de la boîte par rapport à l'horizontale, l'angle (mc1) ; les grains qui se détachent collectivement, les signes précurseurs, la fraction de surface qui bouge (mc2). Les éléments de savoir définis devant la manip (mc1 puis mc2) sont des éléments déjà-là. Mickaël compte sur ces éléments du contrat pour que nous fassions les relations nécessaires à la compréhension des représentations graphiques (nouveau milieu).



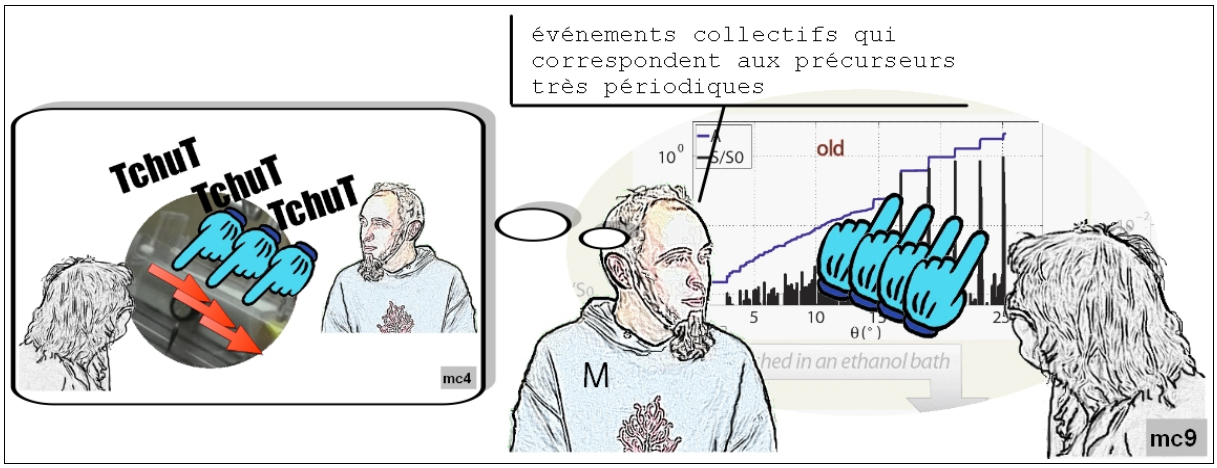
Photogramme 58: La fraction de surface qui bouge fait référence aux grains partis

Avec tous les éléments, certains contractuels, et d'autres puisés dans le milieu actualisé, nous pouvons voir « les petites barres noires » comme les « grains qui sont partis » (mc2). Les « fractions de surface qui bougent » deviennent plus importantes quand « l'inclinaison » de la boîte augmente.

Les grains se détachent avec « régularité ». Mickaël pointe chaque forte variation d'amplitude, avant la variation finale, l'avalanche. Ce sont les « événements collectifs qui correspondent aux précurseurs très périodiques » (mc9, Photogramme 59, p. 236). Les signes précurseurs des avalanches, mimés précédemment à la surface des micro billes (mc4), sont repérés sur le graphique. Leur enregistrement permet de prévoir l'avalanche.

Mickaël commence son exposé devant le poster par « ceci c'est facile à exprimer » (tdp. 61). Nous avons pointé la *réticence* (Sensevy, 2011c) dont fait preuve le doctorant quand il diffuse des savoirs à un non-connaisseur. Si par opposition, il s'autorise l'expression, à ce moment de la visite, nous supposons qu'il le fait d'autant plus aisément que tous les éléments mis en relation dans les formes graphiques, ainsi que les résultats représentés, ont déjà été énoncés lors de la description empirique devant la manip. Ils sont ici, devant le poster, comme institués. Les collectifs de billes deviennent des barres, l'action du vérin sur

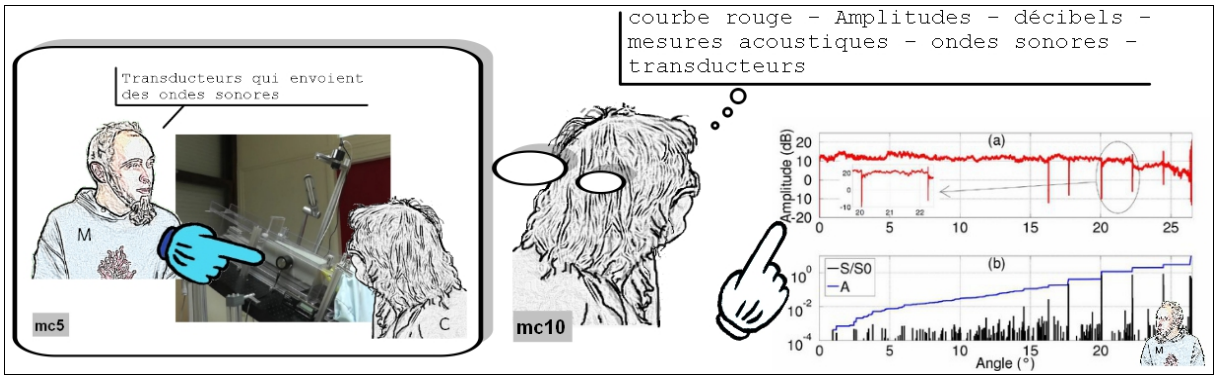
l'inclinaison de la boîte est visible en abscisse, la régularité des phénomènes précurseurs est rendue tangible par la courbe noire.



Photogramme 59: Des précurseurs périodiques

C. *Hic et nunc, proprio motu*

La courbe rouge n'est pas commentée par Mickaël, mais il nous laisse le temps de découvrir le poster. Nous nous prenons au jeu (engagé implicitement par le chercheur) de passer de la manip à la représentation graphique des résultats. Avec l'amplitude (dB) en ordonnée (mc10, Photogramme 60, p. 236), nous supposons que la courbe rouge est l'expression graphique des mesures acoustiques (mc5).

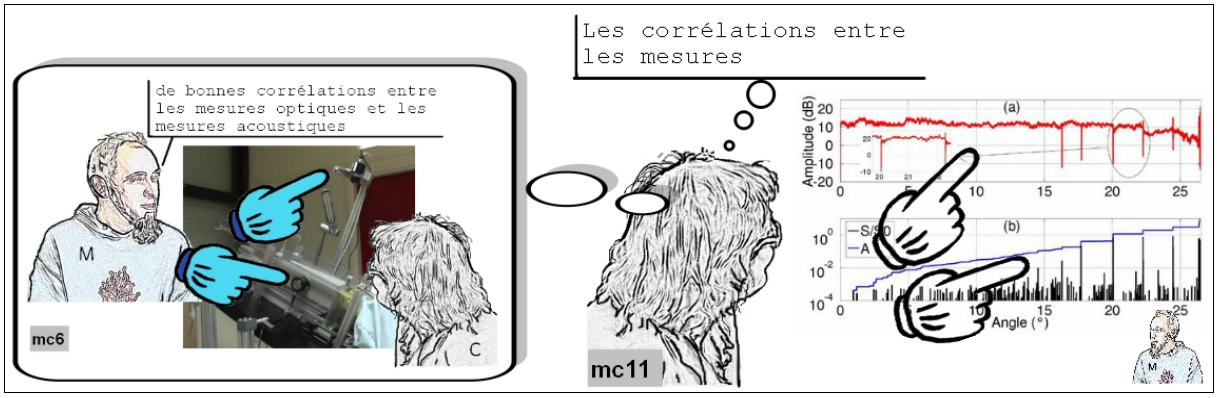


Photogramme 60: La courbe des mesures acoustiques

Le rapprochement de la courbe rouge et de la courbe noire (mc11, Photogramme 61, p. 237) justifierait les corrélations annoncées plus tôt (mc6) entre ce qui se passe en surface (enregistrements optiques) et ce qui se passe dans le volume (enregistrements acoustiques).

Nous ne demandons pas de confirmation à Mickaël : la légende en anglais valide notre interprétation : *« Good correlations between bulk and surface precursors »*. Les éléments de

savoirs contractualisés précédemment s'articulent bien (mc6, mais aussi mc10) avec le milieu que nous explorons. Ils sont réinvestis *proprio motu* dans la lecture du poster. Le milieu permet aussi une rétroaction qui permet de valider notre construction.



Photogramme 61: La corrélation entre les courbes

D. Un jeu *ex situ*

Nous notons, avec un recul de plusieurs mois, que notre interprétation d'alors, *in situ*, est basée sur le seul usage social du *décibel* : une unité de mesure du bruit. Or, l'échelle de représentation de l'amplitude est aussi logarithmique. Ce savoir essentiel est partagé dans la communauté de Mickaël, et plus largement dans une communauté de connaisseurs en sciences. Notre interprétation des graphiques est partielle le jour de la visite, mais suffisante pour mettre en relations de très nombreux éléments de savoir.

En dehors de toute institution, nous rencontrons fortuitement les logarithmes et les décibels, quelques mois après notre visite au laboratoire. De nouveaux éléments de savoir nous donnent l'occasion de lire différemment les graphiques de Mickaël. Nous revisitons ainsi les traces recueillies lors de la rencontre au laboratoire. Nous créons un milieu, *proprio motu*. Nous questionnons de nouvelles relations entre des éléments nouveaux – le décibel comme unité logarithmique[100] – ou fragiles, car issus d'un contrat « scolaire » lointain, la différence entre les échelles linéaires et logarithmiques. Nous investiguons seule puis auprès d'un autre connaisseur (autre institution didactique) ces nouvelles relations. Ce connaisseur valide les relations construites, les instituant en savoir.

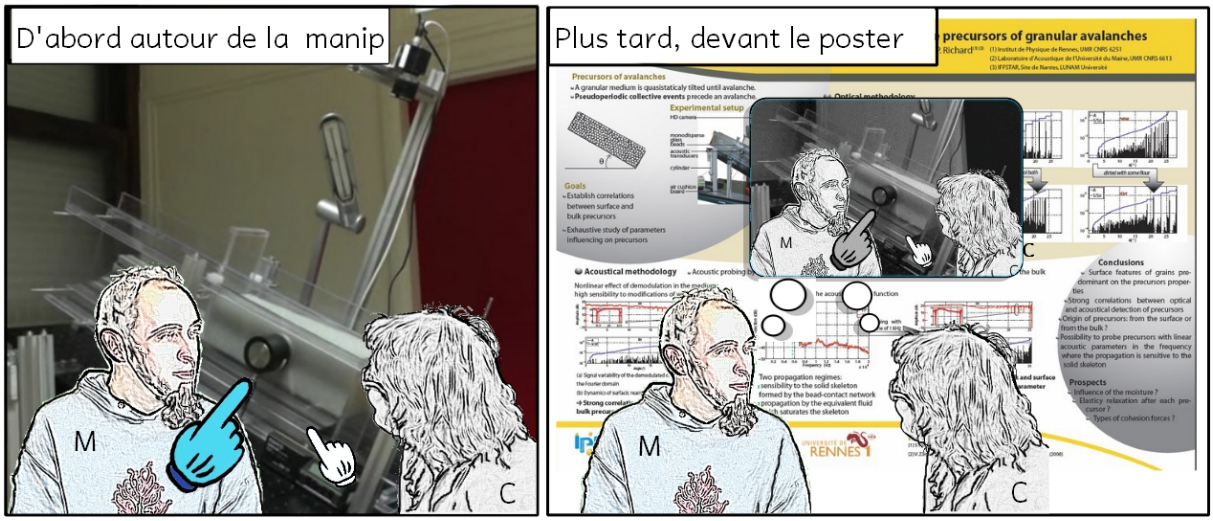
Le temps didactique et le temps institutionnel expirent à la fin de la visite de la salle de manip. En dehors de la transaction institutionnelle de la visite, mais en relation avec celle-ci, nous

100Mickaël précise, après sa relecture de notre travail : *« le décibel est une unité logarithmique du niveau d'amplitude acoustique (c'est proportionnel au logarithme de la pression acoustique mesurée en Pascal). Les mesures acoustiques effectuées ici ne sont pas la mesure d'un bruit, mais celle du niveau acoustique d'une onde sonde volontairement propagée dans l'empilement granulaire »* (M. Duranteau, communication par courriel, 6 octobre 2016).

produisons un questionnement et un jeu d'apprentissage situé dans une institution différente de la première.

E. En bref

Durant l'épisode devant le poster, Mickaël fait référence de façon explicite ou implicite à ce qui vient d'être construit devant la manip. Le premier épisode est en arrière-plan (Photogramme 62, p. 238). Raisonnablement, Mickaël considère les éléments de savoir abordés devant la manip comme partagés. La plupart des éléments du milieu construit



Photogramme 62: Les savoirs institués devant la manip sont dans le contrat devant le poster

précédemment sont assimilés par la visiteuse. *A priori*, elle a fait les relations attendues par Mickaël. Dans l'entretien rétrospectif, Mickaël déclare qu'il fait confiance aux adultes qui viennent en visite par choix personnel. Le cas échéant, ils expriment leurs incompréhensions (pour lui, c'est un élément de contrat). Mickaël peut raisonnablement considérer que la visiteuse a construit des savoirs qui font partie d'un arrière-plan commun, d'un *contrat*, sur lequel il peut compter pour faire évoluer le *milieu*.

8.1.1.3 Analyse du milieu et de son évolution

Nous proposons une représentation graphique, le tableau (Vue_synoptique 14, p. 239), qui met en regard les éléments de savoir en les organisant chronologiquement, tels qu'ils arrivent dans les transactions. Ils permettent, à l'un ou l'autre des transactants, de convoquer des éléments de savoirs qui alimentent l'apprentissage. Mickaël annonce qu'il s'appuie sur ses deux systèmes de ressources. Le dispositif expérimental et le poster apparaissent dans notre représentation.

A. Mesogenèse

La *mésogenèse* est constituée des éléments de savoirs introduits dans le milieu didactique. Nous les formalisons, d'une part, par leur expression (par exemple, « `des grains sont partis` »), et d'autre part au moyen de croix, introduites dans les colonnes qui correspondent aux moments clés de cette expression (ici, mc2).

Systèmes de ressources d'appui ===>	Éléments de savoirs mis dans le milieu MESOGENESE	Initiateur de la mise en relation TOPOGENESE										
		M : chercheur en physique										C
	Moments clés (mc)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dispositif expérimental + mime + onomatopées	Empilement granulaire horizontal	x						x				
	Inclinaison	x						x				
	Des grains sont partis		x						x			
	Signes précurseurs		x	x	x				x	x		x
	Mouvements réguliers		x		x					x		
	qui s'amplifient de plus en plus		x						x			
	Caméra			x	x		x					x
	Tchutt, tchutt, tchutt				x					x		
	Transducteurs					x	x				x	
	Ondes sonores qui se propagent					x					x	x
	Bonnes corrélations (entre						x					x
	mesures acoustiques et						x				x	x
	mesures optiques)						x					x
Graphique sur poster + déictiques	Angle d'inclinaison							x	x			
	θ (°)							x	x			
	Courbe noire							x	x			
	Petits bâtons/fractions de surface qui bougent								x	x		x
	Échelle logarithmique								x		–	
	Grands événements collectifs									x		
	Précurseurs très périodiques									x		x
	Courbe rouge – amplitude – décibels										x	x
	Corrélation entre les mesures											x
	Moments clés (mc)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Relations dans le temps → CHRONOGENESE										

Vue_synoptique 14: Genèses lors de la visite du labo de Mickaël (Tableau du triplet)

Nous proposons un accompagnement pour aider à la lecture des deux premiers moments clés. Dans notre situation, le milieu didactique initial correspond au moment clé 1 (mc1). Il permet de décrire/définir l'objet de l'observation. Ensuite, pendant mc2-3-4, plusieurs relations sont établies entre les mêmes éléments. Nous l'envisageons comme un second milieu didactique ou comme une évolution du milieu didactique initial.

Un système complexe contribue à la mise en place du milieu. Les éléments qui le composent sont symboliques et matériels à la fois. Les éléments de savoir que nous relevons sont le

discours, mais aussi les gestes déictiques, les mimes et les objets présentés, ainsi que d'autres éléments sémiotiques comme les onomatopées. Les éléments de savoir sont fréquemment multicodés. Forest rappelle que *« les sollicitations non-verbales du professeur, dans les relations qu'elles suscitent au milieu, ne peuvent être dissociées de son organisation matérielle et symbolique »* (2008, p. 86) . Nous prenons en compte tous ces éléments agencés dans le milieu :

- `Des grains sont partis` : discours ; gestes pour montrer et comparer les hauteurs de grains dans la boîte + vue des grains dans la boîte ;
- `Signes précurseurs` : désignation verbale ;
- `Mouvements réguliers` : désignation verbale ; gestes réguliers de la main de M ;
- `qui augmentent de plus en plus` : discours ;
- `Caméra` : désignation de l'objet, par le geste et par sa désignation lexicale ; l'usage supposé connu de la caméra fait partie du contrat ;
- `Tchutt, tchutt, tchutt` : onomatopée désignant le bruit des déplacements et leur régularité. Elle est associée à un geste saccadé et régulier de la main ; indication de l'emplacement des déplacements.

Les moments clés, de la même façon, correspondent à des associations de syntagmes verbaux et non verbaux.

Certains éléments de savoir sont nouvellement mis dans le milieu (croix sur cellule colorée), d'autres sont rappelés (croix surlignées). En effet, une fois assimilés, mis en relation, les éléments de savoirs forment un arrière-plan partagé par les transactants, ils sont dans le *contrat didactique*. M et C abordent les nouveaux *milieux didactiques* (croix sur cellule colorée), ou l'évolution du *milieu didactique*, avec les éléments de ce *contrat* (croix surlignées). Par exemple, les moments clés 8-9 reposent sur le contrat didactique construit pendant mc2-3-4.

B. Chronogenèse

Les moments clés placés chronologiquement forment la *chronogenèse*. Elle correspond à l'avancée du savoir dans le temps. Visuellement dans le tableau (Vue_synoptique 14, p. 239), les moments clés qui créent des avancées dans le savoir forment une diagonale d'éléments articulés. Ils modélisent l'évolution du milieu didactique, de nouveaux éléments de savoirs

qui s'enchaînent et se combinent avec des relations déjà-là. Les éléments (surlignés dans le tableau) au-dessus de cette diagonale correspondent aux éléments précédemment contractualisés. M orchestre les divers éléments pour permettre à C de les convoquer au moment où elle aborde de nouveaux milieux didactiques. Visuellement, la représentation en tableau présente un maillage des éléments de savoir : des éléments précédemment introduits dans le milieu sont rattachés à de nouveaux éléments, tels que dans le maillage, *« meshwork of interwoven lines »,* d'Ingold (2011a, p. 63).

C. Topogenèse

La *topogenèse* décrit qui fait avancer le savoir dans la situation didactique. Une entrée du tableau indique quel est le transactant qui met les éléments dans le milieu. Ici, comme nous intervenons peu dans la transaction, sauf pour acquiescer, la topogenèse est principalement prise en charge par Mickaël. Par contre, en fin de visite (mc10-11), nous faisons avancer notre propre savoir, *proprio motu*, en nous appuyant sur le milieu, et en convoquant des éléments du contrat récemment construits (principalement mc5-6).

D. Éléments implicites et explicites du contrat

Parfois, Mickaël rappelle explicitement les éléments (contrat) auxquels il se réfère : il répète des termes exacts employés dans l'épisode précédent et les enrichit ; il jette un regard ou pointe un doigt vers l'espace où s'est jouée la transaction à laquelle il se réfère. Il les associe aux nouveaux éléments de savoir qu'il met dans le milieu, et facilite ainsi les relations.

D'autres fois, les éléments de savoirs du contrat sont *implicites*. Il revient au visiteur de convoquer les éléments de savoirs nécessaires à la compréhension de la situation ou alors d'exprimer son incertitude ou son incompréhension.

La *stratégie didactique* de notre guide fait partie de l'implicite du contrat. Lors de la visite, nous avons décrypté la stratégie de Mickaël : nous nous sommes appuyée sur les éléments de savoirs mis en relation devant la manip pour comprendre les graphiques du poster. Nous repérons seule la traduction graphique des corrélations entre les mesures optiques et acoustiques. Répétée dans des situations analogues, la stratégie du professeur peut devenir une *règle stratégique*, un élément de contrat entre le professeur et ses élèves.

Avant d'aborder le moment clé 1, le contrat entre les deux transactants repose sur une rencontre antérieure à la visite. Nous évoquons notre recherche en Sciences de l'Homme et de

la Société à Mickaël lors d'une première rencontre autour de la préparation du stand. Notre statut de non-connaisseur en sciences physiques au niveau universitaire est alors clairement exprimé. Nous repérons des éléments de ce contrat dans le soin particulier que Mickaël porte à nous présenter la méthode acoustique, et à nous aider dans la lecture des graphiques. Contrairement à ce qu'il fait habituellement lors des visites de sa salle de manip, il ne nous invite pas à toucher les micro billes de verre. Ce n'est pas nécessaire, nous avons assisté à la préparation du stand, et découvert, à cette occasion, quelques formes et propriétés des granulaires. Par ailleurs, nous sommes adulte et faisons le choix de cette visite : Mickaël a confiance dans notre capacité à formuler une question en cas d'incompréhension.

8.1.1.4 Analyse épistémologique : phénomènes et modèles

Notre hypothèse selon laquelle les systèmes de ressources orientent les transactions nous amène à nous interroger sur la nature des deux artefacts que nous propose le chercheur pendant notre visite. Ils nous paraissent relever des phénomènes et des modèles. Avec l'éclairage apporté par les définitions[101] de Hacking, nous proposons d'aborder ces aspects avec les *lunettes cognitives* de Nonnon, puis avec la *théorie des deux mondes* de Thiberghien.

A. Lunettes cognitives

Dans cette situation de visite du laboratoire, les grandeurs inscrites sur les courbes prennent du sens en lien avec le phénomène mimé sur le montage réel. Les transactions créent ces liens.

Illustration 97: Lunettes cognitives (Nonnon et Laurencelle, 1984)

Nonnon, dans le contexte scolaire et dans le cadre de l'EXAO[102], utilise la métaphore de la lunette cognitive[103] (Illustration 97, p. 242, Nonnon & Laurencelle, 1984) pour illustrer l'intérêt de présenter aux élèves, « *en temps réel, une représentation graphique de l'intégration des variables du phénomène à l'étude durant le déroulement du phénomène physique lui-même*. » (Nonnon, 1998, p. 135).

101 *« Les phénomènes sont réels, nous les voyons se produire ; les théories sont vraies ou du moins visent à atteindre la vérité ; les modèles sont des intermédiaires triant quelques aspects des phénomènes réels et les reliant, en simplifiant les structures mathématiques, aux théories qui gouvernent les phénomènes. » (Hacking, 1989, p. 349-350)*

102 L'EXpérimentation Assistée par Ordinateur est une méthode scolaire et universitaire de réalisation et d'exploitation de mesures utilisant l'ordinateur.

103 Nos associations de photogrammes (description et analyse didactique de cette étude de cas) prennent leur origine dans la représentation graphique de ces « *lunettes cognitives* ».

Nous sommes dans une situation analogue où le réel vient en appui du symbolique. Cependant, nous ne voyons pas la représentation graphique se construire parallèlement au déroulement du phénomène. D'une part, nous n'assistons pas au phénomène d'avalanche, d'autre part, les données recueillies par les capteurs ne sont pas converties en direct en graphiques (ceux montrés sur le poster).

Dans les expériences en classe, les variables et les lois qui régissent les phénomènes observés sont connues et entrées dans les savoirs à enseigner. Les constructeurs de matériel adaptent les capteurs et créent les programmes pour offrir des courbes directement observables. Dans la salle de manip et dans son bureau, le chercheur construit les courbes après la caractérisation des variables en jeu, la répétition des mesures, le traitement et l'analyse des images (données analogiques (Sensevy, 2011a, p. 219 et suiv.) digitalisées en « proportion de surface qui bouge ») et autres données digitales. Les résultats sont soumis à la communauté. Les éléments de savoirs ne sont pas découverts simultanément, ni dans le temps, ni dans l'espace. Le travail du chercheur est de créer les lois qui permettent de passer de l'observation à leur explication, de modéliser les phénomènes et de leur donner une forme graphique, pour prédire ces phénomènes.

B. Dispositif expérimental et poster, deux mondes ?

Nous empruntons à Tiberghien et Vince (2005, Figure 5) leur représentation des deux mondes pour analyser la part des mondes des objets et événements et la part du monde des modèles et théories face au dispositif expérimental puis face au graphique relatif aux mesures optiques (Illustration 98, p. 244).

Nous organisons les éléments de savoir (verbaux et non verbaux) chronologiquement et les répartissons entre les deux mondes. Les chiffres correspondent aux moments clés, associations de syntagmes verbaux et non verbaux, des événements qui marquent l'avancée du savoir (mc1-6 face à la manip[104] ; mc7-9 face au graphe relatif aux mesures optiques). Nous mettons en évidence à l'aide de flèches, les éléments que Mickaël nous semble articuler au moyen de jeux de langages. Des systèmes apparaissent dans chaque monde et entre chaque monde.

104 mc5 est exclu : il relève de mesures acoustiques.

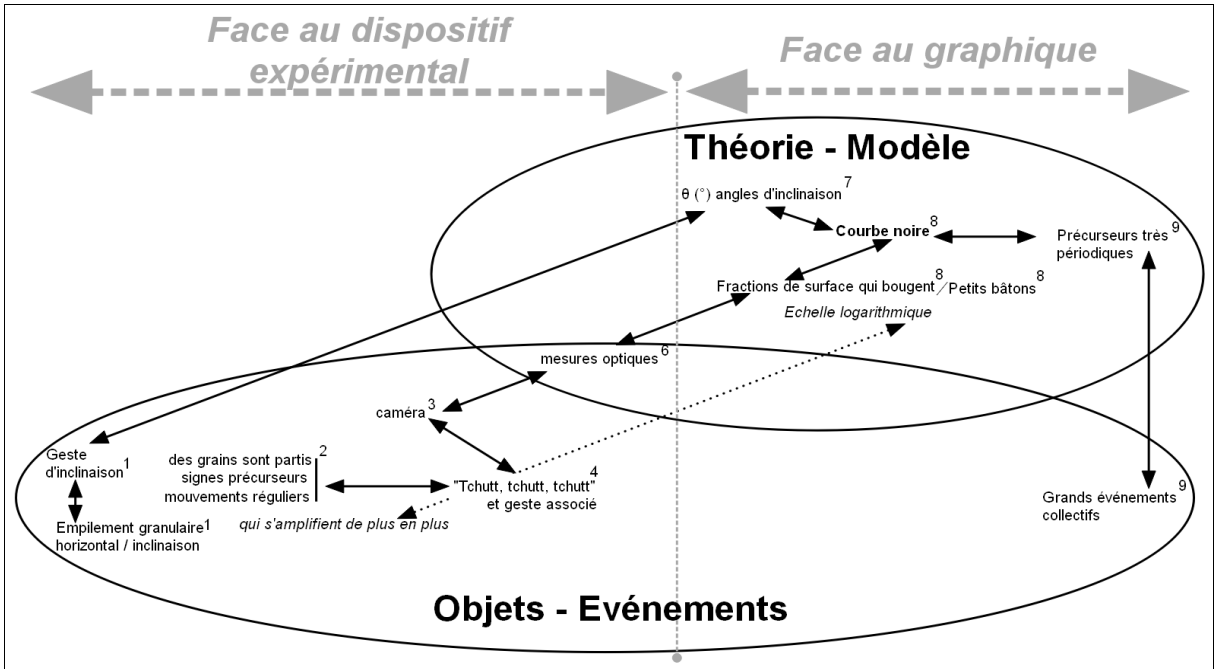


Illustration 98: Mise en relation des mondes et des deux systèmes de ressources

Le schéma peut être lu chronologiquement et en suivant les relations. Ainsi, « l'inclinaison par rapport à l'horizontale[1] » (avec gestuelle) devient « l'angle[7] » avec un doigt pointé sur (θ°). Les « mouvements réguliers qui s'amplifient de plus en plus[2] » sont traduits en gestes saccadés et onomatopées « tchutt, tchutt, tchutt[4] ».

Le schéma peut être lu en nous centrant sur l'expression « courbe noire[8] » : nous observons alors, en parallèle, la construction des deux concepts qui donnent du sens à la courbe : la variable sur laquelle agit le chercheur, « l'angle[7] », et la variable dépendante « la fraction de surface qui bouge[8] ». Les constructions trouvent leur origine dans la description de la manip : le « geste d'inclinaison par rapport à l'horizontale[1] », et « les grains qui « sont partis[2] ». Un élément complémentaire accompagne la grandeur mesurée : l'échelle de représentation. Elle est comme annoncée, dès l'observation, par « qui s'amplifient de plus en plus[2] ». A partir de la courbe, enfin, Mickaël conclut sur un de ses résultats : les « précurseurs » sont « très périodiques[9] », avec un rappel dans un langage naturel des « grands événements collectifs[9] » observés plus tôt.

Nous pensons qu'un élément appartient aux deux mondes : celui des mesures. En effet, il est un lien entre le monde des objets sur lequel on doit agir (estimer, comparer, mesurer) et le monde des modèles où l'on doit exprimer la mesure avec des valeurs numériques et des grandeurs. Les mesures permettent d'ailleurs à Mickaël de basculer de la manip au poster.

Devant la manip, Mickaël utilise un langage naturel, celui de la vie quotidienne. Devant le poster, Mickaël se positionne dans un monde des modèles, avec un langage plus théorique, pas autant, cependant, que celui que le chercheur utilise avec ses pairs : des concepts d'acoustique avec des acousticiens, des concepts de la physique des granulaires dans le monde des physiciens des milieux granulaires ou encore dans celui des géophysiciens.

Le poster appelle des concepts issus du monde de théories et de modèles. Selon les définitions de Hacking, Mickaël nous propose un voyage entre un phénomène réel et des modèles pour représenter ce réel. Les modèles qu'il utilise sont issus de plusieurs mondes théoriques : acoustique, physique des milieux granulaires, géologie, mais aussi sociales, comme l'*auto-organisation critique* (Texte 3, p.230). Mickaël les articule et les étire pour apporter sa contribution à la production d'une théorie des avalanches.

8.1.1.5 Analyse discursive, comparaison de versions

Nous comparons, dans la section 6.4.3.3 B. (p. 148) la description d'un modèle d'os malades, par un médiateur à des élèves de CE2, à celle proposée par le concepteur du même modèle, sur son catalogue, à destination de connaisseurs. Nous proposons ici de comparer la présentation que Mickaël fait de son travail de recherche à un non-connaisseur lors d'une visite dans sa salle de manip et la présentation qu'il en fait à des connaisseurs de sa communauté.

Nous confrontons, dans un premier temps, deux expressions que Mickaël utilise pour nommer son étude. Nous comparons ensuite deux descriptions de cette étude : le résumé écrit de sa thèse, et la présentation orale du chercheur lors de notre visite de sa salle de manip.

A. En deux mots : Les précurseurs d'avalanche ou la dynamique granulaire à l'approche de l'état critique

Selon le contexte, Mickaël utilise l'une de ces deux formulations pour intituler son propre travail. La première, *La dynamique granulaire à l'approche de l'état critique*, est le titre de sa thèse. La seconde, *Les précurseurs d'avalanche*, relève d'un autre paradigme, au sens de *matrice disciplinaire* (Kuhn, 1990) . Ses directeurs ont choisi le titre

Mickaël : pour que ce soit le plus général possible. Moi j'aurais mis « Précurseurs d'avalanche, méthode acoustique » par exemple, mais ça restreignait trop le public potentiel des scientifiques qui pourraient s'intéresser à ce travail. Ça a une portée un peu plus grande : c'est pas forcément que pour les acousticiens qui travaillent avec des grains, c'est aussi pour des géophysiciens et ***l'état critique*** ça fait plutôt appel aux physiciens c'est beaucoup

plus large (Mickaël, entretien rétrospectif, annexe 54, tdp. 6).

Les termes *précurseur* et *avalanche* ne sont pas dans le titre, mais sont utilisés dans le texte à caractère scientifique. Ils sont adoptés par la communauté des physiciens des milieux granulaires. Cartwright imagine l'édifice des sciences comme un monde pommelé (Illustration 99, p. 246) :

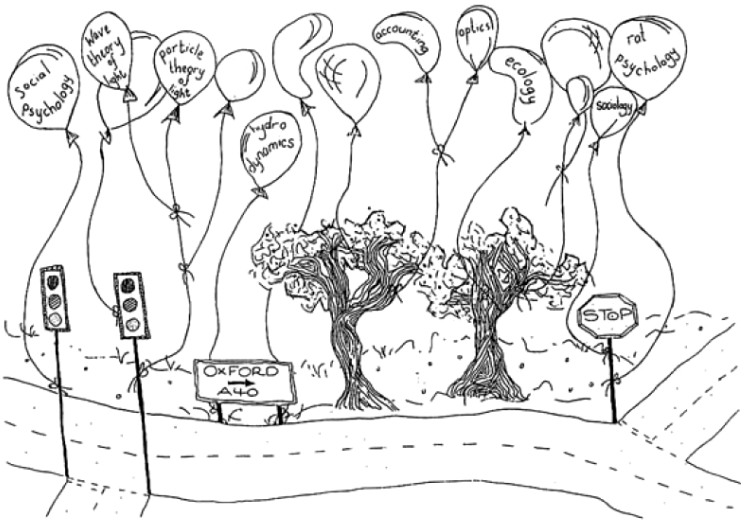


Figure 0.2 Source: Rachel Hacking.

Illustration 99: Dessin associé au commentaire de Cartwright (ci-dessous)

> *Les sciences sont pour chacune d'entre elles reliées, à la fois pour ce qui concerne les applications et les confirmations, au même monde matériel ; leur langage est le langage partagé des événements spatio-temporels. Mais au-delà, il n'y a pas de système, pas de relations fixes entre elles. Les ballons peuvent être attachés ensemble pour coopérer de différentes manières dans différents agrégats quand nous avons besoin d'eux pour résoudre des problèmes différents. Leurs frontières sont flexibles ; elles peuvent être expansées ou contractées ; elles peuvent même en arriver à couvrir une partie du même territoire. Mais il y a indubitablement des frontières. Il n'y a pas de couverture universelle des lois (Cartwright, 1999, p. 6 ; dans Sensevy & Santini, 2006, p. 166).*

Le titre de la thèse est stratégiquement adressé à un public large de physiciens pour augmenter potentiellement le nombre de lecteurs.

M : ils ((les directeurs de thèse)) ont préféré garder ce titre-là qu'on m'avait donné de toute façon avant que je commence ma thèse c'est le titre officiel (Mickaël, entretien rétrospectif, annexe 54)

M : c'est ce qu'on m'a dit c'est surtout les mots clés qui sont importants pour les référencements après dans les mots clés y-a avalanche et précurseur et acoustique (.) aussi expérimental ce n'est pas de la simulation\ parce que avec le titre de la thèse tu ne sais pas trop si c'est de la simulation ou si c'est expérimental (Mickaël, entretien rétrospectif, annexe 54, tdp. 13)

Le doctorant accepte que le titre de sa thèse ne soit pas le titre qu'il lui aurait donné s'il avait suivi son « instinct ». « C'est le titre officiel » (ibid., tdp. 10), il légitime le groupe social auquel il appartient ; « c'est ce qu'on m'a dit c'est surtout les mots clés

qui sont importants pour les référencements » (ibid., tdp. 13). *« Chaque institution est un système symbolique que le sujet s'incorpore comme un style de fonctionnement, comme configuration globale, sans qu'il ait besoin de la concevoir »* (Merleau-Ponty, 1962, p. 57). Son institution a produit chez Mickaël des catégories qu'il adopte et auxquelles il donne du sens. Il fait partie d'un *collectif de pensée* (Fleck, 1935) et revendique de s'exprimer avec le même *style de pensée* (ibid.).

B. En quelques phrases, les paraphrases

Nous étudions deux discours issus d'activités différentes : le résumé de la thèse de Mickaël, une activité à dominante formelle et contrainte, et des extraits des échanges entre nous, lors de la visite de la salle de manip, une activité plus informelle qui pourrait s'apparenter à une conversation. Nous travaillons en deux temps : d'abord, nous juxtaposons les deux discours, le résumé de la thèse de Mickaël, et les échanges lors de la visite, sans nous préoccuper, cette fois, des signes non-verbaux produits à l'oral.

Le concept d'*avalanche*

Le TLFi (Collectif, s. d.) associe étymologiquement le mot *avalanche* à une « *coulée de neige* ». Ce sens est attesté depuis 1572 en Savoie. Le dictionnaire signale une seconde entrée étymologique plus rare (1611), une « *masse de matériau qui se détache d'une hauteur et se précipite vers le bas* ». Cette définition a perduré en géologie, mais n'apparaît, dans les dictionnaires actuels, que comme une extension du sens premier. Dans le langage courant, ce terme est associé à la neige et à une catastrophe. La compréhension du profane n'est donc pas immédiate, mais la vue du sable, qui se détache d'une surface et s'écoule, associée au concept d'*avalanche (de neige),* peut créer l'analogie.

Dans la littérature de la physique des granulaires, Bak et al. (1987), utilisent ce terme en anglais. D'autres équipes, à leur suite, poursuivent l'étude du tas de sable et la dynamique des avalanches. Ainsi, Rajchenbach (2002) définit-il l'*angle maximal d'avalanche* d'un tas de granulaire. Nous observons une transition, dans les années '90, des précautions d'usage, comme des guillemets, dans un article scientifique : « *L'analyse du spectre de puissance P(f) des "avalanches" pour différentes tailles de billes confirme ce résultat* » (Ammi, Bideau, Hansen, Wu, & Jergen Maloy, 1993, p. 7) ; ou encore des précisions sur le rôle de la température dans une avalanche de neige (Guyon & Troadec, 1994), que l'on ne retrouve pas dans une avalanche de grains. Aujourd'hui, les physiciens des milieux divisés, comme les géologues, emploient le terme *avalanche* pour décrire un écoulement par intermittence le long d'une pente de granulaire.

Texte 4: Le concept d'avalanche

Nous juxtaposons ci-dessous (Vue_synoptique 15) le résumé de la thèse de Mickaël, *a priori* adressé à des connaisseurs, au discours du doctorant devant sa manip, adressé à un visiteur non connaisseur. Ces deux discours transmettent le même message essentiel à propos du travail du doctorant. Ils sont organisés de la même façon : une première partie qui décrit

l'objet de l'étude et le dispositif expérimental et une seconde partie qui développe les méthodologies utilisées et les résultats qu'elles permettent d'obtenir.

a. Avalanches et séismes, incompréhension et ajustement

Nous taisons, dans notre première description de la situation, devant la manip, un échange engendré par une incompréhension. Notre participation à la transaction ne se limite pas à des acquiescements. Contrairement à la situation de lecture du texte, la transaction permet d'ajouter des éléments de savoir dans le milieu.

La comparaison des avalanches de grains avec les séismes a peu de sens pour nous, dans l'échange, au moment de la visite. L'opposition est introduite par « à l'inverse de ». Nous ne faisons pas la relation entre les deux phénomènes. Dans la mesure où le discours de Mickaël a une vocation principalement explicative, *« cette vocation de faire comprendre s'accommode mal d'un « parasitage » du lien analogique »* (Collombat, 2009, p. 123). L'assertion relative aux séismes est une rupture dans le discours de Mickaël : alors qu'il nous présente sa manip, il bascule, avec les séismes, sur un commentaire qui parasite le fil du discours.

Aussi Mickaël étoffe-t-il la comparaison avec l'introduction, dans le milieu didactique, de nouveaux éléments de savoir qui permettent le décryptage. Deux points communs entre les milieux autorisent la comparaison : d'une part, ce sont des granulaires, à des échelles différentes. D'autre part, ils envoient des signaux. Deux points les opposent, en tant que signaux, par rapport aux phénomènes critiques : les précurseurs arrivent avant les avalanches (Texte 4, p. 247) et les répliques surviennent après les séismes. L'évolution de l'intensité des signaux les distinguent aussi : alors que les précurseurs d'avalanche s'amplifient, les répliques de séismes diminuent en intensité.

Mickaël ajuste son discours (Culioli, op. cit.), son action et les artefacts utilisés à son interlocutrice. Nos questions, nos acquiescements ou nos demandes d'explicitations lui permettent d'une part des régulations et d'autre part des ajustements pour poursuivre la compréhension de son travail.

Alors que nous observons, par ailleurs, des *paraphrases-traductions*, notre incompréhension et l'ajustement de Mickaël provoquent une *paraphrase-commentaire* éclairante. Lefeuvre et al. (2016) différencient ces types de paraphrases dans l'étude de fables en classe, avec des élèves de huit ans. Ils montrent leur nécessité et systématisent leur utilisation en classe. Nous

leur empruntons le tableau « Paraphrase, Texte, Commentaires » (PTC) pour présenter notre échange avec Mickaël.

Résumé de la thèse de Mickaël	**Entretien entre le visiteur non connaisseur et Mickaël devant sa manip** (tdp 42-53 ; durée : 4 minutes)
La dynamique granulaire amenant à l'état critique présente un intérêt dans la compréhension de la déstabilisation menant à l'avalanche. Son étude permet d'avoir des pistes de compréhension sur des mécanismes plus complexes telles les catastrophes géophysiques (séismes, glissements de terrain, éboulements). Ainsi, lorsqu'un milieu granulaire tridimensionnel sous gravité est quasi-statiquement incliné, des précurseurs sont observés à partir d'une dizaine de degrés avant l'avalanche. Ces précurseurs correspondent à des réarrangements collectifs de grains observés à la surface qui apparaissent pseudo-périodiquement avec l'angle d'inclinaison.	M : voilà j'étudie les précurseurs d'avalanches donc en fait on a un empilement granulaire à l'horizontale et après on incline très lentement donc ça met à peu près un quart d'heure à faire de l'horizontale à cette position qu'on voit maintenant au bout d'un moment à 25-30 degrés une avalanche de grains se produit donc y-a avalanche ici quand les grains sortent de la boite donc on voit que l'angle de la surface change on voit qu'il y a des grains qui sont partis et avant cette avalanche y-a des signes précurseurs donc on peut voir en surface des grains qui bougent de manière collective tous en même temps et de façon régulière avec l'angle d'inclinaison C : c'est-à-dire/ M : c'est-à-dire que tous les 1 degré on va avoir des mouvements qui s'amplifient de plus en plus à l'inverse des séismes où y-a des répliques là on a un peu le contraire C : je ne vois pas le rapport avec les séismes M : les séismes c'est la croûte terrestre c'est des milieux granulaires mais à plus grosse échelle et c'est les mêmes genres de signaux qu'on observe en fait

Vue_synoptique 15: Comparaison du résumé de la thèse avec l'explication orale devant la manip (partie 1/2)

Dans notre étude, cependant le texte n'est pas central. Nous nous référons à l'énonciation déjà paraphrastique (traduction) de Mickaël. Les constats des auteurs *« tendent à montrer que ce qui permet de comprendre la fable, pour les élèves, serait donc davantage l'ensemble que constitue le tableau PTC (avec l'activité associée de paraphrase tout au long des séances pour le renseigner) que le seul texte source. »* (Lefeuvre et al., 2016, p. 151). De la même façon, pour parvenir à notre compréhension de sa pratique scientifique, Mickaël utilise la paraphrase-traduction. Elle est nécessaire mais ne suffit pas. Il doit recourir aussi à des commentaires qui paraphrasent des éléments théoriques sous-jacents (Vue_synoptique 16, p. 250).

Résumé de la thèse (**T**exte)	Énoncé oral de référence	
	Paraphrase-traduction	**C**ommentaires (ajustement à l'interlocutrice)
États critiques dynamique granulaire déstabilisation géophysique réarrangements pseudo-périodiques	Avalanche et Séisme	**Analogies** La croûte terrestre est un milieu granulaire, comme les billes étudiées Les répliques comme les précurseurs sont des signaux avant l'événement (avalanche ou séisme)
	Avalanche ***vs*** Séisme	**Différences** Les précurseurs sont des signaux avant l'avalanche les répliques sont des signaux après le séisme Les précurseurs augmentent en intensité Les répliques diminuent en intensité.

Vue_synoptique 16: Texte Paraphrase Commentaire, d'après les tableaux PTC (Lefeuvre & al., 2016)

Contrairement au discours écrit, le discours oral est interactif. Il est rythmé ou interrompu par nos acquiescements ou nos incompréhensions. Mickaël s'adapte au visiteur.

b. Des registres différents pour un contenu presque équivalent

Dans son discours oral adressé à un non-connaisseur, le chercheur est impliqué : il parle à la première personne, ou emploie un « on » collectif. Mickaël n'hésite pas à montrer une limite de sa recherche, l'ignorance des raisons de la périodicité des précurseurs. Ce discours, ajusté d'emblée, sachant que le visiteur n'appartient pas à sa communauté, est accompagné de très nombreux gestes qui situent les objets (empilement granulaire, transducteur), qui orientent le regard (« on voit qu'il y a des grains qui sont partis »), qui donnent des repères (angle d'inclinaison). Ces indices aident à l'interprétation du discours qui par ailleurs est caractérisé par de nombreuses répétitions, reformulations, précisions et périphrases.

Les différentes parties du discours ne sont pas développées, mais le seront dans un autre lieu, dans le texte long, le corps de la thèse. La présentation est normée.

Nous observons que pour une introduction au sujet d'étude, les contenus du texte et du discours sont sensiblement équivalents. Nous observons cependant que Mickaël n'évoque pas, lors de la visite, les paramètres d'élasticité du système (surlignage en losange, Vue_synoptique 17, p. 251). Ses résultats semblent en discussion : il parle de *« tentative de description »*. La transposition pour un non-connaisseur est peut-être difficile et jugée non essentielle par Mickaël.

Résumé de la thèse de Mickaël	**Entretien entre le visiteur non connaisseur et Mickaël devant sa manip** (tdp 42-53 ; durée : 4 minutes)
Cette thèse fournit une caractérisation expérimentale des précurseurs détectés à la surface par méthode optique et dans le volume par méthodes acoustiques (linéaire et non linéaire). Tout d'abord, de bonnes corrélations sont trouvées entre les réarrangements à la surface et dans le volume. Dans un second temps, l'étude est poursuivie avec une liste non exhaustive de paramètres influant sur les propriétés des précurseurs. L'état de surface des grains est crucial pour la dynamique des précurseurs. Puis, une tentative de description de la déstabilisation est réalisée avec notamment la mesure de la variation des paramètres élastiques. Les précurseurs d'avalanches correspondent à des pertes successives de rigidité du système, suivies du renforcement de ce dernier.	M : donc en fait les précurseurs on les voit surtout avec la caméra et même à l'œil nu on voit les grains qui font tchutt tchutt tchutt comme si le milieu se tassait et ma thèse a plutôt servi aussi à regarder ce qui se passe dans le milieu avec ces transducteurs-là donc en fait on envoie des ondes sonores qui se propagent dans le milieu et quand les grains bougent à l'intérieur le son se comporte différemment se propage différemment et j'étudie comment le son se propage pour détecter ces précurseurs mieux comprendre pourquoi y-a des précurseurs déjà ça on le sait pas même encore maintenant à la fin de ma thèse on n'arrive pas à dire pourquoi c'est périodique toujours régulier et ça dépend aussi beaucoup des contacts au niveau microscopique nanoscopique même par exemple si je prends mes grains et que je les lave avec de l'alcool pour enlever toutes les impuretés les graisses qui se déposent partout c'est des billes de verre donc ça attrape facilement les impuretés en fait on change complètement les propriétés des précurseurs y-en aura beaucoup plus alors que c'est un détail vraiment microscopique par exemple l'humidité ambiante aussi ça fait chuter par exemple entre 50% et 80% d'humidité on peut changer l'angle de 2 degrés facilement C : de toute façon l'angle dépend effectivement du matériau du granulaire que tu utilises je suppose M : oui aussi c'est très sensible aussi aux vibrations du sol c'est pour ça que cette expérience a été construite sur coussins d'air donc y-a des petits coussins d'air en dessous bon c'est pour améliorer aussi la précision des mesures acoustiques c'est vraiment très sensible C : d'accord\ M : donc là j'ai pu faire de bonnes corrélations entre les mesures acoustiques et les mesures optiques relier les deux

Vue_synoptique 17: Comparaison du résumé de la thèse avec l'explication orale devant la manip (partie 2/2)

Dans le résumé écrit de sa thèse, Mickaël est concis et précis. Il utilise le jargon de la communauté des physiciens, univoque, non sujet à interprétation. Il présente une connaissance objective dans le sens où il parle de phénomènes, de méthodes et de résultats. Le texte n'évoque que les objectifs atteints, les questions en suspens ne sont pas mentionnées.

La forme des deux versions est différente, l'une figée (texte écrit), l'autre adaptée à l'interlocuteur (présentation orale) : les « bonnes corrélations », par exemple, sont annoncées tôt dans le texte, et en fin d'explication dans la présentation orale (surlignage ovales, ibid.).

Dans le résumé de thèse, le langage est très codé, à la recherche de l'univocité pour le lecteur connaisseur ; la version « grand public » s'inscrit dans une relation sociale d'aide à la compréhension. Nous faisons apparaître, sous une structure de surface différente, deux énoncés au sens très proche, où l'énonciation orale lors de la visite serait comme une paraphrase du résumé écrit de la thèse.

Rappelons cependant que c'est le contraire qui se passe : la rédaction de la thèse est postérieure à de nombreux échanges oraux et fait l'objet d'un apprentissage spécifique. La thèse, son résumé, ainsi que le discours de Mickaël lors de notre visite sont des énonciations issues de toutes les discussions produites autour de la manip et des résultats numériques avec ses directeurs de thèse et un collectif de pensée restreint. Il s'agit d'une *« pensée que l'on peut communiquer sans grande déformation, c'est-à-dire une pensée formelle et schématique, conçue dans les mots et les phrases »* (Fleck, 1935, p. 91). Le texte et l'énonciation orale ont la même origine. Cependant, ils obéissent à des règles différentes et sont formalisés de façons différentes, car adressés à des publics différents, dans des contextes différents, pour des raisons différentes. La version « institutionnelle » est contrainte par la position de doctorant de Mickaël, au sein d'une communauté de scientifiques qu'il doit atteindre et convaincre avec un langage adapté (Lemke, 1998). Elle est attendue par son laboratoire qui l'a soutenu et par l'ANR[105] qui l'a rémunéré pendant 3 ans.

8.1.2 Lucie crée des dunes

Lucie est en troisième année de Doctorat (annexes 37, 38 et 39). Elle étudie le transport granulaire, la formation des dunes éoliennes et des rides de sable dans l'eau. Son dispositif expérimental central est un chenal dont le fond est couvert d'un lit de petites billes de verre (Photogramme 63, p. 252). De l'eau circule dans le chenal et provoque l'apparition de rides. Lucie étudie le processus de formation et de déformation de

Photogramme 63: Lucie et son chenal

105 Agence Nationale de la Recherche

ces rides, les processus de charriage et de suspension des particules dans le courant. Lucie recueille des données avec des méthodes optiques.

Lucie découvre l'IPR lors de son stage de quatrième année d'école d'ingénieur (ESPCI Paris Tech). « Avant de faire mon stage/ j'ai visité avant\ et donc mon directeur de thèse actuel m'a présenté la manip/ et tout ce qu'il faisait » (Lucie, Entretien préalable)

Elle entreprend sa thèse sur le lieu-même de son stage, avec deux directeurs, un physicien (Dir. φ) et un géologue (Dir. γ). Elle étudie le transport granulaire et la formation des rides de sable dans l'eau (Illustration 100, p.253).

Illustration 100: Rides de sable dans le « grand chenal »

La salle de manip de Lucie se trouve au sous-sol de l'institut. Ses manips, des chenaux, sont grandes et contiennent de l'eau. La pièce est suffisamment vaste pour accueillir le « grand chenal » de 5 mètres de long. Nous devinons les extensions masquées où se trouve la pompe et où disparaît le circuit d'eau (Illustration 101, p.253).

Le « grand chenal », est utilisé par Lucie lors de son stage de Master 2e année. Conçu avec des géologues il y a plusieurs années, il modélise une rivière. Un courant d'eau y circule sur un lit de sable. La surface de l'eau est à l'air libre. Lucie y étudie « la déformation du fond du sable sous l'effet d'un courant (…) l'instabilité qui fait qu'on passe d'un fond tout plat à un fond avec des rides » (Lucie, entretien préalable 1/3, annexe 37, tdp. 6).

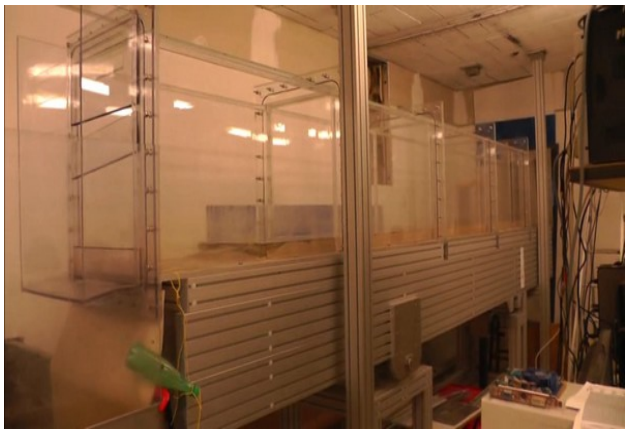


Illustration 101: Le grand chenal

Le sujet envisagé initialement pour son doctorat est essentiellement expérimental : caractériser l'influence, sur le transport des sédiments, des formes qui s'observent au fond des rivières et au fond des mers, sous l'action d'un écoulement. Un aléa survient : suite à des travaux d'extension du laboratoire, certaines salles ne sont plus disponibles, dont celle où se trouve l'équipement expérimental de Lucie. Pendant sa première année de thèse, la doctorante change alors de problématique et de méthodologie : elle travaille à la modélisation

mathématique de l'instabilité de dunes, surtout éoliennes mais aussi hydrauliques. Elle s'inspire des travaux d'une équipe japonaise qui a produit un système d'équations pour

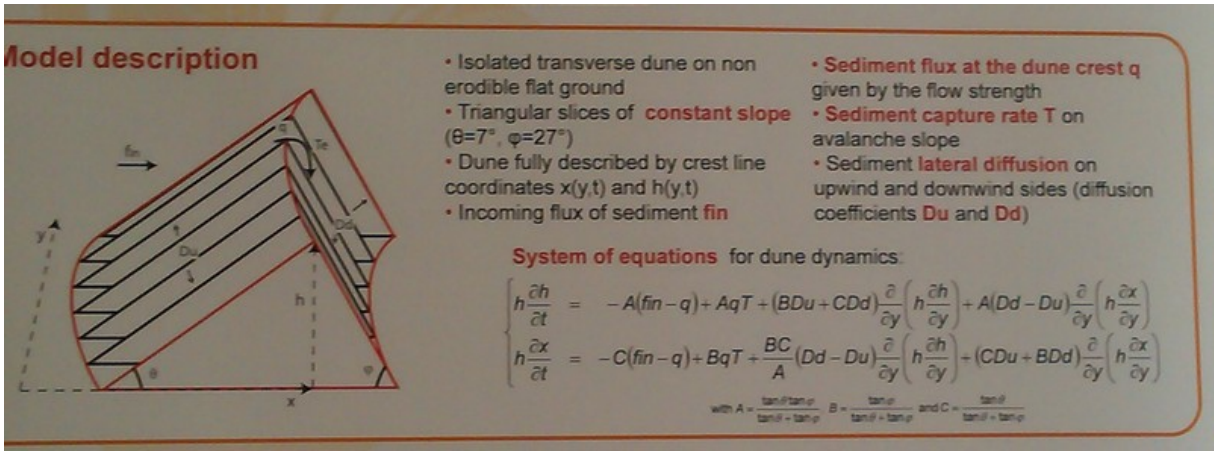


Illustration 102: Modèle théorique utilisé par Lucie dans la première partie de sa thèse

décrire l'évolution des dunes éoliennes dans les déserts (Illustration 102, p.254). Elle l'adapte et parvient à une solution analytique pour décrire la géométrie d'une *barkhane*, un type de dune en forme de croissant.

Quand la salle de manip se libère, Lucie prend possession du « petit chenal » qui a été mis en place une dizaine d'années plus tôt. Ce chenal a servi au recueil de données de deux thèses, mais avec des problématiques différentes. Elle commence ses investigations expérimentales avec le but de caractériser très finement le partitionnement entre le charriage et la suspension des sédiments dans l'écoulement.

Le pan géologique de son étude amène Lucie sur le terrain. Lors de sa soutenance de thèse, un de ses directeurs, le géologue, raconte que Lucie met *« les mains dans la tangue de la baie du Mont-Saint-Michel et y observe des barkhanes ((hydrauliques)). Qu'est-ce que la forme d'une dune peut dire sur ses conditions de formation et les processus eux-mêmes ? » (Dir. γ)*

Elle doit concevoir l'instrumentation et la modification du chenal (Illustration 103, p. 255) pour y installer des équipements (pièges et systèmes de régulation) et des instruments d'acquisition d'images et de mesures adaptés à sa recherche. Les sédiments sont des billes de verre, et l'eau est canalisée entre la couche de sédiments et un couvercle.

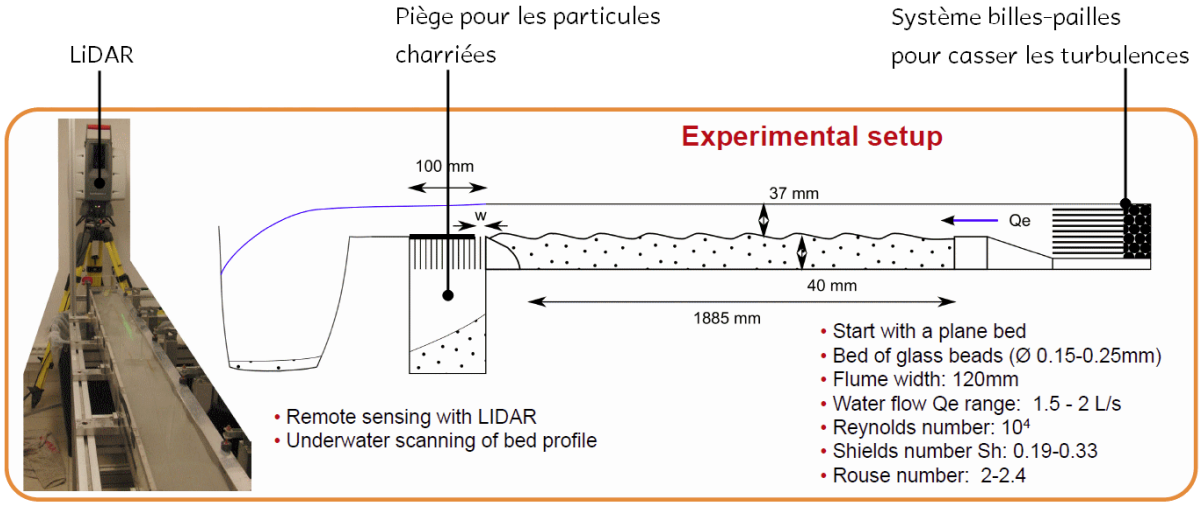


Illustration 103: Dispositif expérimental de Lucie (extrait légendé d'un de ses posters)

Devant le chenal, Lucie ne décrit pas l'objet de sa recherche. Elle nous présente le montage :

L : alors ça c'est le petit chenal/ j'utilise celui-là pour ma thèse\ j'utilise très peu l'autre/ donc là/ on étudie dans une configuration un peu différente/ où la canalisation est plus petite/ et surtout elle est fermée\ c'est plus pratique pour la visualisation/ mais ça s'éloigne un peu du système des rivières des géologues\ y-a pas de surface d'air\ je peux l'ouvrir si tu veux/ et voilà à quoi ça ressemble\ donc là c'est un lit de billes de verre/ c'est le résultat après une manip où ça a tourné pendant un quart d'heure\ ((…)) y-a tout un système hydraulique pour faire circuler l'eau/ y-a une pompe/ (Lucie, entretien préalable 1/3, annexe 37, tdp. 18)

Lucie nous laisse observer « le résultat après une manip où ça a tourné pendant un quart d'heure\ ». Elle nous décrit le phénomène, la formation des rides de sable, plus tard, sur son poster.

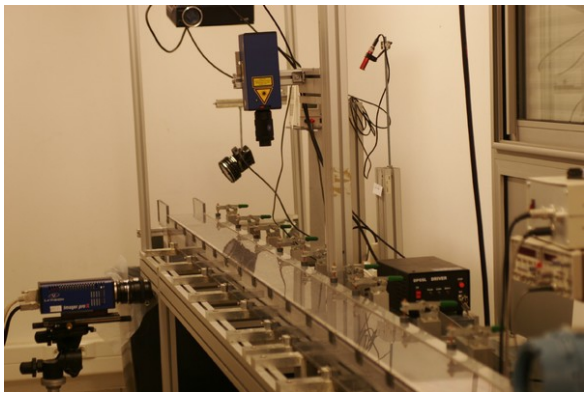


Illustration 104: Le petit chenal (vers la gauche)

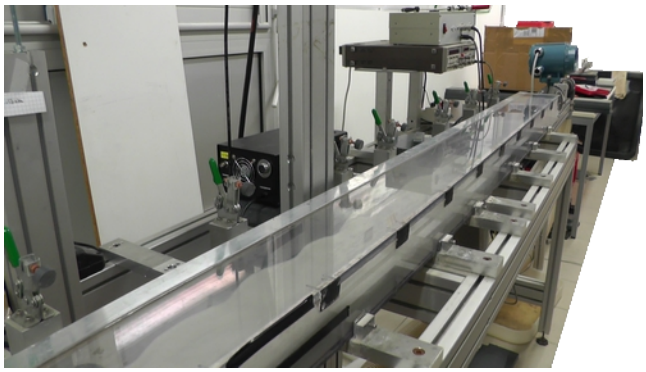


Illustration 105: Le petit chenal (vers la droite)

De nombreux instruments optiques pointent vers le chenal : un appareil photo, une caméra (illustrations 104 et 105, p. 255) et un dispositif

(*Light Detection And Ranging*, LiDAR[106]) utilisant un laser (Illustration 103, p. 255). Ils sont pilotés, simultanément, par des ordinateurs, chacun adapté à une génération de matériel. Lucie conçoit et installe, avec l'assistant ingénieur, les pièges à particules. Elle surmonte les difficultés de calibration et de mesure de pression. Un de ses directeurs de thèse la complimente à l'issue de la soutenance de sa thèse : *« tu as montré des capacités à te dépatouiller avec l'utilisation du LiDAR dans ce contexte/ un chenal rayé/ avec peu de place pour placer de LiDAR/ et par réfraction/ tu arrives à de très beaux résultats pour la caractérisation du fond\ »* (Dir. γ). La partie matérielle et méthodologique du montage, valorisée ici par le directeur, est insolite et surprenante pour le visiteur profane. Dans la salle de manip, le matériel technologique très spécialisé cohabite avec des montages locaux. Par exemple, pour briser les turbulences engendrées par la pompe et créer un courant régulier dans le chenal, l'assistant ingénieur a conçu un espace poreux composé de billes et de pailles (Illustration 106, p. 256), un système D pérennisé dans le chenal de Lucie.

L : en fait notre écoulement il est très turbulent donc y-a des gros tourbillons qui se développent surtout quand on passe d'une petite section à une grande section donc pour éviter qu'y-ait des gros tourbillons qui ne sont pas ce que je veux voir on les casse par ce système-là juste des billes et des pailles voilà (Lucie, entretien préalable 1/3, annexe 37, tdp. 26)

Illustration 106: Mécanisme pour casser les turbulences liées au changement de section des tuyaux

Le même système est utilisé dans le « micro chenal » (Illustration 107, p. 257) fabriqué en 2011 pour le « grand public », et présenté sur le stand du village des sciences en 2013.

Les posters scientifiques qui se trouvent dans la salle de manip ne sont pas ceux de Lucie. Ils correspondent aux travaux antérieurs réalisés sur le « petit chenal ». Une version A4 du poster de la Fête de la science sur le sable humide (annexe 36) est affiché. Il présente un schéma explicatif de la formation des dunes. Il est montré aux lycéens ou aux étudiants qui visitent la salle de manip. Les posters de Lucie sont dans son bureau, au premier étage.

106 LiDAR : Light Detection And Ranging. La télédétection par LiDAR est une technique de mesure à distance.

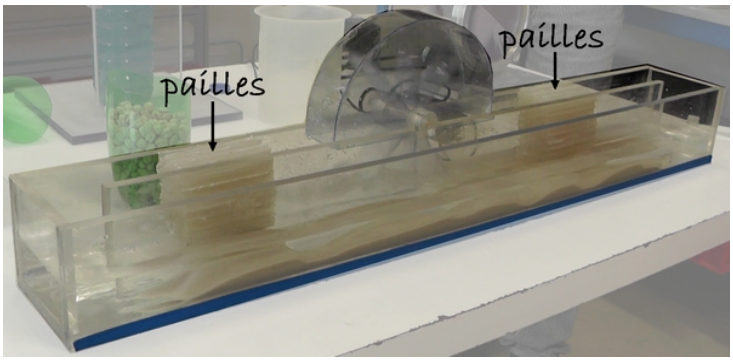


Illustration 107: Dans le « micro-chenal », les turbulences du courant généré par la roue sont cassées par des pailles

La visite de la salle de manip de Lucie est basée sur la présentation de son montage. Il s'agit d'une part importante de son travail de recherche, d'ailleurs soulignée par ses directeurs.

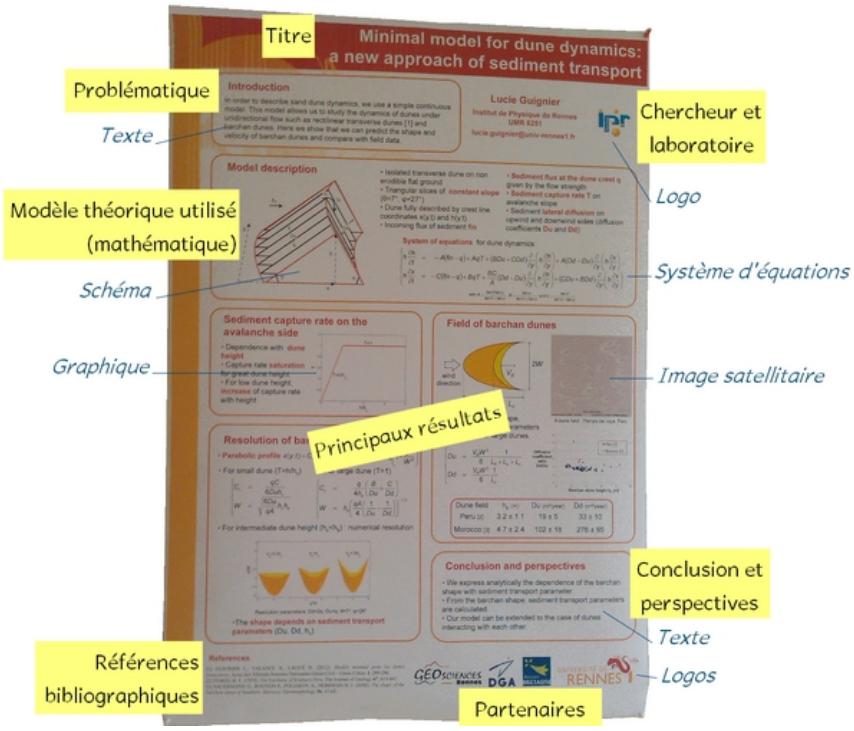
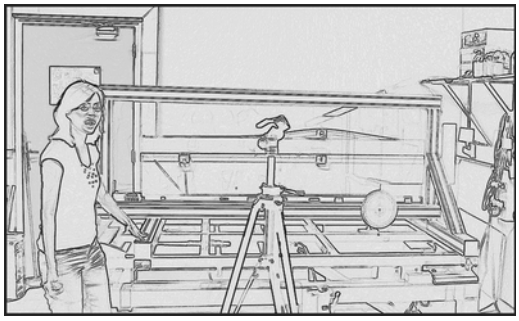


Illustration 108: Un poster de Lucie, structure et langage sémiotiques

Lucie nous décrit l'objet de son étude, non pas devant son dispositif expérimental, mais plus tard, devant ses posters : les rides de sable et leur formation. Elle pointe le modèle utilisé, le système d'équations qui lui permet de modéliser géométriquement une dune barkhane. Ses principaux résultats, en cours de thèse, sont, d'une part, l'analogie possible entre les dunes éoliennes et les dunes aquatiques ; d'autre part, la concordance entre les dunes de grande taille observées avec *Google Earth* et les dunes que son modèle lui permet d'obtenir (Illustration 108, p. 257). Une conclusion ouvre sur des perspectives. Y apparaissent aussi, clairement, le

laboratoire d'origine et les partenaires, ainsi que des références bibliographiques, les productions de l'auteure du poster et ses recherches en cours.

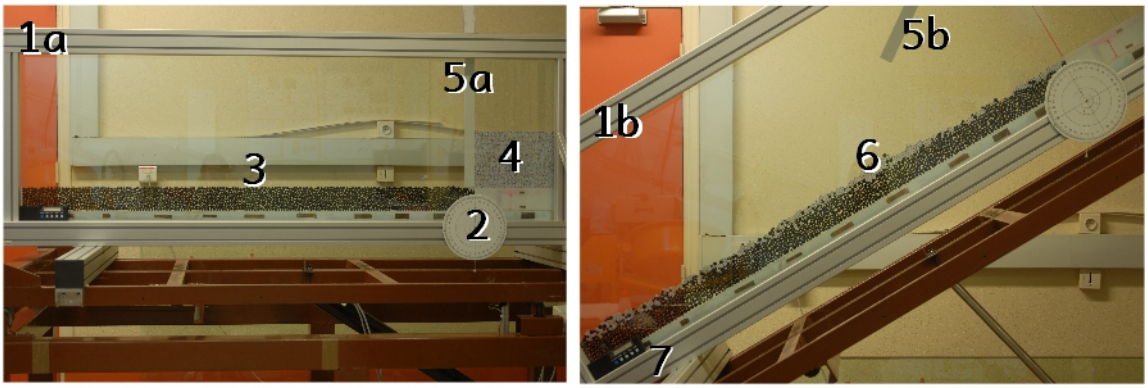
8.1.3 Thao expérimente l'érosion et la déposition de sédiments



Photogramme 64: Thao dans sa salle de manip

Thao (Photogramme 64, p. 258) commence sa deuxième année de Doctorat (annexe 40). Elle partage le bureau de Lucie à l'IPR. Elle étudie les processus d'érosion et de déposition de matières granulaires. Son dispositif expérimental est composé d'un grand cadre vertical transparent (Illustration 109, p. 258). Entre deux parois de plexiglas (1), se trouve une couche de pastilles noires (3). Thao incline le cadre, et libère des pastilles blanches (4), en ouvrant la porte (5) d'un réservoir qui se trouve en amont. Elle étudie le déplacement et le dépôt (6) de ces pastilles noires et blanches, et l'érosion du lit initial, avec une méthode principalement optique. Le film de chaque manip (entre 20 à 40 secondes) est le support principal des données qu'elle traite. La masse des pastilles qui s'échappent lors de chaque test est affichée en façade (7), et un rapporteur 360° équipé d'un fil à plomb (2) indique l'angle d'inclinaison du banc par rapport à l'horizontale. Ces mesures sont enregistrées sur la vidéo.

Thao nous donne accès à certaines de ses données et de ses productions, après la visite de la



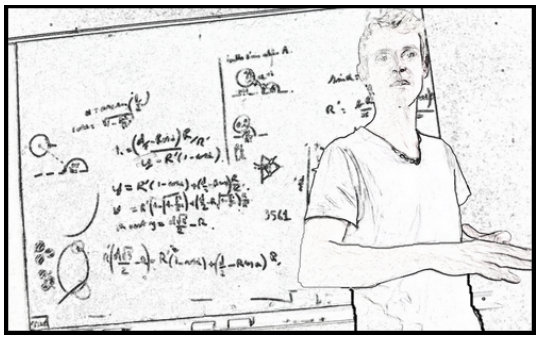
1 : Cadre contenant les pastilles, en position horizontale (a), et incliné (b)
2 : Rapporteur et fil à plomb
3 : Lit de pastilles noires
4 : Pastilles blanches retenues dans un réservoir
5 : Porte du réservoir fermée (a) et ouverte (b)
6 : Pastilles blanches dispersées sur le lit de pastilles noires (érosion et dépôt après avalanche)
7 : Affichage de la masse de pastilles sorties du cadre

Illustration 109: Dispositif expérimental de Thao, avant (1a) et après(1b) expérience

salle de manip. Nous visualisons des vidéos et des photographies (Illustration 109, p. 258) des expériences. Thao ne parle pas encore très bien le français. Elle nous décrit les phénomènes filmés en s'appuyant sur les graphiques associés de ses premiers résultats.

8.1.4 Antoine provoque des bandes de cisaillement

Antoine est en troisième année de doctorat. Sa recherche vise à mieux comprendre et à modéliser les phénomènes de cisaillements occasionnés dans un milieu granulaire compacté : le mécanisme physique qui mène aux fissures ou fractures dans les milieux granulaires (Photogramme 64, p. 258).



Photogramme 65: Antoine dans son bureau.

Pour chacune de ses expériences, Antoine crée un échantillon de granulaire compacté, analogue à un paquet de café sous vide. Il le loge dans un compartiment conçu pour l'exposer à des pressions latérales, contrôlées et mesurées (Illustration 110, p. 259). Un hublot permet d'enregistrer par vidéoscopie les déformations qui se forment dans le volume. Antoine utilise une méthode optique récemment développée par ses directeurs (Illustration 111, p. 260) pour observer les micro-déformations au sein des billes de verre compactées, avant l'apparition de la bande de cisaillement : l'échantillon est éclairé par un laser, et une caméra filme l'évolution du milieu. L'interprétation des images nécessite plusieurs traitements, dont certains sont généralisés dans l'équipe du département. D'autres sont adaptés ou créés par le chercheur.

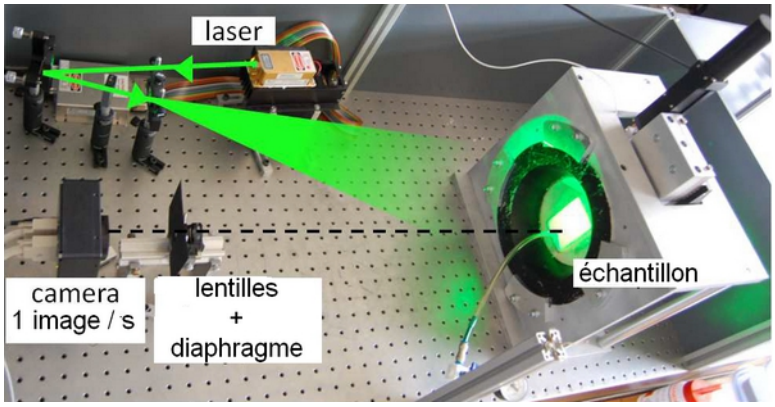


Illustration 110: Photo du dispositif expérimental (Le Bouil, 2014, p.45)

Le poster d'Antoine est à portée de main, dans le couloir. Des allers-retours entre le dispositif expérimental matériel et le poster créent des relations entre les éléments de savoirs. Ils permettent de visualiser le dispositif matériel concret, et d'apporter, avec les éléments abstraits schématisés et les images reconstituées, un nouveau regard sur le travail du

physicien : lire le dispositif matériel autrement, et entrevoir (sans pour autant bien l'évaluer) le travail intermédiaire entre la manipulation matérielle, la méthodologie et les résultats d'expériences.

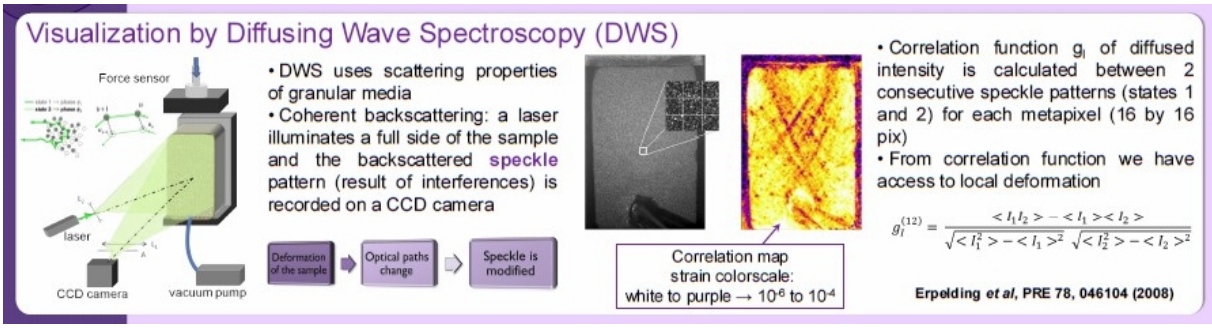


Illustration 111: Extrait d'un poster d'Antoine – Diffusion multiple de la lumière ; carte et fonction de corrélation

8.1.5 Les doctorants et leur expérience en médiation scientifique

Mickaël a déjà fait des médiations lors de l'édition 2011 du village des sciences (VDS). Il connaît tous les dispositifs qui sont sur le stand. Il partage le stand avec Antoine, le vendredi matin, pour les scolaires. Parmi ceux qui sont présents sur stand, le thème le plus proche de la recherche d'Antoine est celui de la dilatance. Il a participé au village des sciences en 2012 avec son département et a déjà fait de l'animation.

Lucie n'a pas encore participé à un événement comme le VDS. En 2013, elle y est présente, le samedi après-midi, pour le « grand public ». Elle a été consultée en 2011 pour la conception du « micro-chenal » construit pour le « grand public » et présenté lors de l'édition 2011. Il est très directement lié à ses recherches. Pendant sa thèse, Lucie a étudié, sur le terrain, avec son directeur géologue, les rides de sable dans la baie du Mont-Saint-Michel. Elle en a une connaissance empirique. Lucie n'a aucune expérience d'animation ou d'enseignement à destination des enfants. Par contre, lors de sa première année de doctorat, elle a donné des cours en licence.

Thao participe, avec un enseignant chercheur, aux médiations pour les scolaires, le vendredi après-midi. Elle est aussi présente aux côtés de Lucie le samedi. Parmi les dispositifs présentés au village des sciences, ceux qui mettent en évidence la ségrégation granulaire sont les plus proches de son champ de recherche. Thao n'a jamais participé et n'a jamais vu, non plus, de lieu de médiation comme le VDS. Elle nous explique qu'au Vietnam, son pays d'origine, les enfants apprennent les sciences de façon théorique « on ne montre pas des choses comme cela ». (Thao, entretien rétrospectif, annexe 40)

8.1.6 En bref, l'activité des doctorants chercheurs en physique des milieux granulaires

Les chercheurs sur lesquels nous enquêtons ont une familiarité très pratique avec la matière qu'ils étudient. Ils observent les phénomènes sur le terrain et les reproduisent en laboratoire. L'empirie qu'ils explorent est essentiellement constituée de modèles analogiques : des billes pour des grains. Ils agissent sur les milieux[107] qu'ils étudient, ils observent les réactions, mesurent les variations et les interprètent. Un permanent de l'équipe utilise l'image du s*cientifique qui interroge la nature*.

Ces chercheurs font aussi un travail de modélisation important, car la physique des milieux granulaires échappe en partie aux lois de la physique newtonienne. Elle est en construction. Les physiciens des matières granulaires ne peuvent utiliser des codes « universels ». Ils créent leurs codes et les testent : « si jamais on retire telle force, qu'est-ce qui se passe. Les interactions avec les parois, est-ce qu'on en met, est-ce qu'on n'en met pas ? On change les frottements à tel endroit, en intervenant directement, en sachant ce qu'est un code.[108] Donc finalement on est beaucoup plus près de l'objet, on s'intéresse beaucoup plus à la modélisation de l'objet » (EC, entretien sur le stand, annexe 46, « code »). L'objet de comparaison est la physique newtonienne où les chercheurs travaillent avec beaucoup de modèles déjà établis depuis longtemps.

Il nous semble que les chercheurs qui participent à notre enquête, comme Mickaël, sont sensibilisés au passage du monde des objets et de la matière, au monde des modèles. Leur activité, dans le collectif qui est le leur, celui de la physique des milieux granulaires, les engage à didactiser les liens entre l'empirie et les modèles qu'ils produisent.

8.2 La préparation du stand pour le village des sciences

Dans un premier temps, nous évoquons l'objet du stand, la physique du sable (8.2.1). Dans un second temps, nous relatons la genèse des dispositifs présentés (8.2.2). Puis, nous décrivons le fonctionnement du groupe qui prépare l'édition 2013 du village des sciences (8.2.3). Une quatrième partie décrit de façon macroscopique l'organisation matérielle et humaine du stand (8.2.4).

107 Nous empruntons le terme à Lucie.
108 C'est nous qui soulignons.

8.2.1 La physique du sable, c'est sérieux ?

Les dispositifs et les médiations présentés par le département Milieux Divisés évoquent le sable, mais pas seulement. Nous y trouvons aussi des billes et des pois chiches. Le sable est un exemple des matières en grains dont chacun a une expérience, voire des expériences : sol foulé (sec ou humide), matériau de construction de châteaux éphémères sur la plage, grains transportés par une bourrasque, dunes, sablier… Le sable possède les propriétés physiques des matières en grains, modélisées et partagées par le collectif de pensée[109] qui en est connaisseur. De nombreux articles de physiciens des milieux granulaires, ouvrages, voire thèses, réduisent au tas de sable, volontairement avec humour, l'objet de leurs propres recherches : *Du sac de billes au tas de sable* (Guyon & Troadec, 1994), *La physique des tas de sable* (Claudin, 1999). L'identité même de la communauté semble être attachée à la référence du sable. En effet, dans *la revue pour l'histoire du CNRS*[110], Bideau, Guyon et Pullino content l'aventure scientifique du collectif des Milieux aléatoires macroscopiques, les Miam, et intitulent leur article *Le tas de sable, du désordre qui rassemble (Bideau, Guyon, & Pullino, 2008).* L'histoire a fait du sable, ou du tas de sable, un *exemple-exemplaire* (Kuhn, 1990, p. 397) de ces matières granulaires difficiles à classer. Nous relevons, dans l'article de Bideau et al., la terminologie utilisée par leur communauté pour décrire l'objet des recherches et sa place dans les sciences : la « physique mal condensée » (1978), la « physique des défauts » (1980) qui étudie les matériaux « sales », les « milieux désordonnés », la « physique du désordre » (1982). Les auteurs parlent d'une rupture dans les années 1980. Diverses actions du CNRS et de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) visent à faire travailler ensemble des scientifiques de sections différentes[111]. Les actions thématiques programmées (ATP), par exemple, sont dues au développement des Programmes interdisciplinaires de recherche (PIR) initiés en 1976 lors de la crise pétrolière, en réponse aux besoins industriels et économiques de nouveaux matériaux. Cela marque une ouverture progressive vers un dialogue avec la géophysique et les sciences de la Terre. Les matériaux hétérogènes (1988) voient le jour, puis la création d'un groupement de recherche (GDR), Physique des milieux hétérogènes complexes (1991).

109 *« Si nous définissons un collectif de pensée comme la communauté des personnes qui échangent des idées ou qui interagissent intellectuellement, alors nous tenons en lui le vecteur du développement historique d'un domaine de pensée, d'un état du savoir déterminé et d'un état de la culture, c'est-à-dire d'un style de pensée particulier. »* (Fleck, 1935, p. 74)

110 https://histoire-cnrs.revues.org/

111 Le Conseil national des universités (CNU) divise les disciplines en *sections*.

> *[Il] regroupe 21 laboratoires allant de la physique théorique à la mécanique des sols en passant par la géologie. Les thèmes fondateurs initiaux de ce GDR sont au nombre de quatre : les milieux granulaires secs en écoulement ; les suspensions de particules ; les milieux poreux ; les ondes dans les matériaux désordonnés. (Bideau et al., 2008, paragr. 19)*.

Des actions du GDR se centrent sur les milieux granulaires secs et humides. Un GDR sur l'étude des milieux divisés s'ouvre en 2000. Un département « Granulaires et Mousses » s'ouvre à l'IPR. L'équipe se divise en 2012 en deux départements : Milieux Divisés et Matière Molle.

Cette petite histoire récente de la science du sable qui cherche sa légitimité dans le monde de la physique semble encore d'actualité. Un enseignant chercheur du département Milieux Divisés nous confie : « c'est pas toujours facile de faire admettre aux collègues physiciens que de faire de la physique avec du sable, c'est faire de la physique. » (EC, annexe 46, « physique ») Les raisons sont multiples : la matière étudiée n'est pas microscopique, on n'y parle pas d'atome ; le sable est une matière naturelle, et peut sembler relever de la géologie ; quand on prend le point de vue des applications possibles, on lui oppose qu'il s'agit de questions d'ingénieries. Les « bricolages » des salles de manip et des méthodes d'analyse ne correspondent pas toujours aux activités scientifiques d'autres spécialités. Cette physique du sable relève d'une science qui se construit. Un permanent du département, enseignant chercheur (EC), nous confie :

EC : Nous on travaille sur un matériau dont on ne connaît pas vraiment le comportement/ il reste à découvrir/ (.) le travail de modélisation est à faire/ alors que eux il est déjà fait/(.) nos codes de calculs/ on les fait complètement/ car ce sont des choses qui doivent être adaptées à telle ou telle situation/ (.) donc y-a pas un code universel que tout le monde doit utiliser\ (.)les bouts d'autres codes/ on les ré-écrit en général pour les optimiser\ (ibid. « modélisation »)

Les chercheurs ont besoin de faire reconnaître leur légitimité dans la communauté des physiciens. Ils ont également besoin de faire connaître au « grand public » ce qu'est la physique des granulaires, une science qui n'est pas entrée dans les programmes scolaires. Des céréales aux dunes, en passant par le café, moulu ou en grains, les billes et les châteaux de sable, nous rencontrons les matières granulaires quotidiennement. Elles nous exposent à des phénomènes que non seulement nous n'expliquons pas, mais encore que nous ne sommes pas habitués à interroger. Il s'agit d'une science en mouvement, que les chercheurs des Milieux Divisés veulent partager avec le public.

8.2.2 Structuration d'un système de ressources et genèse d'un projet d'*experimentarium*

Le département possède depuis longtemps des dispositifs qu'il construit ou aménage pour des expositions, animations, médiations. Un des permanents nous raconte :

> EC : ça été conçu au cours du temps, ça fait très longtemps que l'équipe présente des trucs dans des collèges, dans des lycées, bien avant qu'il n'y ait la Fête de la science. Y-a aussi toute une période où y-avait un collège aux Sables d'Olonne qui a monté un musée du sable et donc ils nous faisaient venir tout le temps. On allait plusieurs fois par an faire des démonstrations (…) Y-a des idées qui circulent. Les gens amènent des fois des manips[112] pour les montrer au cours des conférences soit pour illustrer un exposé scientifique, à partir d'une petite manip, soit à côté de la manifestation scientifique (EC, entretien sur le stand, annexe 45, « effet Janssen »)

La plupart des dispositifs présentés sont hérités d'événements précédents.

À la suite de la Fête de la science 2010, les permanents du département décident de structurer leurs ressources pour la didactisation de concepts fondamentaux de la physique des granulaires. Ils s'organisent pour

- répertorier les dispositifs existants dans le laboratoire,
- contrôler leur état de fonctionnement,
- y apporter des modifications et les réparer, le cas échéant,
- en découvrir de nouveaux (recherche documentaire) et les construire,
- rédiger des fiches descriptives et explicatives des phénomènes, pour le « grand public ».

L'équipe qui travaille à ce projet envisage de faire des liens entre des observations quotidiennes et des concepts fondamentaux mobilisés dans leurs recherches sur les granulaires. Les modalités choisies sont, entre autres, la participation au village des sciences pour y rencontrer un public non spécialiste, l'utilisation de dispositifs expérimentaux et la création de supports écrits, adaptés à un public non connaisseur.

En 2011, Chloé, une étudiante en troisième année de Licence de physique, fait un stage de sept semaines dans le département alors appelé « Granulaires et mousses ». Elle adhère au projet du département de « *vulgariser* » certains concepts fondamentaux de la physique des

112 C'est nous qui soulignons au passage, la transposition « quasi immédiate » du terme « manip » qui désigne aussi les dispositifs expérimentaux.

granulaires. Il s'agit de formaliser la transmission de certaines connaissances scientifiques pour un vaste public. Son maître de stage et des permanents du département définissent l'objet du stand : le sable sous deux formes, sec et humide (Texte 5, p. 265).

Le point de départ donné à la stagiaire est un ensemble de dispositifs existants dans le laboratoire. Ils permettent d'illustrer quatre concepts fondamentaux de la physique du sable (cf. ci-dessous), et sont liés à des expériences quotidiennes. Deux projets de dispositifs sont ajoutés à la liste initiale :

Le sable

Dans le sable mouillé, de l'eau se trouve entre les grains. Dans le sable sec, de l'air se trouve entre les grains. Ce sont les deux formes naturelles sous lesquelles nous connaissons le matériau. Nous approchons ainsi le concept de milieu granulaire : un système qui présente une phase dispersée (grains) dans une phase continue (air ou eau).

Texte 5: Le concept de sable

- une copie du dispositif montré par un physicien, Daniel Bonn. Lors d'une conférence à l'IPR, il communique ses résultats de recherche récents sur les sables mouvants. Nous montrons l'adoption de l'idée du dispositif pour le « grand public » dans la section 8.3.2 (p. 279) et développons quelques étapes de la recherche sur les sables mouvants dans la section B (p. 294) ;
- un dispositif directement inspiré d'une manip sur rides de sable et formation des dunes, pour illustrer un des axes de recherche du laboratoire.

Le rapport de stage de Chloé (Méjean, 2011) annonce *« les 6 démonstrations proposées :*

- *La dilatance de Reynolds*
- *Les rides de sable*
- *Les sables mouvants*
- *Le sablier intermittent*
- *La colonne de pois chiches*
- *La ségrégation des grains »*

La stagiaire étudie des aspects de la physique granulaire avec les chercheurs, et aide Alain, l'assistant ingénieur, à la conception des dispositifs. Elle rédige, pour de nouveaux utilisateurs des dispositifs, les fiches descriptives sous la direction de l'équipe Granulaires et Mousses de l'IPR ; Alain réalise les maquettes fonctionnelles. Les phénomènes présentés sont encore, pour certains, à l'état de la recherche.

Les fiches, constituées en livret, sont la version de l'équipe du laboratoire, du *curricurial brief*[113] décrit par Mortensen : *« the brief provides a means of translation between a scientific*

113 *« Indeed, in practice, exhibition engineering usually entails the formulation of a document or collection of documents, the curatorial brief (Nicks, 2002, p. 356), which spans the boundary between the context within*

context and an exhibition context. » (2010, p. 43) Elles sont également la base pour constituer les posters du stand.

> Elles doivent *« comporter principalement les schémas importants pour chacune des démonstrations afin de faciliter l'explication, par la suite, des chercheurs au public. » (Méjean, 2011, p. 8) « Ces posters sont conçus pour un public qui ne s'y connaît pas forcément en physique, ni même en sciences, mais qui a quand même la curiosité de découvrir les stands. Le vocabulaire ne doit pas être trop compliqué, afin d'inciter ces gens (qui se sont arrêtés devant le stand) à rester. » (ibid)*

Sur chaque fiche[114], un titre renvoie au phénomène abordé. Tantôt, les mots sont ceux du langage quotidien (*« rides de sable »* ou *« sables mouvants »*), tantôt, les termes scientifiques sont maintenus car l'expression, avec l'aide de l'illustration, est suffisamment explicite (« *ségrégation granulaire », « dilatance », « effet de voûte » ou « redirection de forces »*). Un sous-titre dit *« accrocheur »* apparaît sous la forme d'une question. Celle-ci est relative à une observation dans la vie quotidienne (*Pourquoi observe-t-on des plis de sable à marée basse ?*), surprenante (*Combien pèse un kilo de grains ?*) ou humoristique (*Pourquoi ce sablier fait-il Tic-tac ?*). La description du phénomène est présentée sous la forme d'un court texte accompagné d'une photo, d'un dessin ou d'un schéma. Le phénomène décrit est celui présenté par le dispositif expérimental. Le phénomène naturel de référence est quelquefois évoqué. L'explication est scientifique, mais sans formulation mathématique. Des schémas, principalement des représentations en coupe de la matière granulaire, sont accompagnés de petits textes.

À la fin du stage de Chloé, et pendant deux jours, une autre stagiaire, Elise (lycéenne de seconde) teste les fiches et les dispositifs. Alain nous explique : « pour être bien sûrs de notre coup, il fallait qu'on ait un « cobaye » pour voir comment il va s'y prendre avec les informations qu'on a données » (Entretien préalable à la Fête de la science, Alain). La lycéenne rédige, pour chaque dispositif, « un mode d'emploi » qui explicite les procédures d'utilisation de chaque dispositif. Ses indications (entre quatre et neuf points par fiche) sont de deux types :

- techniques : « *utiliser une plaquette pour bloquer la chute des grains »* ;
- didactiques : « *observer que le personnage s'enlise mais ne coule pas »* ;

A l'issue de ce travail, l'équipe Granulaires et mousses a le projet de créer un

which the scientific knowledge evolves and exists and the context within which a physical installation, namely the exhibition, is developed and implemented. » (Mortensen, 2010, p. 43)

114 Fiches en ligne https://ipr.univ-rennes1.fr/archives/1680, et posters issus des fiches en annexes 36 et 35.

experimentarium : il s'agit de rassembler les dispositifs et les fiches dans une salle, pour les utiliser de façon plus régulière. Parmi les actions de communications menées par le laboratoire, la visite des « salles de manip » par des lycéens ou des étudiants est récurrente. Montrer ces dispositifs dans l'experimentarium permettrait d'initier les visiteurs aux phénomènes fondamentaux de la physique des granulaires avant d'aller voir les équipements plus complexes dans les « salles de manip ». Ce projet ne voit pas le jour mais l'ensemble des dispositifs et des supports écrits sont conservés, montrés et diffusés. Ces derniers sont transformés en deux posters (orientation *paysage*) au format A0 (118,9 cm x 84,1 cm) : « *le sable humide* » (annexe 36) et « *le sable sec* » (annexe 35). Ils sont utilisés pour l'édition 2013 du stand « Le sable dans tous ses états ». Une version A4 (29,7 cm x 21 cm) papier est offerte aux visiteurs du stand en 2011 et 2013 (toujours millésimée « Village des sciences 2011 »). Un de ces mini-poster est affiché dans la salle de manip de Lucie, près de ses chenaux expérimentaux, pour les visiteurs. Une version numérique des fiches est publiée sous l'onglet « Grand public » du site de l'IPR[115].

8.2.3 Genèse du choix des dispositifs pour l'édition 2013 du village des sciences

La préparation du stand est le premier moment que nous passons avec l'équipe de l'IPR. Mickaël est notre contact et nous invite à y participer, avec la complicité d'Alain, l'assistant ingénieur (CNRS), attaché au département. Alain a la responsabilité, tous les deux ans, de la coordination et de la mise en place du stand des Milieux divisés, au village des sciences. Il prend en charge la préparation matérielle du stand. Puis il organise, pour les doctorants, une présentation de deux heures des dispositifs de médiation disponibles, trois semaines avant l'événement.

Alain, l'assistant ingénieur, mène les échanges pendant la préparation. Il a rassemblé, sur une table, l'ensemble des dispositifs utilisés pour les dernières éditions du village des sciences. La rencontre est centrée sur les dispositifs présentés.

Nous participons à cette préparation en tant que chercheur-anthropologue, mais aussi public non connaisseur. En effet, l'équipe de doctorants et l'assistant ingénieur nous incorporent à la préparation avec plusieurs rôles :

- pour notre recherche, ils nous donnent les rapports et les fiches produits par Chloé et

115 https://ipr.univ-rennes1.fr/archives/1680

Elise, traces de la constitution d'un fonds de dispositifs de communication ;

- ils s'adressent à nous comme public, lors de « simulations » de médiations ;
- nous prenons en notes les achats et modifications de matériel décidés pendant cette préparation (nous étions la seule à avoir de quoi noter) pour en faire une liste envoyée ensuite par mail au groupe.

Les doctorants vivent une préparation où, eux aussi, ont plusieurs rôles :

- ils sont souvent en situation d'apprentissage quant aux dispositifs expérimentaux proprement dits, car selon leur expérience de la fête de la science, ils les découvrent par l'intermédiaire de l'assistant. Lors de leur formation universitaire, les étudiants ne voient pas le *phénomène réel*[116]. Les problèmes sont posés et résolus de façon théorique.

Nous interrogeons Lucie sur l'enseignement de la physique des granulaires à l'université. Elle n'a découvert ce domaine qu'en Master 2 « Systèmes complexes ». Alors que nous l'interrogeons sur les raisons de cet enseignement tardif, elle nous explique :

L : Faut avoir de bonnes bases en mécanique. Faut aussi connaître un côté d'hydro, pour appréhender le fait qu'il y ait les deux. Je pense que c'est pour ça que ça arrive si tard parce que c'est quelque chose d'assez particulier finalement. Donc y-avait deux parties : y-avait une partie cours, en salle, où on a appris l'effet Janssen, des choses comme ça, et une partie qui était modélisation numérique (…)

C : et par exemple l'expérience de Janssen puisque t'en parlais tout à l'heure, on vous l'a présentée comment ? (Lucie, entretien préalable 3/3, annexe 39, « complexe »)

Au VDS, un dispositif donne à voir le phénomène de création de champs de forces dans un granulaire. L'effet Janssen est une loi formulée par l'ingénieur allemand Janssen en 1895 (Illustration 112, p. 269), pour expliquer le phénomène d'éclatement des silos à grains, et proposer des solutions pour y remédier (1895, p. 1046). Il formule la propriété suivante : Il formule la propriété suivante : *« tout ajout de matériau granulaire au-delà d'une hauteur caractéristique n'affecte pas la masse portée par la base » (op. cit.)*. Autrement dit, dans une colonne de grains, le poids mesuré à la base de la colonne n'est pas toujours égal au poids du grain contenu dans la colonne : *« lorsque l'on verse une masse de grain, une partie se répercute verticalement et l'autre latéralement (effet de "voûtes") et c'est cette dernière qui est responsable de l'éclatement des silos. Souvent la partie latérale du silo, contrairement au fond, n'est pas fabriquée pour résister à des charges importantes » (« Modèle de Janssen », 2015)*. Au village des sciences,

116 *« Les phénomènes sont réels, nous les voyons se produire »* (Hacking, 1989, p. 349).

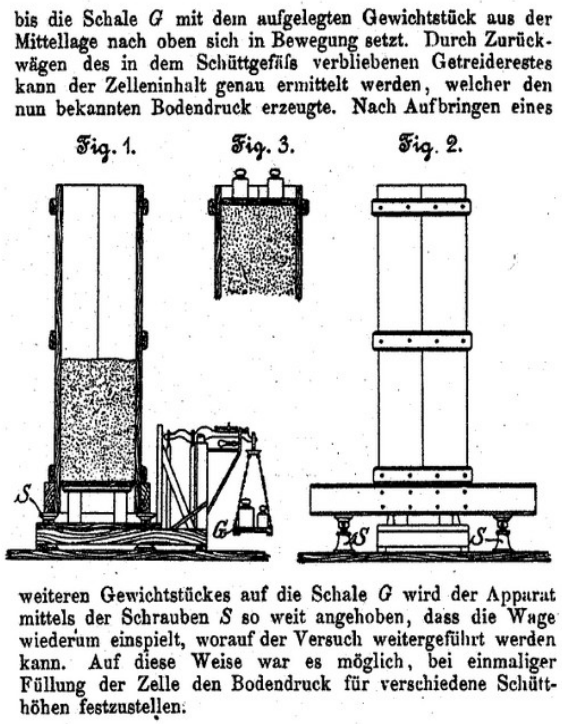

bis die Schale G mit dem aufgelegten Gewichtstück aus der Mittellage nach oben sich in Bewegung setzt. Durch Zurückwägen des in dem Schüttgefäfs verbliebenen Getreiderestes kann der Zelleninhalt genau ermittelt werden, welcher den nun bekannten Bodendruck erzeugte. Nach Aufbringen eines

Fig. 1. Fig. 3. Fig. 2.

weiteren Gewichtstückes auf die Schale G wird der Apparat mittels der Schrauben S so weit angehoben, dass die Wage wiederum einspielt, worauf der Versuch weitergeführt werden kann. Auf diese Weise war es möglich, bei einmaliger Füllung der Zelle den Bodendruck für verschiedene Schütthöhen festzustellen.

Illustration 112: Expérience de Janssen (1895, p. 1046)

les médiateurs pèsent les grains versés dans une colonne. La colonne verticale est un tube fixé à une potence, et maintenu à quelques millimètres au-dessus du plateau d'une balance. Les grains appuient sur la balance, mais pas le tube. Le public peut observer l'affichage de la masse : en cours de remplissage de la colonne avec des pois chiches, sa valeur augmente, puis ne varie plus[117]. Lorsque l'on soulève la colonne, on observe des voûtes formées par les grains. Certains prennent appui sur les parois (redirection des forces) et soutiennent (sous la forme de voûtes) ceux qui sont au-dessus (Illustration 113, p. 270).

L : C'est plutôt une approche mécanique, donc on écrit un problème, on dessine le problème : donc je considère que j'ai un cylindre, je mets des grains dedans, je regarde les forces qui s'exercent dessus, je fais un bilan mécanique de forces, je regarde comment ça a évolué et du coup j'en déduis qu'il va se passer ça. Ce qui est en fait cette démarche-là la démarche de Janssen c'est comme ça qu'on l'apprend en fait : on commence par dessiner le problème, on fait des bilans de forces, on arrive à établir l'équation et donc le phénomène. Et ensuite on compare avec l'autre : et si c'était de l'eau ça ferait pas ça… (ibid, « Janssen »)

En effet, le phénomène observé est lié à la granularité de la matière (ici des pois chiches). Dans le cas de l'eau, le poids mesuré à la base est égal au poids d'eau dans la colonne.

C : et vous la voyiez l'expérience avant ? ou après ?

L : non y-a pas de manip encore. On fait travailler notre esprit quoi. On n'a pas de visualisation. La seule visualisation qu'on a eue dans ce cours, c'est un diaporama au début : les grains y-a ça, y-a ça, y-a du béton, y-a des graviers, des choses comme ça. Mais au niveau du cours, on écrit, on parle et puis voilà. On vérifie que par les maths en fait(ibid. « math »)

L'expérience de Janssen ne fait pas l'objet d'un enseignement en Master. Les doctorants découvrent le dispositif phénoménotechnique (de production du phénomène) à l'occasion de la préparation du stand. Ils maîtrisent la partie phénoménographique, les modèles mathématiques et physiques qui donnent à voir, à comprendre et à prédire le phénomène.

117 Par ailleurs, la masse lue sur l'écran est très inférieure à la masse de la même quantité de grains préalablement pesée.

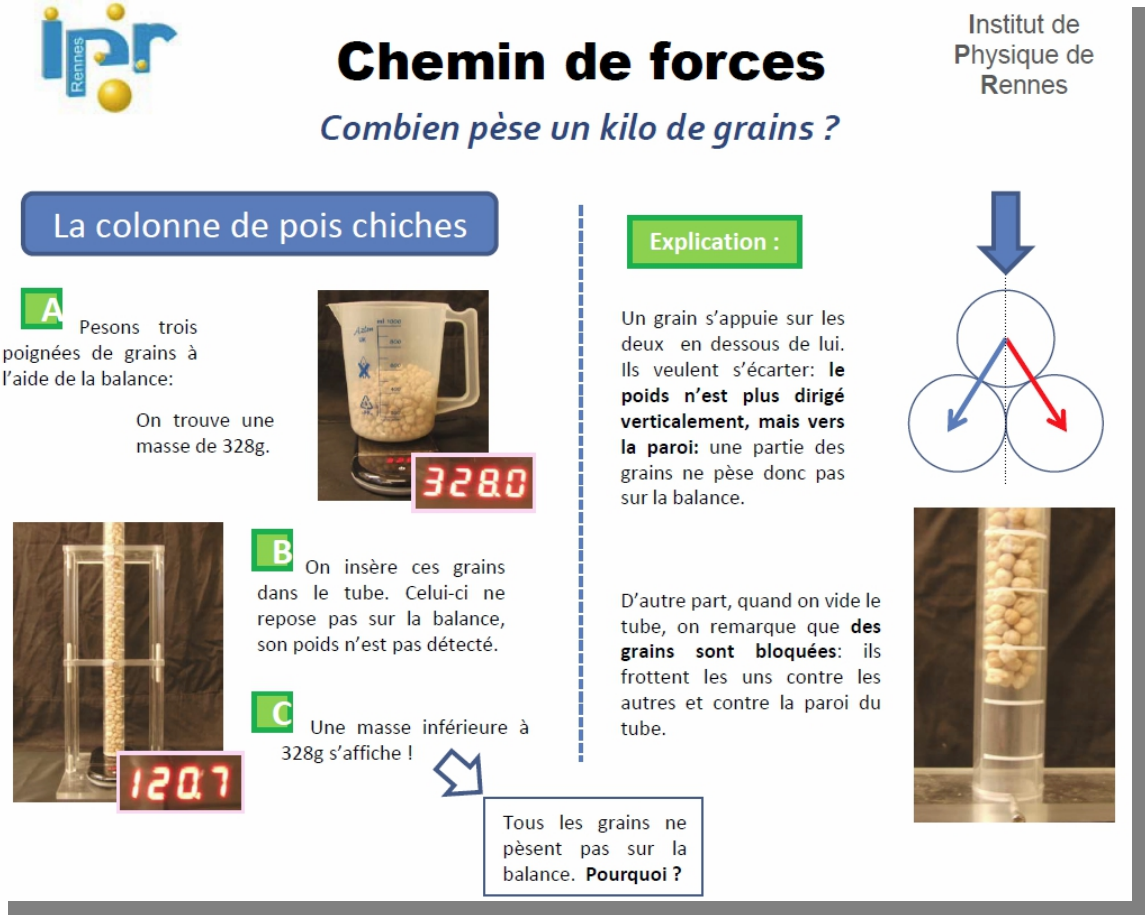


Illustration 113: Extrait de la fiche sur les chemins de forces (modifié en « redirection » de forces sur l'affiche)

- Ils sont parfois en situation de professeur quand ils font part de leur expérience dans l'utilisation de certains dispositifs. Lucie connaît très bien le micro-chenal et répond aux questions de ses collègues. Mickaël fait part de son expérience de médiation sur le stand en 2011 et rassure les autres. Il n'y a pas d'apport théorique entre les doctorants ou entre les doctorants et l'assistant ingénieur. Ils échangent à propos de gestes techniques pour faire fonctionner les dispositifs. Ils témoignent de leurs connaissances des réactions habituelles du public. Ils montrent comment ils font ou feraient en situation de médiation, en jouant avec leurs pairs comme avec le public.
- Enfin, les doctorants sont sollicités par l'assistant ingénieur pour valider (ou pas) des transformations matérielles ou des propositions de nouveaux dispositifs.

Alain, l'assistant ingénieur se met en situation de médiateur.

- Il a une expérience didactique de l'utilisation des dispositifs avec le « grand public ».

- Il a une fonction technique, en capacité de mettre et remettre en marche les dispositifs et de les adapter aux nouvelles propositions.
- D'autres fois encore, mémoire du collectif, il rappelle l'histoire et les processus de la construction de ces dispositifs, leur origine, et les éditions précédentes du village des sciences.

Alain annonce son absence sur le stand pour cette édition : contrairement aux années précédentes, il ne sera pas présent au village des sciences. Il encadre, au même moment, un autre événement de la Fête de la science, ailleurs ; les doctorants doivent être autonomes. La forme que prend cette préparation, cette transmission de savoirs, selon cette modalité d'enseignement-apprentissage, nous semble proche de ce que Oddone et ses associés, dans les années '70, observent dans l'usine FIAT de Mirafiori (Oddone, Re, & Briante, 2008/1977) *« Ce livre traite essentiellement de comment dans l'usine, le technicien s'approprie l'expérience des ouvriers et de comment les ouvriers tendent à se réapproprier des modèles théoriques qui dérivent de cette expérience-là »*[118] *(2008, p. vii)* Leur étude débouche sur une méthodologie d'enquête, l'*instruction au sosie,* mise au point pour répondre à un besoin (en opposition aux enquêtes menées avec des questionnaires) : connaître les processus d'acquisition de l'expérience professionnelle pour pouvoir en faire un modèle et le transmettre, plutôt que d'avoir des solutions, sans connaître le processus qui permet d'y arriver[119]. Cette méthodologie est basée sur les instructions que pourrait donner un ouvrier à un autre, s'il devait se faire remplacer par lui, sans que personne ne s'aperçoive de la substitution. Les auteurs pensaient que[120] les ouvriers *« étaient porteurs de modèles interprétatifs de la réalité de l'usine, caractérisés par des stratégies comportementales prêtes à transformer l'organisation du travail, mais qu'ils n'étaient pas pleinement conscients de l'importance de la portée culturelle et scientifique de ces modèles. »* (2008, p. 41-42) La possibilité de l'instruction au sosie est validée par l'expertise pratique des ouvriers. Ici, l'assistant ingénieur a acquis et élaboré une expertise pratique dans ses

118 *"Questo libro tratta essenzialmente di come nella fabbrica il tecnico si appropri dell'esperienza operaia e di come gli operai tendano a riappropriarsi dei modelli teorici che anche da quella esperienza derivano"* (ibid. p. vii).

119 *"Il limite reale della tecnica usata inizialmente stava nel tipo di informazione trasmessa ; privilegiando le soluzioni rispetto al momento della ricerca, si ancorava l'esperienza alla capacita individuale invece che al metodo, ai modi attraverso i quali si era arrivati a queste soluzioni. Si recuperava cioè il frutto dell'esperienza, ma si perdeva la possibilità di capire i modi in cui si faceva esperienza e la possibilità di trasmetterla, con il rischio di ricadere in un confronto fra le persone anziche fra il modo di imparare delle persone »* (ibid. p. 43).

120 *"In conclusione erano portatori di modelli interpretativi della realtà di fabbrica caratterizzati da strategie di comportamento volte a trasformare l'organizzazione del lavoro, ma non erano pienamente coscienti dell'importanza di questi modelli come portato culturale e scientifico"* (ibid.p. 41-42).

interactions régulières avec le collectif de chercheurs.

L'assistant ingénieur et les doctorants n'ont pas les mêmes fonctions dans le laboratoire (voir en annexe 5, *les métiers dans un laboratoire de physique*). Les dispositifs matériels construits conjointement par l'assistant ingénieur et les chercheurs du laboratoire, ainsi que son expérience de médiation scientifique, confèrent, à Alain, des connaissances que les doctorants n'ont pas. Il sait ce que ces dispositifs peuvent montrer au « grand public ». Il en connaît les enjeux. De plus, dans ses transactions avec les chercheurs permanents, il a assimilé plusieurs aspects théoriques afférents aux dispositifs construits. Il a donc construit des éléments d'une certaine *expertise interactionnelle* (Collins & Evans, 2002). Il utilise les dispositifs pour des médiations, il a une expérience didactique de leur utilisation avec le « grand public ». Il parvient même à produire des dispositifs nouveaux (voir l'évolution du modèle du sable mouvant, § 8.3.2, p. 281), didactiquement pertinents. Cependant, avant toute modification ou conception d'un dispositif, l'assistant ingénieur interroge les chercheurs (doctorants ou permanents). Il s'en explique `«moi j'fais l'instrumentation\ moi je ne suis pas du tout physicien»`. Cette précaution n'enlève rien à son expertise dans le cadre de l'utilisation didactique des dispositifs sur le stand.

Les doctorants ont un arrière-plan théorique très important dans les domaines où ils sont spécialisés. Ils connaissent les aspects théoriques en jeu dans la majorité des dispositifs du stand, car les thématiques abordées sont les bases des savoirs actuels sur les granulaires. Cependant, s'ils maîtrisent les phénomènes physiques sur un plan théorique, ils ne sont pas coutumiers des montages empiriques qui les donnent à voir. Les doctorants ne sont pas connaisseurs des dispositifs présentés, à l'exception de Lucie dont le dispositif expérimental (le chenal), a inspiré le dispositif de démonstration au « grand public » (le micro-chenal).

Nous ne développons pas ici l'ensemble des dispositifs montrés sur le stand. Ils correspondent aux thématiques annoncées sur les affiches « Sable sec » et « Sable humide ». Au fil des études de cas nous faisons des *flashbacks* sur la préparation quand cela nous paraît pertinent.

8.2.4 En bref : le stand

Les dispositifs présents sur le stand sont issus d'un travail de l'équipe du département des milieux divisés mené pendant plusieurs années. L'assistant ingénieur coordonne la mise en place du stand et organise une préparation pour les doctorants qui s'engagent dans les

médiations. Il sait quels sont les phénomènes montrés par les dispositifs. Il connaît l'origine de la collection de ressources de l'équipe, leur rôle et leur fonctionnement. Il a une expérience de leur utilisation en situation de médiation pour un public de non-connaisseurs.

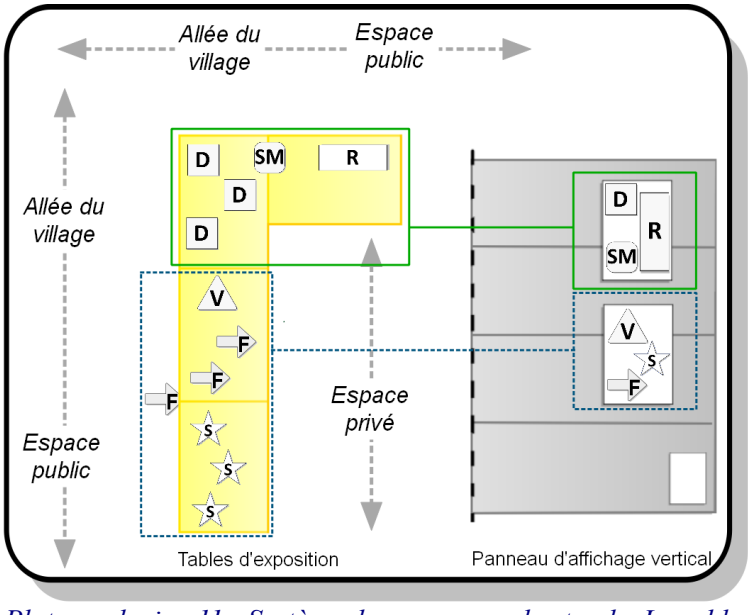
Illustration 114: Stand IPR, zone « sable humide » (vendredi)

Illustration 115: Stand IPR, zone « sable sec »

Les médiateurs se déplacent dans un espace privé entre la table d'exposition et le panneau d'affichage. Ce stand se trouve à l'angle de deux allées où se trouvent les visiteurs.

Le stand de l'IPR (illustrations 114 et 115, p. 273) est organisé en deux parties distinctes et complémentaires, matérialisées par deux posters (annexes 35 et 36) correspondant aux deux zones : « *le sable humide* » (Illustration 114, p. 273, le vendredi et 117, p. 275, le samedi et le dimanche) et « *le sable sec* » (Illustration 115, p. 273 et Illustration 116, p. 274).

Dans chaque zone associée à un poster, des dispositifs expérimentaux visent à illustrer des phénomènes fondamentaux de la physique des milieux divisés, ou granulaires.



Légende

- Ressources sur le **sable humide** en lien avec les phénomènes de
  - R Rides de sable
  - D Dilatance
  - SM Sables mouvants
- Ressources sur le **sable sec** en lien avec les phénomènes de
  - V Effet de voûte
  - S Ségrégation granulaire
  - F Redirection de forces

Plateau_de_jeu 11 : Système de ressources du stand « Le sable dans tous ses états » (aménagement des samedi et dimanche)

8.2.4.1 Dans la zone du sable sec,

- la ségrégation granulaire (S) est visible dans un tambour tournant et dans un sablier contenant des billes de deux dimensions ; dans un pot de sable avec des billes ;
- les effets de voûte (V) sont montrés dans un sablier équipé d'une déviation pour contrôler la pression de l'air dans les chambres ;
- la redirection de forces (F) est principalement montrée avec une colonne contenant des pois chiches, et une balance ; Antoine ajoute au dispositif matériel une expérience à réaliser avec le corps des élèves et un pèse-personne qui se trouve sous la table ; enfin, le phénomène est aussi observé avec un bâton emprisonné dans du sable.

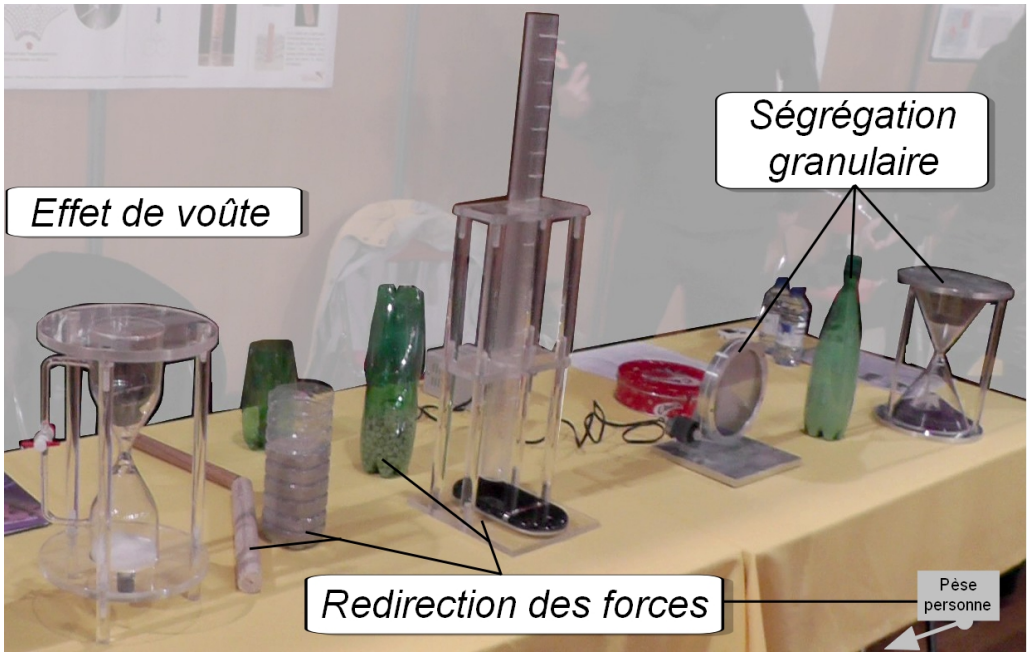


Illustration 116: Zone du « sable sec »

Nous observons un agencement conceptuel des ressources. Quand elles sont plusieurs pour un même thème, elles sont combinées pour montrer plusieurs effets du même phénomène.

8.2.4.2 Dans la zone du sable humide,

- le phénomène de la dilatance (D) est montré sous deux formes, et expliqué avec un modèle en 3D ;
- le sable mouvant (SM) est présenté dans un pot. Deux figurines qui s'y enfoncent plus ou moins quand le pot est agité ;
- les rides de sable (R) se forment dans le « micro-chenal ».

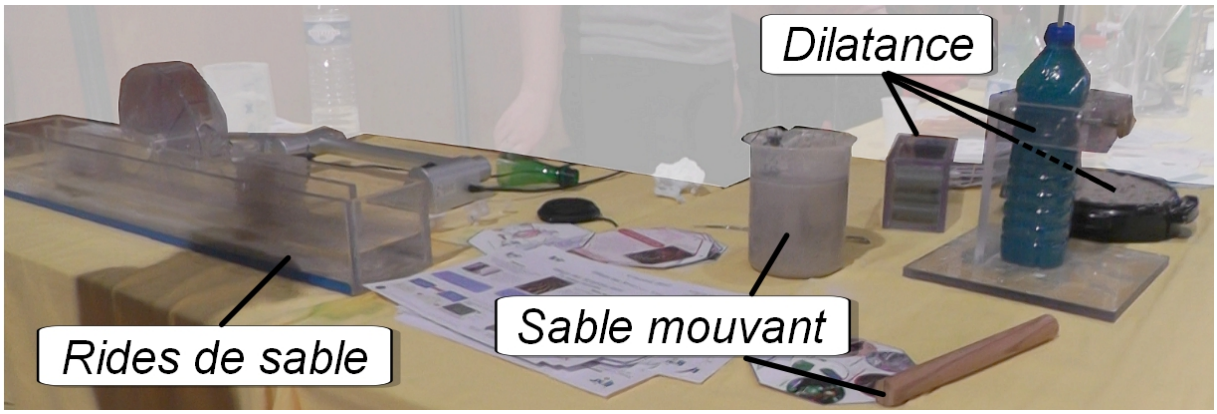


Illustration 117: Zone du « sable humide », samedi et dimanche, pour le « grand public »

8.3 Des sables mouvants : zoom sur une thématique du stand

Parmi les thèmes abordés sur le stand du sable, nous choisissons de développer, dans notre travail de recherche, celui des sables mouvants. Nos enquêtes nous mènent sur les pistes « fraîches » de découvertes relativement récentes. Dans un premier temps, nous décrivons les deux artefacts principaux utilisés par les médiateurs pour didactiser les sables mouvants au public (8.3.1, p. 275). Dans un second temps, nous retraçons l'origine du modèle analogique utilisé (8.3.2, p. 279). Ceci nous amène à nous intéresser à cet objet de savoirs hybrides (8.3.3, p. 282), le(s) sable(s) mouvant(s).

8.3.1 Deux artefacts clés pour les médiateurs

8.3.1.1 Le modèle analogique de sable mouvant

Le dispositif expérimental est composé d'un pot contenant du sable mouvant (de laboratoire), un mélange d'eau, de sel, de sable et d'argile, préparé par l'assistant ingénieur de l'IPR. Nous le définissons comme *modèle analogique* selon la classification de Chorley et Haggett (1967). Il reproduit les caractéristiques majeures du phénomène naturel. L'observation de son comportement permet donc de montrer le phénomène. Une équipe de scientifiques l'a démontré : *« By mixing sand and clay in salt water, a laboratory quicksand can becreated with a structure that reproduces the behaviour of the natural quicksand »* (Khaldoun, Eiser, Wegdam, & Bonn, 2005, p. 635). Nous revenons sur cette recherche dans les sections 8.3.2 et B.

Illustration 118: Modèle analogique des sables mouvants

Le pot est présenté avec deux figurines (Illustration 118, p.276). Elles ont la même apparence (des bonshommes) mais l'une est plus petite que l'autre. La plus grande a une densité proche de celle de l'homme (densité ≈ 1) ; la petite est en plomb (densité ≈ 11). Elles ont toutes les deux la même masse. La situation mise en place sur le stand est une *simulation* du comportement d'objets posés sur un sable mouvant, puis de leur enlisement quand le système est agité. Nous appelons *simulation* l'action de mise en œuvre dynamique du modèle, ici sous une forme manipulatoire (physique).

Un agitateur manuel permet de créer une action mécanique sur le sable mouvant. Il est remplacé, au fil des médiations, par un bâton avec lequel on secoue le pot.

Des tiges métalliques fonctionnelles permettent de retirer les figurines du sable mouvant sans avoir à plonger les doigts dans le mélange.

En salle, les manipulations sont plus aisées avec un modèle analogique (un échantillon de sables mouvants ou un mélange analogue) et des objets dimensionnés pour le récipient dans lequel se trouve le mélange. Le modèle est dynamique : il est prévu d'en étudier le comportement physique dans le temps, sous des contraintes de forces. Les modèles analogiques sont communément utilisés par les géologues pour palier les contraintes de temps et d'espace. Les analogues utilisés ne sont pas forcément de la même composition que les milieux d'origine, mais ont les mêmes propriétés d'élasticité, de viscosité ou de densité. Les actions mécaniques (la station immobile et le piétinement) sont reproduites par analogie : le dépôt des objets sur le sable et les vibrations sont provoqués de l'extérieur (Tableau 3, p.277).

Le modèle sert ici à créer une simulation sous une forme manipulatoire. Les médiateurs obtiennent une représentation dynamique d'événements : une situation initiale, et deux situations finales en fonction de la variation du paramètre, la densité des objets posés sur le mélange. La simulation peut être explicitée par des savoirs théoriques qui sont imprimés sur un poster.

Vie quotidienne Expérience de sables mouvants réels	Simulation avec le modèle « grand public » de l'IPR
Pratique de référence : découverte empirique Expérience(fortuite ou pas) de sables mouvants réels	**Pratique de référence : didactisation** Simulation du phénomène des sables mouvants, en relation avec une pratique humaine : la rencontre de sables mouvants
Sables mouvants de la baie du Mont-Saint-Michel	Modèle analogique de « sable mouvant » Mélange eau + sel + sable + argile (Densité proche de 2)
Humain ou animal	Figurine (Ω) avec une densité proche de l'homme ou de l'animal (densité proche de 1)
Objet ayant une densité beaucoup plus forte que celle de l'homme et du sable mouvant	Figurine (Pb) de plomb (densité proche de 11)
Déplacement sur les sables mouvants Action 1 : Station immobile possible sur les sables mouvants Action 2 : Piétinements humains plus ou moins forts	**Création d'un mouvement** Action 1- Dépôt des figurines (Ω et Pb) sur les sables mouvants Action 2- Agitation ou vibration du sable mouvant autour des figurines
Phénomènes observés Effet 1 : l'humain et l'animal qui ne s'agitent pas ne s'enfoncent pas. Effet 2 : l'humain qui s'agite s'enfonce, mais ne coule pas. Photogramme extrait du documentaire (« Est-il possible de se sortir des sables mouvants ? », 2012, tc 13 :46)	**Phénomènes observés** Effet 1- les figurines (Ω et Pb) ne s'enfoncent pas si le mélange n'est pas agité Effet 2- Ω surnage et ne coule pas quelle que soit la durée de l'agitation — Pb coule complètement et rapidement
Échappée (sauvetage) des sables mouvants difficulté pour extraire ses jambes emprisonnées ; nécessité d'une aide technique.	**Retrait des figurines des sables mouvants** résistance ressentie au toucher

Tableau 3: Modèle analogique des sables mouvants et ce qui est représenté (un document de travail est présenté en annexe 11)

8.3.1.2 Le poster sur le sable humide

Deux posters sont affichés sur le stand. L'un concerne le sable sec (annexe 35), l'autre le sable humide (annexe 36). La partie du poster relative aux sables mouvants est organisée autour de trois questions. Qu'est-ce qu'un sable mouvant ? Pourquoi s'enlise-t-on ? Pourquoi est-il impossible de s'y noyer ? Un schéma accompagné d'une explication illustre chaque réponse. Nous les numérotons pour nous y référer lors de l'étude de cas.

Schéma 1 – Qu'est-ce qu'un sable mouvant ?

Le premier schéma décrit la composition de l'argile contenue dans le sable mouvant. Elle est constituée de plaquettes qui ont une structure en « château de cartes » au repos. La structure représentée est microscopique, de l'ordre du micromètre (Illustration 119, p. 278).

Elle suggère un milieu relativement solide, capable de soutenir un objet immobile.

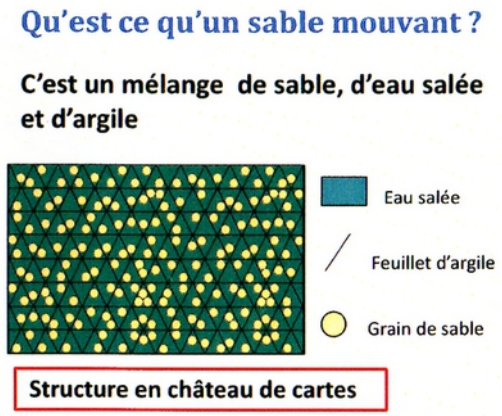


Illustration 119: Schéma 1, poster « Sable humide »

Schéma 2 – Pourquoi s'enlise-t-on ?

Le second schéma évoque le comportement thixotrope[121] de l'argile sous l'effet de vibrations (ici, un homme qui marche). Le sol se liquéfie, l'homme s'enfonce et ses jambes se trouvent coincées par l'argile qui a floculé[122] et s'est déposée, agglomérée et mélangée aux grains de sable, autour des chevilles (Illustration 120, p. 278).

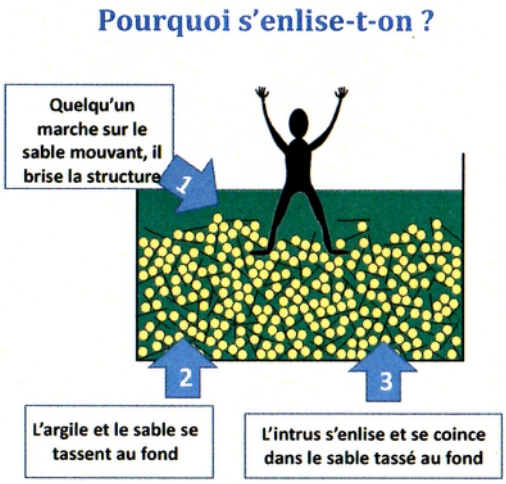


Illustration 120: Schéma 2, poster « Sable humide »

121 Thixotrope : relatif à la *thixotropie*, *« du grec thixis « action de toucher » et – tropie. CHIM. Se dit de gels qui se liquéfient par agitation et se régénèrent au repos. GEOL. Sédiments, sols thixotropes »* (« Thixotrope », 2013).

122 *« La floculation est le processus physico-chimique au cours duquel des matières en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses, nommées flocs. Les flocs sédimentent généralement beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés »* (« Floculation », s. d.).

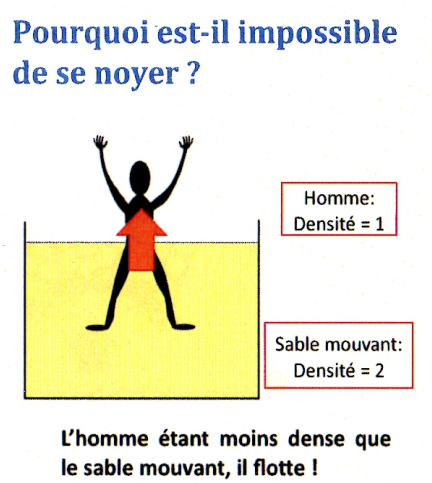


Illustration 121: Schéma 3, poster « Sable humide »

Schéma 3 – Pourquoi est-il impossible de se noyer ?

Le troisième schéma (Illustration 121, p. 279) rappelle qu'un homme ne peut couler dans un fluide plus dense que son corps. Les densités de l'homme et du sable mouvant sont données, et une grosse flèche rouge représente la *poussée d'Archimède* salvatrice. Rappelons deux propositions du « théorème d'Archimède" : « *V : un solide plus léger que le liquide où on l'abandonne flotte et occupe un volume de liquide ayant le même poids que lui* » ; « *VII : un solide plus lourd que le liquide coule et voit son poids diminué du poids d'un volume de liquide égal à son volume* ».

(Legrand & Archimède, 1891, p. 437-457)[123]. Entendons « plus léger que » et « plus lourd que » comme « ayant une masse volumique inférieure à » et « ayant une masse volumique supérieure à ».

8.3.2 Origine et évolution du modèle analogique

Quelque temps avant la structuration de son système de ressources pour la « vulgarisation pour le « grand public"[124] », l'IPR accueille le physicien Daniel Bonn (du laboratoire Van der Waals-Zeeman de l'Université d'Amsterdam et du laboratoire de physique statistique de l'École Normale Supérieure de Paris), pour une conférence. Celui-ci montre le dispositif que son équipe a mis au point pour montrer qu'on ne peut pas disparaître dans les sables mouvants. Une trace de ce la didactisation de ce dispositif par le physicien lui-même est encapsulée dans une courte vidéo sur le site du CNRS (2005, tc 03 :38) :

> *on a construit une petite expérience au laboratoire avec une petite figurine qui bouge dans le sable mouvant et lorsque j'augmente l'amplitude, la figurine va s'enfoncer. Mais rassurez-vous puisque vous êtes beaucoup moins dense que le sable mouvant – le sable est très très dense – vous ne pouvez jamais vous enfoncer complètement et vous ne pouvez pas vous noyer dans le sable mouvant comme c'est parfois raconté dans des films.* (CNRS, 2005)

Photogramme 66: Extrait de « Daniel Bonn, physicien », Vidéothèque du CNRS

123 Le texte original est écrit en grec aux alentours de 250 av. J-C.
124 Expression utilisée par l'IPR.

La figurine est posée sur du sable mouvant, dans un pot mis en mouvement par un vibreur électrique. L'amplitude peut être quantitativement contrôlées, mais les données numériques ne sont pas relevées. La figurine, initialement posée sur le sable mouvant (avec une amplitude nulle), s'enfonce quand on augmente l'amplitude, mais s'arrête à un certain seuil, même si on continue de l'agiter (Photogramme 66, p.279, *tc 03 :38*).

Photogramme 67: Dispositif de didactisation de l'équipe de Bonn en 2005

Pour le « grand public », la communication des résultats de l'équipe de Bonn porte principalement sur le phénomène déjà connu de la poussée d'Archimède. La figurine a les traits de Taz, un personnage des *Looney Tunes* de la Warner Bros. Le dispositif permet de montrer que, sans agitation, un homme ou un animal peut tenir sur des sables mouvants, et qu'en s'agitant il s'enfonce. Cependant, sa densité étant plus faible que celle du milieu sur lequel il se trouve, il ne peut entièrement être englouti. L'équipe de chercheurs ne conserve que l'aspect qualitatif de ce qu'elle veut montrer : des objets de différentes densités ne sont pas utilisés ; l'enfoncement de la figurine n'est pas mesuré en fonction de l'amplitude des vibrations. Il s'agit de la version « *cartoon* » d'un test d'immersion, dit « *sinking test* » , utilisé en laboratoire.

> *We also simulated someone moving in quicksand to see whether – once partially submerged – the victim would sink helplessly beneath the surface. A sinking test was used in which the speed at which an aluminium bead (radius r = 2 mm) sinks into quicksand is measured. At rest, the bead remains on the surface, although it has a higher density (ρ) than the quicksand (2.7 g ml^{-1} compared with 2 g ml^{-1}). If the whole system is mechanically shaken to mimic movement in the quicksand, the results agree with the rheological findings. At small amplitudes (acceleration a < 16 ms^{-2}), the bead stays afloat ; however, liquefaction occurs at larger amplitudes and the resulting low viscosity causes the bead to fall to the bottom of the container. Liquefaction is so rapid in this case that sedimentation does not have time to occur.* (Khaldoun et al., 2005)

La communication des résultats de l'équipe de Bonn, dans cet article, paru dans *Nature (op. cit)*, intitulé *Liquefaction of quicksand under stress, est introduite* par une interpellation du lecteur, l'impossibilité de se noyer dans les sables mouvants : *A person trapped in salt-lake quicksand is not in any danger of being sucked under completely.* (ibid.). Les sables mouvants sont une accroche pour évoquer des recherches sur les matières thixotropiques qui peuvent passer d'un régime solide à un régime liquide sous l'action d'une agitation (*stress*). Cette accroche est utilisée, non seulement pour un public non connaisseur de sciences, mais aussi pour des

lecteurs *a priori* connaisseurs de physique : l'article fait appel à un monde des modèles et des théories physiques.

En laboratoire, la simulation est réalisée avec des billes et fait l'objet d'études quantitatives. Pour le « grand public », l'équipe de Bonn produit un dispositif pour illustrer visuellement des savoirs qui ne sont pas nouveaux, mais qui introduisent des recherches actuelles sur le changement de viscosité de certaines matières.

La mémoire de sa conférence en septembre 2010[125] et la médiatisation de ses recherches sur les sables mouvants (CNRS, 2005 ; Bonn, 2005), interpellent le collectif de préparation du stand de l'équipe « Mousses et milieux divisés » de l'IPR en 2011. Il ajoute, dans sa collection de ressources pour le VDS, le dispositif présenté par Bonn.

Illustration 122: Dispositif VDS édition 2011, avec une figurine, analogue à celui de Bonn en 2005

En 2011, l'assistant ingénieur reproduit donc le dispositif présenté par Bonn. Le pot est alors sur un vibreur, comme l'original. Taz (version de Bonn en 2005) est remplacé par une figurine représentant un autre personnage de fiction (Illustration 122, p. 281).

En 2013[126], le pot vibrant électrique non disponible est remplacé un procédé mécanique manuel : un agitateur (Illustration 123, p. 282), la main de l'expérimentateur (Photogramme 68, p. 282), ou un bâton pour donner de petits coups sur le pot. C'est pour compléter l'explication, et montrer l'effet de la densité sur le phénomène, que l'assistant ingénieur (AI) propose, conçoit et fabrique, non pas une, mais, deux figurines. Il présente l'expérience aux doctorants qui vont animer le stand :

125 http://ipr.univ-rennes1.fr/archives/2351
126 L'équipe participe au village des sciences tous les deux ans.

AI : les deux ont la même masse\ et donc celui-là c'est la densité 1 la densité de l'eau en fait (.) la densité de l'homme en fait (.) et ici c'est la densité 11.3 donc c'est le plomb\ donc quand on met un pot vibrant en dessous ((il tape le fond du pot avec la main, Photogramme 68)) ça secoue l'ensemble\ alors c'est pour montrer que dans les sables mouvants les humains comme ils ont une densité de 1 ils ne peuvent pas couler complètement puisque le sable mouvant a une densité plus grande et donc du coup dans les sables mouvants on peut descendre que jusqu'aux cuisses\ par contre le plomb qui a une densité plus grande lui il va couler\ c'est pour montrer ça\ (IPR, préparation du stand, annexe 34, « Sables mouvants »)

Photogramme 68: L'assistant ingénieur présente l'expérience aux doctorants

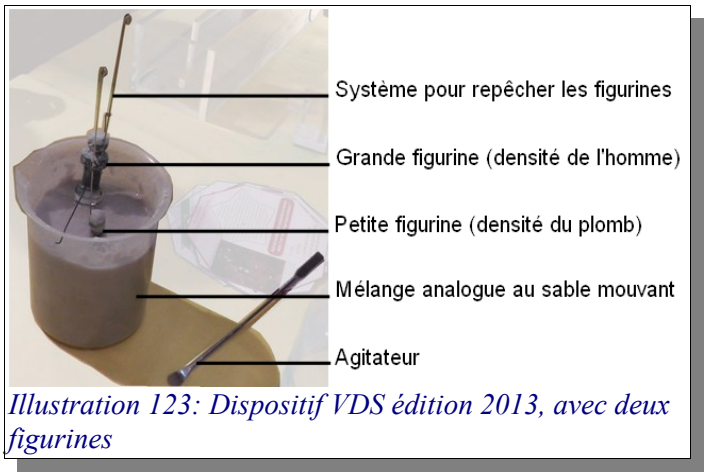


Illustration 123: Dispositif VDS édition 2013, avec deux figurines

C'est avec ce dispositif que les médiateurs didactisent des phénomènes relatifs au sable mouvant lors de l'édition 2013 du stand.

8.3.3 Le cas des sables mouvants, des praxéologies hybrides

Géographiquement, en France, la majorité de la population n'a pas l'occasion de rencontrer et d'expérimenter de réels sables mouvants. Cette situation nous semble propice à la description de pratiques de savoirs *hybrides*[127] (Latour, 1991). Ces *praxéologies*, pratiques et discours sur ces pratiques, pour paraphraser Sensevy (nbp. 57, p. 145), sont multiples. Elles n'appartiennent pas uniquement au monde scientifique. Nous rendons compte de leur diversité où elles semblent coexister indépendamment les unes des autres. Nous les relions aux institutions auxquelles elles appartiennent.

127 Les hybrides *« mêlent des époques, des ontologies, et des genres différents »* (Latour, 1991/2010, p. 99)

Dans un premier temps, nous analysons la praxéologie des récits de fiction, qui nous semble être celle qui est rencontrée par le plus grand nombre, une *praxéologie littéraire et cinématographique*. Ensuite, nous portons notre attention sur une zone géographique présentant des sables mouvants – la baie du Mont-Saint-Michel est adaptée à notre contexte d'étude – et nous y constatons le discernement et la précision de la population locale. Cette *praxéologie* géographique pourrait être désignée comme « *riverainiste* ». Enfin, nous développons une petite histoire des recherches scientifiques sur les sables mouvants, jusqu'aux découvertes de l'équipe du physicien Daniel Bonn (Khaldoun et al., 2005), déterminantes pour la médiation proposée par l'équipe enquêtée. Nous observons alors l'évolution de *praxéologies scientifiques,* des pratiques de scientifiques et les discours sur leurs pratiques par ces scientifiques.

8.3.3.1 Des sables mouvants mortels dans les récits de fiction

Les sables mouvants sont peu répandus géographiquement. Aussi, les hommes, dans leur majorité, les connaissent-ils d'abord de renom. Le sable mouvant n'est pas un thème encore présent dans les programmes scolaires, et peu de documentaires les abordent. Les représentations que la société s'en fait sont basées sur des pratiques de fictions littéraires ou cinématographiques.

Les personnages de fiction ont souvent été confrontés aux dangers de boues prêtes à les engloutir. Les représentations des sables mouvants relèvent d'images ou de récits de fictions où elles apparaissent comme des pièges mortels. Des descriptions saisissantes souvent accompagnées d'images subjectives hantent la mémoire collective.

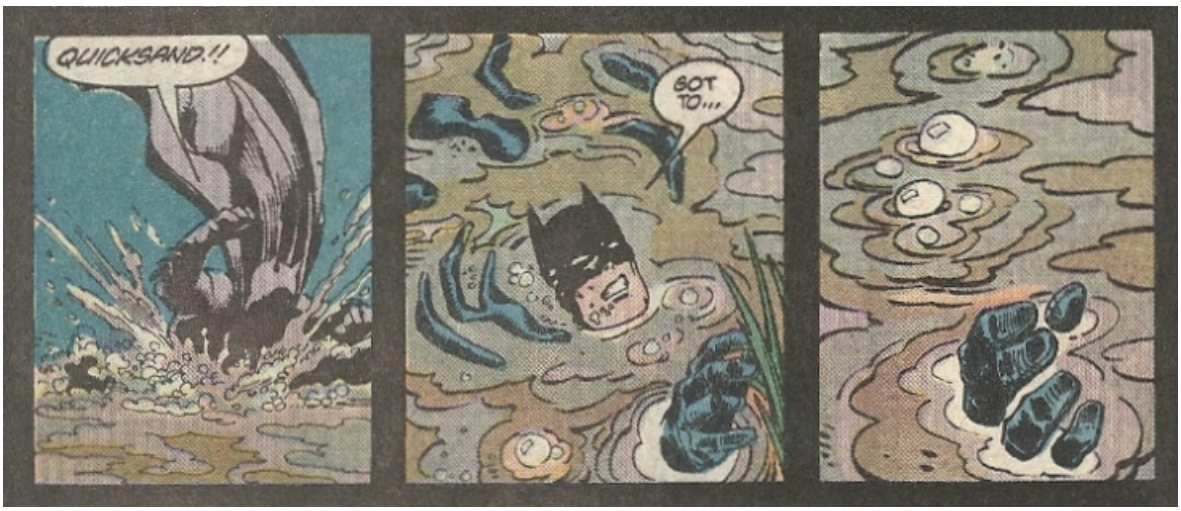


Illustration 124: Batman disparait dans des sables mouvants (Byrne, 1987, planche26)

Elles ont été véhiculées par de nombreuses bandes dessinées, comme Batman (Byrne, Adams, & Giordano, 1987, planche 26) et dessins animés, ainsi que par le cinéma. Même des héros comme Lawrence d'Arabie (Lean, 1962) et Indiana Jones (Spielberg, 2008) sont impuissants face au phénomène. Le second est sauvé *in extremis* par ses compagnons, et l'action du premier est vaine face à l'engloutissement de son amie dans les sables secs du désert.

Maupassant, dans *La légende du Mont Saint Michel*, raconte la lutte entre l'ange et le diable :

> *Pour se mettre à l'abri des méchancetés du démon, son voisin, saint Michel construisit lui-même, en plein Océan, cette habitation digne d'un archange ; et, seul, en effet, un pareil saint pouvait se créer une semblable résidence. Mais, comme il redoutait encore les approches du Malin, il entoura son domaine de sables mouvants plus perfides que la mer. (Maupassant (de), 1882)*

Victor Hugo prend à contre-pied le mythe de la Terre-mère pour en faire, traîtresse et contre nature, une « Terre noyant l'homme ». Il évoque l'engloutissement d'un homme dans des sables mouvants pour décrire la disparition de Jean Valjean dans les égouts de Paris (un extrait plus long est en annexe 16 :

> *Le sable atteint les épaules, le sable atteint le cou ; la face seule est visible maintenant. La bouche crie, le sable l'emplit ; silence. Les yeux regardent encore, le sable les ferme ; nuit. Puis le front décroît, un peu de chevelure frissonne au-dessus du sable ; une main sort, troue la surface de la grève, remue et s'agite, et disparaît. Sinistre effacement d'un homme.*
>
> *Quelquefois le cavalier s'enlise avec le cheval ; quelquefois le charretier s'enlise avec la charrette ; tout sombre sous la grève. C'est le naufrage ailleurs que dans l'eau. C'est la terre noyant l'homme.* (Hugo, 1890, p. 219)

Dans son jeu littéraire, Hugo décrit avec des phrases courtes les détails terrifiants d'un corps qui se débat et disparaît inexorablement. La force du texte réside dans la description alternée de l'action de l'élément matériel avec les réactions vaines de survie de l'homme. L'oxymore final incarne les sables mouvants, un lieu où l'homme, légitimement en sécurité, est trahi et se voit sombrer dans une mort lente, et cruelle.

Les amateurs de récits de fiction, qu'ils soient cinéphiles, lecteurs de BD ou de romans, doivent connaître la réputation des sables mouvants pour accéder à la compréhension des scénarios. *Lieu commun* culturel et symbolique, les sables mouvants y sont un piège mortel. La chute d'un personnage dans des sables mouvants induit qu'il est dans une mauvaise posture. L'interprétation attendue est que, si le personnage n'obtient pas d'aide, l'issue est fatale : le prisonnier meurt de façon lente et effrayante. Cette inférence, basée sur des croyances populaires et auto-alimentée par des lieux communs culturels, permet d'accéder à la compréhension du récit. L'auteur compte sur la culture du lecteur quand il met un de ses

personnages dans un sable mouvant. Les idées de piège et de danger de mort doivent être partagés sans être mentionnés. C'est à cette condition que l'auteur peut jouer avec son lecteur et que fonctionnent les récits de fiction. Le stéréotype[128] agit comme un contrat entre l'auteur et les lecteurs.

Signalons un dessin humoristique, représentant des sables mouvants (*quicksand* en anglais), rapporté par Smith :

> *It is also the central theme in cartoons such as that in a recent « New Yorker," in which a very English explorer up to his arm-pits in quicksand, looking at his wrist watch, remarks to his compatriot, « Not so very quick, is it ? »* (Smith, 1946a, p. 137).

Le jeu de mots n'est pas la seule clé pour accéder à l'humour de l'auteur. Il faut repérer l'insouciance de l'explorateur dans le contexte, inférence à faire sur la situation désespérée dans laquelle il se trouve. La durée de l'engloutissement dans les sables mouvants est mise à profit par Hugo pour décrire l'horreur de la scène. Ici, l'horreur implicite (l'arrière-plan culturel) transforme le jeu de mots en humour noir.

Ainsi, l'auteur des vignettes de Batman, John Byrne, fait-il disparaître son héros aux yeux de ses lecteurs effarés (Illustration 124, p.283) et de son rival satisfait. Le jeu de l'auteur est de le donner pour mort, à ses lecteurs et aux autres personnages, avant de le faire réapparaître, de façon inattendue, comme sauveur de Superman, à la fin de l'album (Illustration 125, p.285). L'effet de surprise de ce rebondissement, sur le lecteur, est doublé du même effet sur les personnages de l'histoire. Le méchant vampire mourant est incrédule : *« I saw you drawn… »* (Byrne, Adams, & Giordano, 1987, p. 37). Batman confirme *« you saw me sink in quicksand »* et avance alors des arguments liés à la poussée d'Archimède pour expliquer sa sortie des sables mouvants : *« You can swim in quicksand just like in water ! » (Byrne et al., 1987, p. 38)*. L'auteur joue ici, et avec les savoirs véhiculés par les récits de

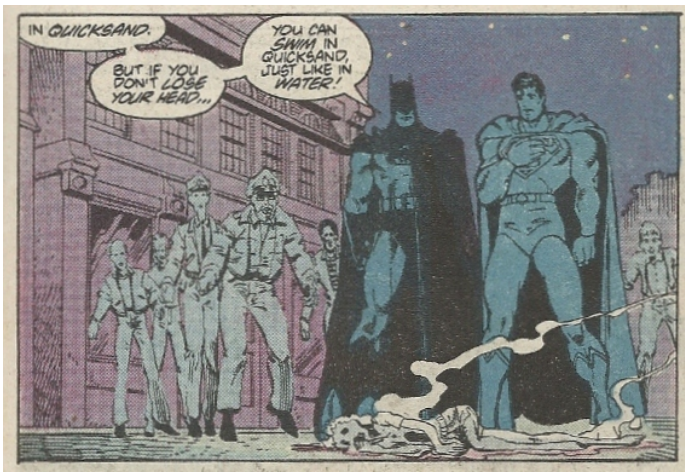


Illustration 125: Batman prend à contre-pied le stéréotype des sables mouvants véhiculé par la littérature

128 Selon Amossy et Herschberg *« le stéréotype schématise et catégorise : mais ces démarches sont indispensables à la cognition, même si elles entraînent une simplification et une généralisation parfois excessives. Nous avons besoin de rapporter e que nous voyons à des modèles préexistants pour pouvoir comprendre le monde, faire des prévisions et régler nos conduites »* (1997, p. 28)

fiction, et avec des connaissances plus proches de la réalité physique, qu'il attribue à son héros. Batman prend à contre-pied le stéréotype des sables mouvants véhiculé par la littérature.

L'*arrière-plan* évoqué ci-dessus est celui d'une praxéologie littéraire et cinématographique sur les sables mouvants. Elle est basée sur une répétition de situations analogues où l'objet sable mouvant a les attributs du danger mortel. L'aspect culturel du stéréotype nous invite à être prudents sur son interprétation chez les enfants de 6-9 ans. Aujourd'hui, l'actualité cinématographique et la culture littéraire des enfants de cet âge ne semblent pas leur faire associer les sables mouvants à un danger mortel. Une étude américaine (Engber, 2010) montre que les enfants de cet âge craignent plus les zombies et autres créatures que les sables mouvants (Illustration 126, p. 286). Toujours d'après la même étude, les films récents ont cessé d'utiliser les sables mouvants pour engloutir leurs héros et la relation à ce contexte n'évoque plus nécessairement de crainte pour les jeunes. Ce stéréotype ne serait plus construit aujourd'hui[129].

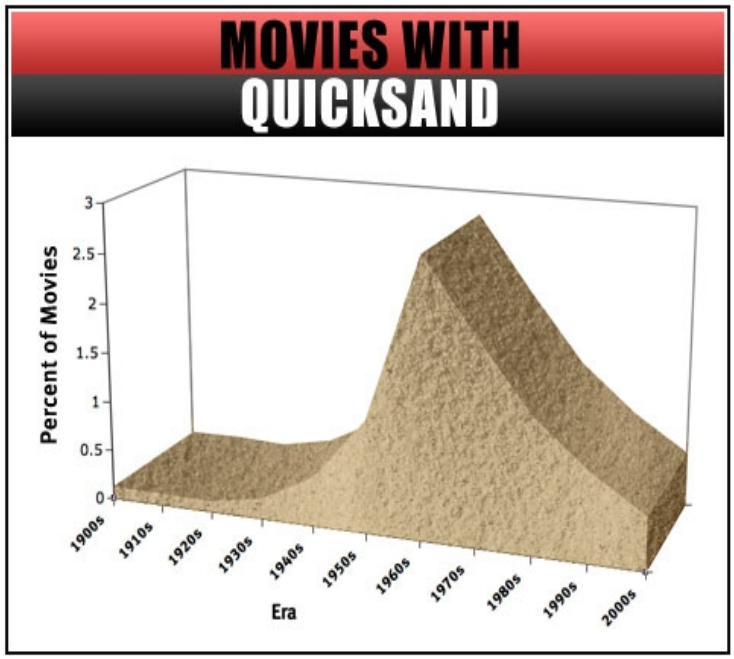


Illustration 126: Extrait de l'étude de Engber pour le magazine Slate, Les films avec des sables mouvants

Le stéréotype de *« la Terre noyant l'homme »*, pour parler comme Hugo, est nécessaire au romancier/cinéaste, pour jouer avec les attentes du lecteur/spectateur. Cela constitue ainsi un système stratégique fondamental du jeu de l'auteur de fiction.

Les dictionnaires relatent l'usage des mots dans la langue. Dans la préface du dictionnaire

129 http://www.radiolab.org/story/quicksand/ Interview du journaliste de Slate, Dan Engber sur Radiolab

(Robert, 2013) dont ils dirigent la rédaction, Rey-Debove et Rey soulignent que l'objectif du dictionnaire de langue *« est la description d'un français général, coloré par des usages particuliers, et seulement lorsque ces usages présentent un intérêt pour une majorité de lecteurs »* (Rey-Debove & Rey, 2013, p. XV) *« Pour les professionnels, on le sait, il existe des dictionnaires spécialisés. »* (ibid., p. XI). *« Le dictionnaire de langue est la mémoire lexicale d'une société »* (ibid., p. XX), le sens commun et l'idée de partage y priment. Il n'est pas surprenant de relever alors, dans les éditions de 2013 et de 2010 des dictionnaires Le petit Robert et Oxford Advanced Learner's dictionary, les définitions suivantes :

> *Sables mouvants : Sable mouillé qui s'enfonce sous un poids et peut engloutir les personnes qui le foulent.* (Robert, 2013, entrée « Sable »)
>
> *Quicksand : deep wet sand that you sink into if you walk on it.* (Hornby, 2010, entrée « Quicksand »)

Les dictionnaires sont témoins de leur époque et de la variété des espaces géographiques concernés par la langue qu'ils décrivent. Ils sont une forme de discours sur les pratiques sociales de référence. Dès lors, nous y trouvons des définitions centrées non pas sur la description physique des sables mouvants, mais sur ce que la société leur attribue comme « pouvoir » : ce qu'ils font (ou sont censés faire).

8.3.3.2 Le discernement des riverains, des savoirs empiriques

Dans un contexte local, pour les témoins riverains des sables mouvants, les savoirs empiriques ont un sens compatible avec ce que la physique nous en dit aujourd'hui.

La tapisserie de Bayeux (Illustration 127, p. 287) raconte la conquête du royaume d'Angleterre par Guillaume le Bâtard, Duc de Normandie. Le roi d'Angleterre, Édouard le

Illustration 127: Tapisserie de Bayeux (1070, scènes 16 et 17) dans la baie du Mont Saint-Michel

Confesseur, le désigne comme son héritier. Le duc anglais Harold est le messager du roi pour confirmer à Guillaume qu'il sera son successeur. Il traverse la Manche et la tapisserie rend compte de ses péripéties en Normandie. Danger terrestre, l'épreuve à surmonter permet de

valoriser Harold. En effet, il sauve les chevaliers prisonniers des sables mouvants dans la baie du Mont-Saint-Michel, sous les yeux de Guillaume le Conquérant (« Tapisserie de Bayeux, dite de la Reine Mathilde », 1070)scènes 16 et 17).

> *Ici le duc Guillaume et son armée parvinrent au Mont Saint-Michel. (ibid., Scène 16[130])*
>
> *Et ici ils traversent le fleuve Couesnon ; Ici le Duc Harold les tire hors du sable (ibid., Scène 17[131]).*

La tapisserie a été commandée pour être accrochée sur les murs de la cathédrale de Bayeux. Les aventures de l'armée de Guillaume sont traduits sous la forme de messages à l'attention des fidèles locaux. Les sables mouvants sont traités comme un événement de la vie quotidienne, un fait divers qui relate un danger d'enlisement d'où il est difficile d'échapper sans secours extérieur.

Étienne Dupont, magistrat normand, a publié de nombreux ouvrages historiques documentés sur le Mont Saint-Michel et sa baie. Juriste et historien, il relate avec discernement la dangerosité des sables mouvants.

> *Les anciennes chroniques du Mont Saint-Michel et plus particulièrement l'Obituaire (manuscrit n° 215 de la Bibliothèque de la Ville d'Avranches), nous rapportent les accidents de tout genre qui survinrent au moyen-âge et dont plusieurs furent, à l'époque des grands pèlerinages, de véritables catastrophes. Les dévots de Saint-Michel du Péril, inconscients du danger, s'aventuraient, souvent sans guide, sur les grèves entourant le sanctuaire de l'Archange ; aussi l'Obituaire[132] mentionne-t-il sur ses feuillets jaunis de nombreuses messes fondées pour le salut de ces âmes dont la dépouille mortelle est demeurée dans les sables ou au sein des flots[133]*. (Dupont, 1940, p. 172)

En connaisseur des lieux, il poursuit :

> *il est rare qu'une personne, mettant le pied sur la tangue mouvante, n'ait pas le temps de se dégager, de revenir sur ses pas et de contourner le passage dangereux. L'enlisement, « la terre noyant l'homme », selon l'expression de Victor Hugo, est, plutôt rare. La mer est autrement redoutable.* (ibid. p.173)

La suite de cet extrait, Dupont (Annexe 15 -) mentionne, dans les détails, l'origine sournoise du danger dans la célèbre baie : la marée montante.

Les savoirs de l'historien normand (riverain du Mont Saint-Michel), ainsi que des moines chargés de rédiger l'obituaire[134], sont relatives à des observations précises. La société locale

130 Scène 16 *« HIC VVILLEM : DVX : ЄT ЄXЄRCITVS : EIVS : VЄNЄRVNT : ADMONTЄ MIChAЄLIS (Hic Willelm dux et execitus ejus venerunt ad montem Michaelis) »*

131 Scène 17 : *ЄT HIC : TRANSIЄRVNT : FLVMЄN : COSNONIS : (Et hic transierunt flumen Cosnonis) HIC : hAROLD : DVX : TRAhЄBAT : ЄOS : DЄARЄNA (Hic Harold dux trahebat eos de arena)*

132 Un registre obituaire donne la liste des morts pour lesquels a été célébré un service funèbre.

133 C'est nous qui soulignons.

134 Voir des extraits d'obituaires dans ce billet de blog : http://www.paleographie-laurence-hervieu.com/spip/?g-comme-les-greves-du-mont-saint-michel#forum25

connaît les zones dangereuses, sait que les pèlerins doivent s'accompagner de guides, des connaisseurs incontournables. Les riverains savent que la mort survient à la suite d'épuisement, prisonniers des sables, ou de noyade, dans les flots de la marée haute. Les riverains des sables mouvants connaissent de façon empirique les dangers. Ils ont quelquefois construit des savoirs pour s'extraire des sables mouvants, des techniques de sauvetage. Ils prennent en compte la réalité des secours à organiser en cas d'enlisement.

L'historien normand Etienne Dupont, les moines rédacteurs des obituaires et les guides de la baies du Mont Saint-Michel qui existent déjà au Moyen-Age sont des praticiens des sables mouvants et ont un discours sur les sables mouvants. Les chefs de chantiers et les communes signalent leur présence et organisent les secours. Les sauveteurs interviennent sur des zones

Illustration 128: Danger

Illustration 129: Sauvetages

dangereuses et font de la prévention. Les populations locales et les touristes pratiquent ou visitent ces lieux et agissent en fonction des savoirs véhiculés par les affiches, panneaux, conseils des guides. Nous observons des praxéologies, pratiques et discours sur ces pratiques, ancrés géographiquement sur des zones concernées.

Les savoirs empiriques dans les zones de sables mouvants sont didactisés de façons similaires à des époques différentes. L'image au caractère préventif avise les fidèles de la dangerosité des sables mouvants dans la baie du Mont-Saint-Michel, comme des panneaux avertissent les promeneurs de nos jours (Illustration 128). La tragédie évitée hisse Harold au rang de héros (Illustration 129).

Aujourd'hui, des reportages couvrent des événements semblables et insistent sur les difficultés de sauvetage, même pour des professionnels. Les journaux relatent le danger et le sauvetage. Les deux éléments essentiels de la pratique de savoirs sociaux empiriques sont

communiqués sous la forme d'images choc[135] avec des techniques sémiotiques actualisées (photo-récits, vidéos sur internet). Les pratiques locales de prévention sont didactisées en jeux d'apprentissage sous des formes diverses.

Photogramme 69: Danger, un cheval enlisé attend l'arrivée des secours

135 Les photogrammes 69 et 66 sont extraits de la vidéo http://www.tropcute.com/videos/video-son-cheval-senfoncait-dans-les-sables-mouvants-la-suite-est-tres-touchante

8.3.3.3 Les savoirs scientifiques sur le(s) sable(s) mouvant(s)

Photogramme 70: Sauvetage

Au XX^{e} siècle, les « sables mouvants » sont principalement étudiés par les géologues et par des ingénieurs du génie civil (section A). Au début des années 2000, des physiciens s'intéressent à la matière « sable mouvant » (section B).

A. Au XX^{e} siècle

Dans un premier temps (a), nous analysons ce qui prête à confusion dans la nomenclature des sables mouvants. Dans un second temps (b), nous faisons un rapide état de la recherche en géologie et pour le génie civil (constructions à base de granulaires et stabilisation des infrastructures).

a. Un nom qui recouvre des effets ou des morphologies similaires, mais des phénomènes différents

Les hommes ont nommé *sables mouvants* (*quicksand,* en anglais) des lieux où des corps et constructions pouvaient s'enfoncer brusquement. Des effets similaires y sont observés, mais les phénomènes physiques sous-jacents sont différents. Aussi, les recherches réalisées ont abouti à des résultats partiels, sans permettre de formaliser un savoir généralisable. La dangerosité de ces différents « sables mouvants » est médiatisée autour de catastrophes. L'anéantissement des bidonvilles de Mexico, en 1985, est expliqué dans une vidéo de Canal-U, tournée en 2003 au Palais de la découverte. Une maquette simule la fluidisation d'un sable gorgé d'eau sous l'effet d'une vibration (Ternay, 2003). Ce que le médiateur appelle alors *sables mouvants* est aujourd'hui nommé *argiles sensibles (quick clay,* en anglais*)*. Un géologue américain rapporte une catastrophe ferroviaire *: « in 1875, a train was engulfed after running off a bridge near Pueblo, Colo., and was never recovered, although the quicksand was probed to a depth of 50 feet » (Smith, 1946a, p. 137).* Les deux phénomènes sont différenciés. L'expression « sables mouvants » (ou son équivalent en anglais, *quicksand)*, ne recouvre

probablement pas toujours la même réalité physique. Des sables aérés, dans les déserts, pourraient aussi provoquer des effondrements similaires, mais ils n'ont pas encore été observés, à part en laboratoire.

Les hommes ont nommé de la même façon, des matériaux qui avaient le même aspect morphologique. Ainsi, le géologue Smith a fait une étude comparative de la composition de différents substances appelées *sand* (ibid.). Le lecteur y trouve aussi bien des sécrétions animales (calculs rénaux, otolithes) que du malate de calcium contenu dans le sirop d'érable, ou encore des roches sédimentaires. Les grains y sont classés selon leur composition, mais aussi leur origine, leur taille, leur forme. L'approche des sables mouvants par leur composition est une des voies que prendra l'équipe de physiciens autour de Bonn dans les années 2000, associée à une instrumentation et à une méthodologie adaptées à l'étude des thixotropes, des tests utilisés en rhéologie[136].

b. Les sables mouvants en géologie et génie civil avant les travaux de l'équipe de Bonn

La littérature avant Khaldoun et Bonn (2005) fait état de connaissances éparses qui s'appuient sur des observations, des mesures, des expérimentations avec des instruments moins perfectionnés que ceux utilisés au XXIe siècle. Cependant, des voies sont ouvertes autour d'une préoccupation commune, venir en aide à la société.

Issus de leurs articles, nous signalons les montages proposés par Smith et Jenkins (1946). Ils ont pu inspirer l'équipe de Bonn pour la conception de leur dispositif. Ils témoignent d'une méthodologie, les *sinking tests* (que nous appelons « tests d'immersion »), semblable à celle utilisée par l'équipe de Bonn, même si les instruments ont évolué.

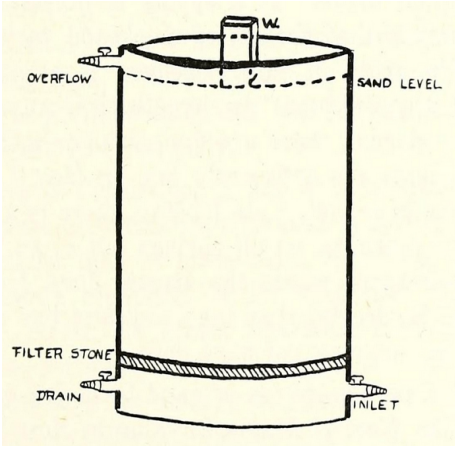


Illustration 130: Dispositif expérimental de Jenkins décrit par Smith (1946)

En 1946, Jenkins décrit un sable mouvant du type « sol sur un écoulement d'eau ». Son dispositif expérimental est composé d'un pot permettant l'introduction et la circulation d'eau au fond, et d'un objet pesant posé dessus (Illustration 130, p.292). Le

136 La rhéologie s'intéresse à la résistance des matériaux et à la mécanique des fluides non-newtoniens. Elle permet, entre autres, de déterminer les propriétés mécaniques macroscopiques à partir d'une étude basée sur la structure micro ou nanoscopique du matériau.

chercheur observe et réalise des mesures en faisant varier la masse posée sur le milieu et la quantité d'eau injectée dans le milieu (Smith, 1946a, p. 139).

Smith utilise pour ses expérimentations une figurine en bois, lestée à sa base. Elle est posée sur des matériaux de différentes densités[137]. Cet intérêt dirigé vers la composition de la matière est une des préoccupations des physiciens. Le chercheur trace, sur ce support, la ligne de flottaison. Puis, pour communiquer ses résultats (Smith, 1946b, p. 327), il fait une représentation graphique du dispositif, avec les niveaux tracés sur la silhouette humaine, telle une toise qui permet les comparaisons (Illustration 131, p.293).

La communication de cette recherche en géologie exprime un intérêt pour la société et une volonté d'apporter des explications scientifiques aux phénomènes observés et commentés dans la vie quotidienne. La littérature antérieure aux communications de Bonn prend très souvent appui sur les fictions qui font des sables mouvants des milieux cauchemardesques, mais mentionnent aussi des faits divers non expliqués. "*It is reported that, through the years, many ships have been swallowed up after running aground on quicksands*" (Smith, 1946a, p. 137).

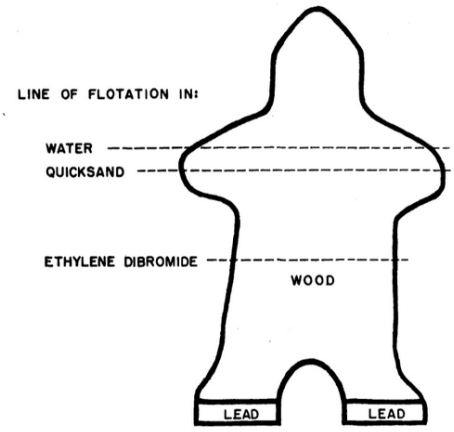


Illustration 131: Comparaison de la ligne de flottaison du « bonhomme » dans de l'eau, du bromuréthylène et des sables mouvants (Smith, 1946b, p. 327)

Le traitement de ce thème par l'humour est beaucoup plus rare. Signalons ce dessin humoristique raconté par Smith :

> *it is also the central theme in cartoons such as that in a recent « New Yorker," in which a very English explorer up to his arm-pits in quicksand, looking at his wrist watch, remarks to his compatriot, « Not so very quick, is it ?* (ibid., p. 137)

Des faits déjà connus sont enseignés aux futurs ingénieurs. Dans un manuel américain de 1969 pour des étudiants en génie civil, nous pouvons lire :

> *The nontechnical literature abounds with stories of "quicksand" sucking victims beneath the surface of the soil and drowning them. In fact, quicksands is a liquid of unit weight twice that of water. There is therefore no suction and a person would float with about half of his body out of quicksand* (Lambe & Whitman, 1969, p. 264).

L'écart entre les densités d'un corps humain et du sable mouvant ne permet pas au second d'engloutir le premier.

137 Eau (d = 1) ; Bromoéthylène ou bromure de vinyle (d = 1,5).

B. Dans les années 2000, la naissance de nouveaux savoirs en physique

Le processus qui a mené aux recherches puis à de nouveaux résultats sur les sables mouvants est médiatisé par le physicien Daniel Bonn, sa doctorante Khaldoun et son équipe. Les travaux de cette équipe sont le résultat d'un partenariat entre l'équipe « Matière molle, instabilité et transitions de phase » du Laboratoire de Physique Statistique (LPS) adossé au CNRS, et l'Université d'Amsterdam où le physicien est professeur.

Nous enquêtons sur le patrimoine existant au moment où cette équipe de physiciens travaille : nous menons une recherche documentaire sur les savoirs déjà-là, à partir des références bibliographiques fournies par les chercheurs dans leurs articles (filiation bibliographique). Nous nous référons également aux témoignages de Bonn, publiés dans des vidéos institutionnelles.

Nous relatons le cheminement de Bonn et son équipe, de son point de départ, la curiosité d'un physicien pour une situation pratique, aux différentes communications des résultats de la recherche.

a. Mise en doute de praxéologies diverses par des physiciens

Daniel Bonn semble présent et au centre du projet de recherche sur les sables mouvants, de sa genèse, à la diffusion des savoirs hors du laboratoire. Il transforme un problème de la vie quotidienne en un problème scientifique. Nous analysons dans un premier temps, sa capacité à voir la situation pratique comme un problème de recherche. Dans un second temps, nous décrivons l'intégration de l'objet d'étude comme projet du laboratoire.

b. Une situation pratique à la croisée de deux chemins (arrière-plans)

L'origine de la production des nouveaux savoirs ne se trouve pas dans le laboratoire de recherche. Bonn raconte que le projet de recherche trouve sa source dans une situation pratique, devant le panneau signalant un danger de sables mouvants (Illustration 132) aux abords d'un lac entre Téhéran et Qom (Iran).

Illustration 132: Danger, sables mouvants

Des pratiques de savoir locales régulent la circulation humaine sur la zone de sables mouvants. Les habitants savent qu'ils ne peuvent s'y aventurer sans encombres. Le panneau de signalisation est un vecteur social qui annonce le danger aux étrangers. Les bergers racontent que des chameaux ont disparu dans cette zone.

Les savoirs populaires sont fondés sur des histoires racontées de génération en génération, et sur une pratique quotidienne des lieux. Par ailleurs Bonn connaît les images véhiculées par le cinéma.

Daniel Bonn, en vacances dans cette région, fait le lien entre un phénomène qu'il n'a pas encore observé, une situation pratique rencontrée dans la société, et l'activité scientifique de son laboratoire. Devant ce panneau, Bonn, s'interroge sur la réalité du danger et ses limites. Son discernement est rendu possible par son expérience : la connaissance du comportement semblable d'autres matières qu'il étudie dans son laboratoire. Son terrain est celui des fluides complexes. Son arrière-plan lui permet de faire l'analogie entre les sables mouvants et les matières qu'il manipule habituellement, de voir la situation pratique comme un problème scientifique. La méthode est déjà là : il voit une nouvelle matière à analyser. Il se pose des questions sur cette matière particulière, et sur les pratiques qu'elle véhicule : « *que sont les sables mouvants ? Qu'est-ce qui pourrait rendre un sable mouvant ? Qu'est-ce qui fait que ces gens posent des panneaux ? Qu'est-ce qui a créé tous les mythes que l'on connaît autour des différents sables mouvants ?* » (Bonn, 2005b) Il repère du sel sec autour du lac. Ses connaissances lui permettent d'émettre l'hypothèse que ce sel joue un rôle dans le comportement des sables mouvants. Il le vérifiera plus tard.

Il commence les investigations *in situ* car l'éloignement géographique entre son labo et la zone de sables mouvants ne lui permettent pas des déplacements fréquents. Il observe (beaucoup de sel sur la périphérie du lac), il recueille des témoignages de la population locale, il teste lui-même l'enlisement (et constate que plus il bouge plus il s'enfonce), il prélève un échantillon de sable pour l'analyser au laboratoire.

c. *Intégration du sujet d'étude dans le laboratoire*

La problématique des sables mouvants est intégrée dans un programme de recherche du laboratoire. Le matériau est analogue à ceux sur lesquels portent ses recherches, la méthodologie utilisée est celle habituellement mise en œuvre dans le laboratoire. Avec son équipe (une de ses thésardes et ses collaborateurs), Bonn reformule le problème en termes de physique, à une échelle microscopique en termes de composition de la matière (cf. Illustration 32, p.29, de la situation pratique au problème scientifique). Ils travaillent dessus selon le processus habituel. Des recherches sont menées, sous la forme d'enquêtes auprès d'autres communautés de scientifiques, des géophysiciens, et dans des recherches documentaires sur

les résultats existants. Des observations sont menées en laboratoire, au microscope, et au microscope électronique. Des analyses au laser sont réalisées pour connaître la composition exacte du matériau. Sa viscosité et son élasticité sont testées pour comprendre ses caractéristiques mécaniques. Des mesures sont réalisées et la production de données est organisée. Les chercheurs reconstituent un modèle analogique du sable mouvant de Qom, un sable mouvant artificiel aux caractéristiques tout à fait similaires. Ils valident le modèle et analysent le rôle de chaque composant. Le travail est collectif. Des communautés de scientifiques dans des champs connexes sont sollicitées. Asmae Khaldoun, thésarde sous la direction de Bonn à l'université d'Amsterdam, signe l'article principal concernant cette recherche (Khaldoun et al., 2005).

Ce mouvement de transposition scientifique prend sa source dans la mise en doute de ce que Bonn appelle des « mythes », des praxéologies non scientifiques, littéraires ou cinématographiques. Les éléments de savoir initiaux sont enrichis d'éléments issus des pratiques de savoir de sa communauté. Dans le transfert, leur forme est adaptée aux méthodes et aux techniques du contexte d'arrivée. Les affirmations populaires sont traduites en questions de recherche ; l'interdiction et la crainte deviennent volonté de comprendre les causes ; l'instrumentation du laboratoire pour l'analyse des échantillons prélevés remplace les panneaux et les clôtures.

d. Les productions scientifiques

L'équipe obtient des résultats significatifs dont la communication se fait à plusieurs niveaux, de plusieurs façons et en plusieurs temps. La production scientifique, celle qui apporte de nouveaux savoirs à la communauté des physiciens, est évoquée dans le rapport d'activité 2003-2008 du laboratoire (ENS, 2008). Les résultats sur les sables mouvants y sont replacés dans le contexte du programme de recherche de l'équipe. Des articles sont publiés dans des revues spécialisées en physique. Bonn fait des conférences dans des institutions scientifiques.

- ***Le rapport d'activité du laboratoire (LPS)***

Dès son introduction, dans la présentation du Laboratoire de Physique Statistique (LPS) de l'ENS, le rapport d'activité 2004-2008 mentionne les travaux de l'équipe de Bonn sur les sables mouvants.

> *En étudiant le mouillage et la coalescence sur des mélanges colloïdes-polymères de très faible tension de surface, l'équipe de Bonn a pu montrer que ce sont les fluctuations qui*

> *produisent la coalescence des gouttes et leur détachement. Ce système se situe au point de rencontre de l'hydrodynamique et de la physique statistique puisque ce sont les fluctuations qui déterminent son comportement. Les travaux de cette équipe ont également porté sur les systèmes « vieillissants » comme les gels ou verres colloïdaux dans lesquels le cisaillement produit une rejuvénation. L'équipe a mis en évidence ces mêmes effets dans les sables mouvants, mais considérablement amplifiés puisque la viscosité peut chuter de six ordres de grandeur.* (ENS, 2008, p. 2)

Cependant, nous devons relativiser cet événement pour la communauté de chercheurs en physique de l'ENS. Les résultats sur les sables mouvants sont simplement mis en relation avec les recherches plus générales de l'équipe de Bonn sur les colloïdes. La suite du rapport ne développe pas spécifiquement le projet sur les sables mouvants. Elle n'en est qu'un élément.

Ainsi, nous modérons la notion de communauté scientifique. En effet, les domaines de recherche sont tellement spécialisés, que la communauté scientifique experte à laquelle l'équipe de Bonn peut adresser ses résultats sur les fluides complexes est plus limitée que le laboratoire auquel il appartient[138].

- ***Les communications scientifiques au-delà du couloir de l'équipe de Bonn***

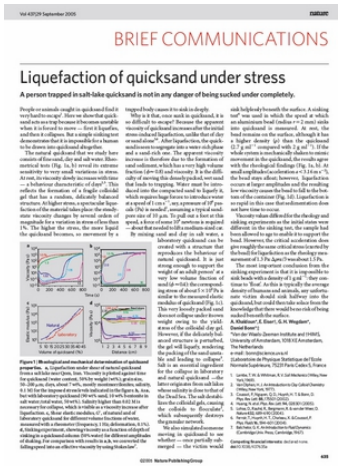
Pour éviter de mentionner des aspects techniques et conceptuels très spécialisés qui échappent à nos préoccupations, nous ne développons pas ici les communications scientifiques publiées dans des revues spécialisées à comité de lecture telles que *Physical Review Letters, Scientific Reports, Physics of Fluids, Soft Matter.* L'équipe de Bonn y apparaît plusieurs fois tous les ans.

En revanche, nous évoquons l'article (Khaldoun et al., 2005, p. 635) publié en septembre 2005 dans *Nature*[139], revue scientifique de référence à comité de lecture. Cette communication s'adresse à une communauté scientifique élargie de physiciens. Les résultats rapportés ne concernent que l'élément « sable mouvant » des recherches de l'équipe de Bonn. L'article évoque les méthodes utilisées dans la recherche, les tests de rhéologie, et donne des résultats quantitatifs sur les mesures de viscosité ou d'élasticité réalisées. Le texte interprète quatre graphiques qui sont les seules illustrations de l'article (Illustration 133, p.298). Les physiciens montrent les transitions très spectaculaires de certains matériaux qui peuvent très rapidement passer d'un régime solide à un régime liquide. Les physiciens prennent en compte les

138 Dans les laboratoires où nous enquêtons, la communauté des scientifiques qui travaillent sur un même domaine ne dépasse pas les bureaux d'un même couloir, dans le bâtiment. Par contre, la communauté s'étend à des « couloirs » d'autres laboratoires nationaux ou internationaux.

139 http://www.nature.com/nature/journal/v437/n7059/full/437635a.html

préoccupations des humains et des animaux, potentiellement en mauvaise posture quand ils sont prisonniers des sables mouvants, en s'attardant explicitement sur les « mythes » (praxéologies non scientifiques) relatifs aux sables mouvants. Le sous-titre de l'article annonce « *A person trapped in salt-lake quicksand is not in any danger of being sucked under completely. » (ibid.).*


BRIEF COMMUNICATIONS

Liquefaction of quicksand under stress

A person trapped in salt-lake quicksand is not in any danger of being sucked under completely.

Illustration 133: Vue générale de l'article de Khaldoun et Al. dans Nature

Nous signalons également des communications lors de séminaires de physiciens. Les actes de ces rencontres et les témoignages des participants indiquent la prise en compte des écarts conceptuels entre les spécialités. Aussi, les communications sont-elles marquées par une adaptation au public « *tant l'expert dans un domaine est forcément profane dans un autre* » (Schafer, 2014, p. 11). Des images séquentielles du dispositif *« cartoon »* illustrent des articles dans des revues de physique (Illustration 134, p.298), à côté de ressources issues de la recherche (faisceau de courbes de viscosité). Dans la revue *Europhysicsnews*, de la *European Physical Society*, soutenue par EDP Sciences, l'éditeur partenaire des communautés scientifiques, les images prennent 25 % de l'espace dédié à l'article (Khaldoun, Wegdam, Eiser, & Bonn, 2006, p. 18-19). La communication visuelle didactisée est importante, même pour des scientifiques, ici non-connaisseurs des matériaux thixotropiques. Par ailleurs, cet article est introduit par la référence explicite aux praxéologies cinématographiques :

Quicksand!

Illustration 134: Mise en évidence des images qui illustrent un article scientifique dans Europhysicsnews

> *It is a classical scene from western movies. The bad guy ends up in a pool of quicksand, and sinks away in it until only his hat remains, floating on the quicksand. Or, at the very last moment, his head barely sticking out of the quicksand, he is saved by the lead character, who pulls him out of the quicksand with his horse. Hollywood produced dozens of movies in which people drown in quicksand.* (Khaldoun et al., 2006, p. 18)

Les auteurs construisent leur article autour de trois « mythes » qu'ils annoncent et dont ils démontrent la véracité ou la fausseté au fil du papier, tel un dialogue entre la société et leurs résultats de recherche. Bonn utilise des représentations présentes dans les pratiques cinématographiques et détourne un personnage de fiction (Taz) pour présenter des résultats scientifiques. Il s'adresse ainsi à un « grand public » dont font partie des scientifiques d'autres

spécialités, très probablement des scientifiques dont le bureau est dans un autre couloir du laboratoire. La didactisation des savoirs scientifiques commence probablement dès la communication des résultats, pour élargir le lectorat au-delà du « couloir » des seuls spécialistes de l'objet étudié.

- ***La valorisation de la recherche, à la porte du laboratoire***

Nous appelons *valorisation de la recherche* le fait de *« rendre utilisables ou [de] commercialiser les résultats, les connaissances et les compétences de la recherche. »* (Comité national d'évaluation, 1999, p. 9). La valorisation des résultats du laboratoire auprès de partenaires comme le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) est à l'origine de la poursuite des recherches sur les argiles sensibles, une recherche appliquée aux glissements de terrains.

Les résultats issus de l'étude des sables mouvants trouvent d'autres applications en géophysique pour le génie civil. À la fin d'une conférence filmée à l'ENS, Bonn précise à un participant qui l'interroge à ce sujet, que les applications sont nombreuses mais que le travail du laboratoire s'arrête à la description physique du phénomène.

> *Cette étude s'inscrit dans un cadre plus grand des matériaux qui peuvent être à la fois solides et liquides, tels que le ciment, les crèmes de beauté, le yaourt, etc. Et donc presque toutes les industries françaises et étrangères sont concernées par le comportement d'écoulement de ces matériaux. Nous on montre que tous ces matériaux ont à peu près le même comportement global. [Notre modèle physique] permet d'expliquer qualitativement tout ce qui se passe, dans les avalanches de sable, dans les sables mouvants (à part peut-être la séparation des phases), et dans tout un tas d'autres matériaux semblables tels que le yaourt ou la mayonnaise. Maintenant pour être quantitatif, il faut compliquer le modèle et c'est là où moi le physicien je commence à m'ennuyer parce que l'on a 25 paramètres différents. Nous notre modèle est simple et donne toute la physique et après je pense que c'est à d'autres de se compliquer la vie et de s'ennuyer. (Bonn, 2005b)*

La valorisation des résultats est rendue possible par des contacts directs entre les équipes, informels ou organisés sous la forme de séminaires ou de conférences. Ces leviers de valorisation des résultats et de la méthodologie du laboratoire débouchent éventuellement sur d'autres collaborations. Nous observons, de la part de Bonn et de son équipe, une relégation de la modélisation algébrique aux acteurs qui en ont besoin pour leurs recherches ou leurs applications. Cette pratique-là n'est pas la leur.

e. La didactisation par leurs producteurs, des pratiques de savoirs scientifiques à destination des non-connaisseurs de ces pratiques

- **Transpositions : jeux d'apprentissage pour didactiser les résultats de la recherche auprès de différents publics**

Suite à la publication, dans *Nature*, du premier article de l'équipe sur les sables mouvants (Khaldoun et al., 2005), le CNRS valorise le chercheur qui fait l'actualité du laboratoire. Il propose un portrait du physicien Daniel Bonn[140] (CNRS, 2005), où celui-ci présente son métier et communique sur ses sujets de recherche. Il y présente quelques-uns de ses résultats, dont celui sur les sables mouvants. Il utilise le dispositif *« cartoon »* pour montrer au « grand public » qu'il est impossible d'être submergé dans du sable mouvant (Photogramme 4, p.68, et Photogramme 2, p. 67). Cette vidéo est aussi diffusée en 2007 à la télévision (France 5).

Parallèlement, l'ENS Paris met en ligne une conférence de Daniel Bonn dans le cadre de *l'ENSavoirs en multimédia* (Bonn, 2005b). Il s'agit de la conférence publique enregistrée lors de la journée annuelle des portes ouvertes dans les établissements d'enseignement supérieur de Paris, *Envie d'amphi 2005*, à l'ENS de Paris. La section suivante (p.301) décrit et analyse le contenu de cette conférence. Philippe Coussot, directeur du laboratoire des Matériaux et des structures du Génie Civil au Laboratoire central des ponts et chaussées, communique également pour l'Université de tous les savoirs, sur ces recherches réalisées en partenariat (Coussot, 2005).

Bonn n'hésite pas à se mettre en scène pour diffuser ses résultats pour un plus large public que celui de la recherche sur les fluides complexes. Il participe, en août 2005, à l'école d'été de physique e2φ organisée conjointement par le CNRS et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) à l'attention des acteurs de l'enseignement de la physique. Lors de cette rencontre entre scientifiques et enseignants de physique, du collège au supérieur, il partage les diapositives de son exposé, *Avalanches liquides : de la crème chantilly aux sables mouvants*, avec les participants de l'événement. Puis il publie sa présentation pour les internautes[141].

De façon générale, Bonn entretient une proximité avec le « grand public », en abordant de façon qualitative, des résultats scientifiques sur des sujets de la vie quotidienne (les sables mouvants n'en sont qu'un exemple). En dehors de la thématique des sables mouvants, il

140 http://videotheque.cnrs.fr/doc=1741
141 http://e2phy.in2p3.fr/2005/

présente très sérieusement les propriétés de la Maïzéna dans son laboratoire, en illustrant ses propos avec une vidéo postée sur *You Tube* (Lopen over water – maizena, 2008) ; il partage aussi des vidéos d'animations festives autour des propriétés de fluides non newtoniens sur lesquels les participants peuvent marcher ou s'enfoncer (*Walking on water explained [vidéo en ligne]*, 2008) ; il fait l'actualité de journaux en ligne (« Le mystère de la construction des pyramides d'Egypte enfin percé ? », 2014) avec ses recherches (Fall et al., 2014) sur le déplacement des blocs de pierres pour la construction des pyramides en Égypte.

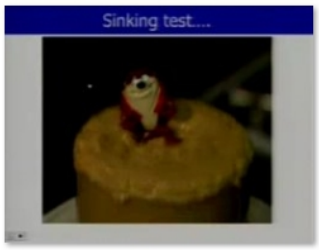
- **Exemple d'une conférence publique, filmée et en ligne**

La conférence publique de Daniel Bonn, en décembre 2005 à l'ENS, développe les données et les résultats scientifiques présents dans l'article de *Nature* (septembre 2005). Elle donne une image humaine à la recherche, en précisant la genèse du projet, les vacances du physicien en Iran, jusqu'à la conception de l'artefact pour la médiation avec la figurine Taz. Elle est axée sur la mise en questions de stéréotypes, praxéologies littéraires et cinématographiques, ainsi que sur les différences nécessaires à faire entre les réalités géophysiques que recouvrent les « sables mouvants ». Bonn valide ou invalide scientifiquement les savoirs issus de pratiques populaires. Le physicien insiste sur les liens entre la recherche sur les fluides complexes, et la géophysique appliquée au génie civil (l'anticipation des glissements de terrain), mais aussi les applications industrielles (celles de l'alimentaire, de la cosmétique et du bâtiment).

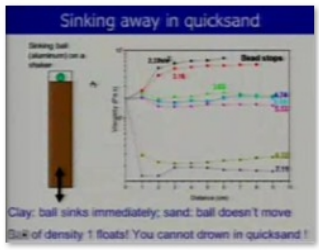
La présentation de Bonn est mixte. Cinquante pour cent de ces diapositives sont celles utilisées pour une communication auprès d'un public d'enseignants de physique (du collège au supérieur), à l'école d'été de physique *e2φ 2005*[142], quelques mois plus tôt. Elles sont essentiellement composées de données et de résultats scientifiques des travaux de l'équipe de Bonn et de ses partenaires. Les autres supports visuels sont de sources non scientifiques. Comme sa communication orale est exprimée dans un langage peu technique et accessible aux non-spécialistes, voire aux non-scientifiques, elle s'enrichit des inférences que chacun peut faire à partir des indices mis à disposition dans le visuel. Les initiés y trouvent des données quantitatives (tableaux et graphiques), certaines lois symboliques et la méthodologie du laboratoire (schéma des dispositifs, vidéos et photographies des expériences). Quand les représentations symboliques le permettent, Bonn appuie son discours dessus. Ainsi certains graphiques sont traduits et interprétés.

142(« E2PHY 2005 – La physique et ses implications : "du fondamental au quotidien" », 2005)

Le dispositif expérimental « *sinking test* » avec la bille métallique est associé à sa version « *cartoon* » avec la figurine Taz (Illustration 135, p.302).



22-Taz.jpg

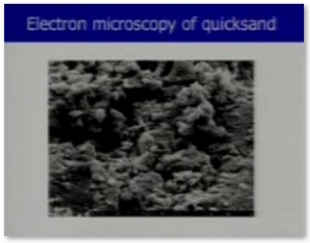


23-sinking away.jpg

Illustration 135: « Sinking test », versions cartoon et expérimentale

L'analyse des diapositives de cette conférence publique met en évidence la variété des supports utilisés. Bonn mêle explicitement des éléments scientifiques avec des documents manipulés dans la vie quotidienne. Les formalisations mathématiques succèdent aux vidéos d'amateurs ou aux archives télévisuelles de catastrophes. Les photos de paysages (lac salé, panneau de signalisation ou tas d'oranges) alternent avec les photos et les vidéos d'expériences de laboratoire : dispositifs expérimentaux ou photographies d'observations sous microscope numérique (Illustration 138, p.303). Des dessins peu codés permettent d'interpréter les courbes de viscosité. Les articles de presse ou affiches de cinéma illustrent la typologie de sables mouvants proposée par le scientifique.

17-oranges.jpg

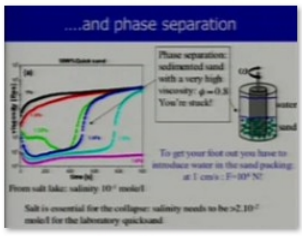


18-microscope elctronique.jpg

Illustration 136: Photographies aux niveaux d'interprétation différents

Le physicien montre les dispositifs et les résultats expérimentaux de son équipe (schémas, données numériques, photos, vidéos), mais cite également des résultats d'autres laboratoires, et des productions de journalistes. La séparation des phases, par exemple, est observée en laboratoire (Illustration 139, p.303), et les données expérimentales sont exprimées par un graphique. Bonn les interprète à l'aide d'une illustration empruntée à la revue *Science et Vie Junior* (Nicot, 2005), un journal de vulgarisation scientifique pour enfants. Le physicien appuie son discours sur cette illustration, en y intégrant des aspects méthodologiques, l'usage du microscope électronique, des

19-SVJ.jpg



20-phases.jpg

Illustration 137: Citation du Science et vie junior pour expliquer la séparation des phases

précisions quant à l'interprétation des échelles, des liens avec les données quantitatives :

Si on prend un appareil plus cher, un microscope électronique et qu'on prend une photo du sable mouvant d'Iran, on voit qu'il y a d'énormes trous dans le sable mouvant et normalement tous ces trous contiennent de l'eau et de l'argile et ça permet aux sables mouvants de collapser sous son propre poids ou sous votre sollicitation à vous lorsque vous bougez sur le sable mouvant. Y-a Science et Vie Junior qui m'a fait cadeau d'un très joli dessin de ce qui se passe quand vous marchez dans le sable mouvant, c'est le numéro de décembre, il est encore dans les kiosques. Donc là y-a le mélange de grains de sable et de particules d'argile, si vous lisez on vous

Illustration 138: Bonn cite et utilise l'illustration de SVJ (2005)

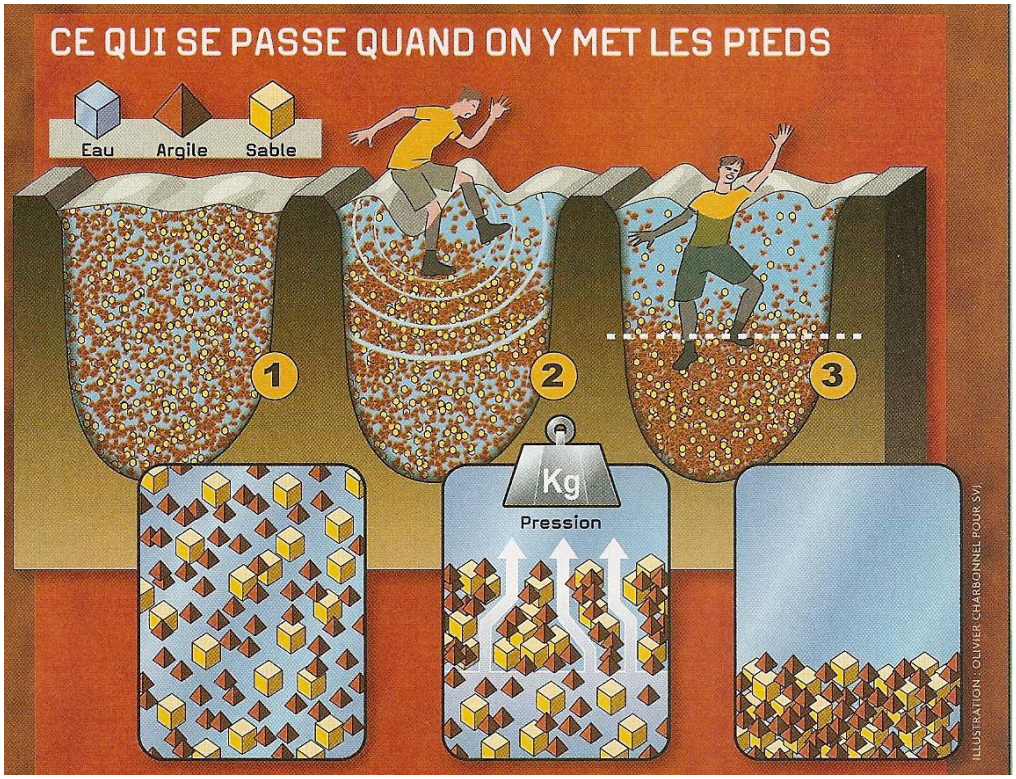


Illustration 139: Extrait de Science & Vie Junior (n°195) utilisé par Bonn en conférence

explique que les particules d'argile sont beaucoup plus petites que les particules de sable donc c'est pas vraiment un dessin à l'échelle mais dès que vous allez bouger, vous allez liquéfier la structure de l'argile et tout le sable va tomber au fond, autour de vos pieds. Et c'est là qu'il y a un autre renseignement extrêmement intéressant : le fait que sur les courbes de viscosité en fonction du temps, la viscosité remonte, on peut le voir directement dans l'expérience où un cylindre tourne dans un autre cylindre, dès qu'on a liquéfié le sable mouvant, le sable se tasse au fond, et si on mesure la fraction de l'espace occupée par le sable au fond, on arrive à 80 %. (Bonn, 2005b)

La communication des résultats de cette recherche vers le « grand public », celle que nous appelons transposition didactique, reprend les interrogations partagées du chercheur et du public quant aux « mythes » qui entourent les sables mouvants. Le chercheur considère que la

difficulté conceptuelle rencontrée sur le terrain doit être au rendez-vous dans l'apprentissage. Il la prend donc en compte. Seule une facette de son travail est développée, mais dans sa complexité. Le premier travail de didactisation consiste à choisir cet élément, les sables mouvants. Il s'agit d'un exemple des matériaux qu'il étudie. Ils attirent l'attention du « grand public » et permettent d'accéder à de nouveaux savoirs au-delà de ceux attendus sur ce sujet-là. En effet, Bonn ne se contente pas de valider ou d'invalider scientifiquement les praxéologies non scientifiques. Pour chaque question, la méthodologie utilisée dans la recherche et les résultats quantitatifs sont exposés. Des explications physiques sont apportées et les concepts en jeu sont exprimés. L'entrée par une thématique populaire permet de communiquer des résultats dans des champs de physique peu connus du « grand public ». Les sables mouvants, matériau naturel, sont d'ailleurs habituellement étudiés par les géologues, rhéologues, géophysiciens. Bonn s'en empare pour leurs ressemblances avec des gels industriels – alimentaires, pharmaceutiques ou cosmétiques – qu'il étudie. Les savoirs qui sont mis à la disposition du public donnent des réponses aux questions relatives aux « mythes » (arrière-plan commun), mais embarquent aussi des concepts nouveaux – car non enseignés à l'école (matériaux thixotropiques) – ou des perspectives différentes sur des concepts connus mais peu pratiqués (poussée d'Archimède). Le sable mouvant est une facette de connaissances peu connues du « grand public ». Elle propose au public une ouverture vers de nouveaux champs à explorer. Astolfi en fait un devoir de l'école : *"Quand l'école enseigne un élément du savoir, elle doit donc faire en sorte, autant que possible, qu'il soit perçu par l'élève comme le début d'une chaîne le menant vers des connaissances plus étendues. » (Astolfi, 2005, p. 79)*

La communication n'est pas à sens unique. Bonn se nourrit des savoirs populaires pour engager ses recherches. Il utilise l'appropriation de ses propres résultats par les journalistes scientifiques pour enrichir sa communication. Les préoccupations et les résultats des géophysiciens sont intégrées à sa recherche, puis proposés en tant que nouveaux résultats pour être validés et réutilisés. Le processus descendant de transposition didactique est enrichi d'un mouvement ascendant.

Une mise en scène particulière permet au public de percevoir la fonctionnalité du savoir transmis. Il y a d'abord un partage d'intérêt, une mise en relation. Ensuite, entre deux institutions, les points de vue ne convergent pas forcément. Les géophysiciens, les physiciens et monsieur Tout-le-monde ne voient pas les sables mouvants de la même façon. Bonn exprime clairement les différences de points de vue avant de présenter ses résultats. La

présentation visuelle de cette conférence est un espace polyphonique où l'auteur confronte diverses composantes scientifiques et culturelles, les résultats de sa recherche et des productions d'autres auteurs. L'intertextualité et le côté « hybride » (qui mêle plusieurs médias et plusieurs types de formulations) de sa communication visuelle nous semblent un mode de communication adapté à un public large.

La communication des résultats sous différentes formes fait partie des pratiques expertes. Elle fait partie du discours du physicien sur sa propre pratique. Dans ses systèmes stratégiques, un système de didactisation est en transaction avec le système de production de savoir.

f. La didactisation des praxéologies scientifiques par d'autres institutions

Nous distinguons ci-dessous la didactisation opérée par les encyclopédies qui visent à synthétiser tous les savoirs et la didactisation de thèmes ponctuels dans des journaux, puis dans d'autres médias, en fonction de projets éditoriaux.

- **Les encyclopédies rassemblent des savoirs actualisés pour les rendre accessibles au public**

Nous y trouvons des explications physiques à jour du phénomène. L'Encyclopaedia Universalis en ligne ne propose pas d'entrée « Sables mouvants ». Le champ de recherche permet d'accéder à l'entrée Boues Thixotropiques, ou d'y arriver par la classification thématique Érosion et sédimentation, géologie. Le second paragraphe mentionne que *« Parmi les sols thixotropiques mondialement connus il faut signaler les vases des côtes de la Manche, plus souvent nommées sables mouvants. »* (« Encyclopeadie Universalis », 2014, p. boues thixotropiques) La première partie de l'article donne les propriétés de ces matières et termine par leur aspect mécanistique : *« Leur comportement de solide peut dépasser la limite de liquidité (limite d'Atterberg) : mais à la moindre agitation mécanique la masse solide deviendra instantanément fluide ; c'est la thixotropie »*. (ibid.)

Notons que, du fait de l'ancrage important de leur définition non scientifique dans la société, l'encyclopédie en ligne Wikipédia complète son article consacré aux sables mouvants avec une information documentée, en opposition au sens commun.

> *Du fait que la densité de son corps est proche de 1, un animal ne pourra s'enfoncer qu'à moitié dans un sable mouvant. Contrairement à une idée répandue (popularisée par certains films de genre), un corps pris dans un sable mouvant n'est donc pas aspiré par le fond, mais flotte (2 fois mieux que dans de l'eau).* (« Sable mouvant », 2014)

- **Des journaux, relais de la production récente de savoirs, à d'autres médias qui traitent de savoirs plus stabilisés**

Suite à la parution de l'article dans *Nature* (2005), plusieurs journaux – papier ou en ligne – s'emparent de la problématique des sables mouvants, relayant ainsi la découverte et sa référence scientifique.

The NewYork Times publie un article[143] en octobre (Chang, 2005). L'illustration "choc" est une image du film *Les chiens de Baskerville (Fisher, 1959),* une fiction où l'on voit une jeune femme qui disparaît dans les sables mouvants (Annexe 17 -). Le titre annonce "La vérité sur les sables mouvants", et le contenu reprend les « mythes » évoqués par Bonn dans son article. Comme le scientifique, elle en confirme deux et en infirme un. Les explications sont très succinctes, qualitatives, voire anecdotiques. *« The force needed to pull out a person immersed in quicksand is about the same needed to lift a car, Dr. Bonn said. The trick for escaping is to slowly wiggle the feet and legs, allowing water to flow in. » (op. cit.)*. Dans l'article scientifique, cette information est argumentée et fait référence aux travaux d'autres auteurs en bas de page.

> *« Water must be introduced into the compacted sand to liquefy it, which requires huge forces : to introduce water at a speed of 1 cm.s^{-1}, say, a pressure of 10^{6} pascals (Pa) is needed, assuming a typical sandpore size of 10 µm. To pull out a foot at this speed, a force of some 10^{4} newtons is required – about that needed to lift a medium-sized car (Khaldoun & al., 2005 »*.

L'article du journal transpose l'article scientifique de façon qualitative. Il rapporte des éléments de savoirs relatifs à des situations pratiques de la vie quotidienne : la mention de la noyade à cause de la marée montante, par exemple.

Etienne Guyon, scientifique spécialiste des matières granulaires, fait écho à cet article de *Nature* dans le magazine *La Recherche*[144] en décembre 2005 (Guyon, 2005). *La Recherche* est un des magazines de référence pour l'information scientifique francophone. L'auteur revient sur les résultats de l'équipe de Bonn et montre l'importance de ces recherches pour leurs applications en génie civil, dans l'exploitation pétrolière, ou encore pour prévenir les glissements de terrain. Les résultats scientifiques sont relayés et commentés en termes d'applications.

Le magazine *Science & vie junior* propose, en décembre 2005, un article (Nicot, 2005). Celui-ci illustre, pour le jeune public, les résultats scientifiques en trois temps :

143 http://www.nytimes.com/2005/10/04/science/04find.html
144 http://www.larecherche.fr/actualite/matiere/etienne-guyon-on-ne-se-noie-pas-sables-mouvants-01-11-2005-82964

1. la composition du sable mouvant et la relative solidité de la structure initiale ;
2. sa liquéfaction sous le poids d'un marcheur qui s'enlise ;
3. le blocage du marcheur dans le sable sédimenté à la fin du processus de liquéfaction.

Cet article de *Science & Vie junior* est cité et commenté par Daniel Bonn lors de sa conférence de décembre 2005 (section précédente, p. 301).

La thématique des sables mouvants n'est pas une question vive qui provoque des débats sociétaux. Cependant, elle n'échappe pas à la mise en ligne d'un article polémique ouvert aux commentaires du public. Les *pure players*, sites de presse en ligne non adossés à des journaux papier (par exemple, *Mediapart, Slate*, ou *Rue69*), proposent, dans l'espace public, des articles où la parole des scientifiques est confrontée à d'autres modes d'argumentation. Nous signalons ici, dans *Slate.com (Engber, 2010)* un article[145] détaillé sur les sables mouvants. Le journaliste met en doute les « mythes » dont parle Bonn pour la jeune génération (Illustration 38, p100). Il cite les résultats de recherche publiés dans *Nature* en 2005, mais il les confronte aussi à des recherches et des résultats antérieurs. L'écriture hypermédia multiplie les liens vers d'autres articles du même magazine, mais aussi vers d'autres médias et des sources scientifiques. Les internautes sont appelés à réagir en commentant ou en partageant la page, ce qui augmente le nombre de lecteurs potentiels.

En 2012, l'émission de télévision *On n'est pas que des cobayes* présente une modélisation « grandeur humaine » des sables mouvants : dans le studio-laboratoire, l'animateur est plongé dans un mélange sable mouvant artificiel. Dans une autre séquence, des expériences d'enlisements sont filmées dans la baie du Mont-Saint-Michel pour montrer qu'on ne peut couler dans des sables mouvants (« Est-il possible de se sortir des sables mouvants ? », 2012). Daniel Bonn, invité, fait une apparition dans l'émission pour donner à voir le phénomène de thixotropie et pour valider l'expérimentation proposée dans la séquence d'expérimentation en laboratoire. Il didactise alors sa recherche avec un simple échantillon de sable mouvant (modèle analogique destiné à une simulation) dans un flacon. Au repos, le sable mouvant est solide (Photogramme 71, p. 308, *tc* 02 :43). Après l'agitation du flacon, le sable mouvant est liquide (ibid, *tc* 02 :50).

145 http://www.slate.com/articles/health_and_science/science/2010/08/terra_infirma.html

Photogramme 71: Bonn dans l'émission « On n'est pas que des cobayes » (2012)

En 2015, l'Université des sciences en ligne propose une capsule vidéo dans sa série *« Késako ? »* (Unisciel, 2015). Elle reprend l'analogie déjà utilisée par Bonn (CNRS, 2005), mais sans le citer, entre le sable mouvant et une matière connue de tous, le yaourt. Il est solide en sortant (au repos) du réfrigérateur, et liquide quand il est agité. La stratégie est double. Elle est didactique : évoquer une expérience déjà vécue, le changement de viscosité d'un fluide non newtonien, le yaourt, avant de passer à une explication théorique du phénomène. L'expérience kinesthésique ou sensible du yaourt permet d'associer le sable mouvant à une matière connue, plutôt qu'à un danger inconnu. Elle donne une consistance physique à cette matière encore non éprouvée pour beaucoup de personnes. L'obstacle levé, l'apprentissage semble facilité. L'autre stratégie est d'ordre épistémologique : élargir un savoir sur les sables mouvants, en soi peu fondamental, au territoire plus vaste des matières thixotropiques et des autres fluides non newtoniens. Des champs de recherche peu connus du « grand public » s'ouvrent à l'exploration.

Des angles différents de didactisation des savoirs sont perceptibles selon les médias considérés, et selon le temps qui sépare la production du savoir de sa didactisation. Huet, journaliste scientifique au journal Libération déclare :

> *Le journaliste présente des travaux, des résultats, qui sont au tout début de leur processus de validation. À la limite, je considère que la tâche des journalistes est autant de faire comprendre aux gens le processus de création de la vérité scientifique – c'est un processus qui prend du temps –, que de dire « on a trouvé ça* (Huet cité par Guillas, 1996).

Cependant, la référence à une quelconque étude ou équipe scientifique disparaît peu à peu. Les institutions à vocation didactiques produisent, avec le temps, des savoirs, pour paraphraser Chevallard (1985), décontextualisés, dépersonnalisés, banalisés.

8.3.4 En bref : des praxéologies aux jeux épistémiques sur les sables mouvants

Nous décrivons trois praxéologies concernant les sables mouvants : celle des fictions, « *la terre qui noie l'homme* » de Hugo (1890), celle de riverains de ces lieux de vie et celle de scientifiques. Nous montrons comment ces praxéologies ont des enjeux différents : encoder un récit avec un stéréotype, organiser une prévention et des secours adéquats, expliquer un phénomène, le prédire, et l'utiliser dans d'autres situations. Pour Sensevy ces praxéologies sont modélisées par des jeux épistémiques.

> *La théorie de l'action conjointe en didactique institue un paradigme stratégique pour la description d'un savoir, et va donc entreprendre de voir tout savoir d'abord comme une pratique de savoir (premier mouvement praxéologique), puis comme un jeu (second mouvement praxéologique), avec ses enjeux, ses règles définitoires, ses règles stratégiques, ses stratégies, le gain qu'il permet d'atteindre, les profits symboliques qu'il permet d'obtenir, etc.* (Sensevy, 2011c, p. 124).

Le système stratégique de l'auteur de fiction et celui de l'usager avisé (plein de discernement) reposent sur des buts, des enjeux, et des gains forts différents, qui expliquent la différence de vérité pragmatique pour chacun de ces jeux. Le romancier doit susciter l'intérêt du lecteur et jouer avec ses attentes (Batman, précipité dans les sables mouvants, est donné pour mort), il est connaisseur de ce que l'on pourrait appeler les effets « imaginaires » des sables mouvants ; l'usager avisé est connaisseur des effets réels des sables mouvants, et de leurs dangers , car ce sont ceux-là qui ont un sens dans sa pratique. Le jeu du scientifique n'est pas le même : il cherche à déterminer la structure dynamique matérielle des sables mouvants en s'appuyant sur des théories physiques. Les différences entre chacun des jeux relèvent des systèmes stratégiques qui les constituent. Et ils génèrent chacun leurs propres didactisations.

Quand ils sont convoqués dans des jeux d'apprentissage, Gruson, Forest et Loquet parlent de *jeux épistémiques source* où chaque jeu *"correspond à un modèle de description du savoir en jeu dans les pratiques humaines de référence."* (Gruson et al., 2012, p. 357). Ces jeux nous paraissent cohabiter sur le stand comme dans la société. Cette cohabitation nous paraît alimenter la réflexion des physiciens et jouer un rôle didactique potentiellement important. Les différents jeux entrent en transactions sur des lieux publics tels que le village des sciences. Ils appellent les visiteurs à une vision lucide de différentes cultures de l'humanité sur le phénomène.

8.4 Jeux d'apprentissage : Lucie et les sables mouvants

Lors des médiations pour le « grand public », les visiteurs circulent devant les stands, s'arrêtent et repartent à leur gré. Des visiteurs s'insèrent dans des présentations en cours. Certains ont des comportements inattendus et particuliers, aussi choisissons-nous de ne pas évoquer toutes ces situations ici. Les épisodes que nous analysons présentent un public stable.

En fonction de l'intérêt du public qui passe, Lucie présente un thème du stand ou l'ensemble des dispositifs exposés. Dans cette étude, nous observons les épisodes concernant les sables mouvants, et nous en décrivons trois. Lucie intervient, sur ce thème, vingt et une fois dans l'après-midi du samedi[146]. Ses présentations durent, en moyenne, 3 minutes et 15 secondes.

Les épisodes étudiés se trouvent parmi les premiers. Nous commençons par la visite d'une famille de quatre personnes autour d'une fillette que nous appelons Charlotte[147] (8.4.1, p. 310). Nous l'avons filmée avec deux caméras : les deux points de vue se complètent et augmentent le nombre d'indices à notre disposition. L'épisode permet ainsi au lecteur de notre étude de se familiariser avec le jeu de Lucie sur les sables mouvants. Nous observons ensuite un autre groupe familial autour de deux garçons que nous nommons Eric et Yvan (8.4.2, p. 327), puis Ben, un enfant seul (8.4.3, p. 340). Nous finissons en prenant un peu de recul sur la succession de jeux d'apprentissages avec ces différents publics

Nous décrivons chacun de ces épisodes dans un langage partagé par des connaisseurs de cette action, selon ce que Sensevy appelle la sémantique familière de l'action (Sensevy, 2011, p. 189). Nous faisons ensuite une analyse des situations d'apprentissage avec un langage qui utilise des modèles, en montrant comment l'action conjointe et le système de ressources sont articulés pour construire des éléments de savoirs.

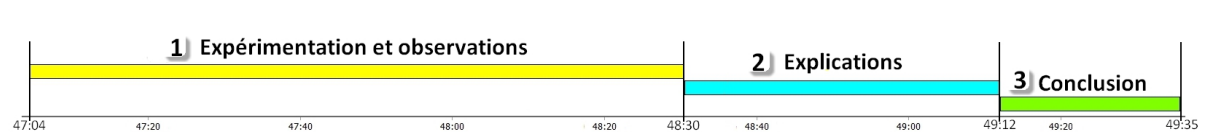
8.4.1 La visite de Charlotte et sa grand-mère

Cette présentation est la cinquième que Lucie réalise à propos des sables mouvants. Nous supposons que la physicienne a déjà pris des repères lors des épisodes précédents et qu'une routine s'installe. Dans cet épisode, Lucie présente les sables mouvants en 2 minutes et 31 secondes.

146 Les six thèmes que le stand propose de faire découvrir au « grand public » sont abordés autant de fois que les sables mouvants.
147 Pseudonyme

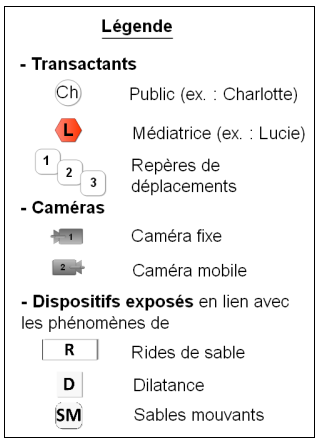
8.4.1.1 Présentation de l'épisode : Lucie, Charlotte et sa grand-mère

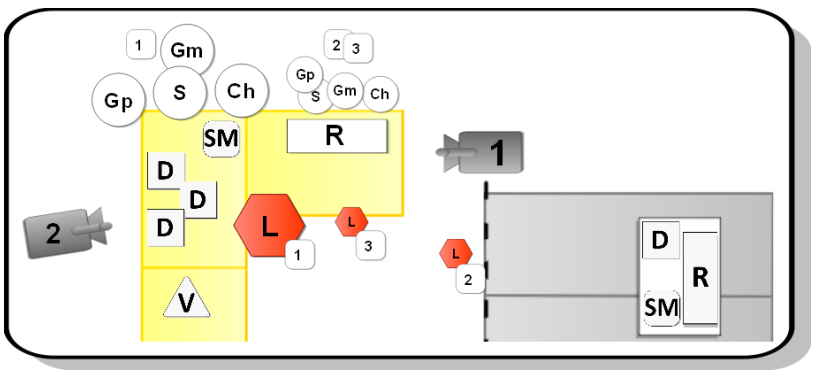
Quatre visiteurs arrivent sur le stand (annexe 50). Nous faisons l'hypothèse qu'il s'agit d'un groupe familial, deux fillettes accompagnées de leurs grands-parents. La plus grande, Charlotte (Ch) semble intéressée par les artefacts exposés sur la table, principalement du sable et de l'eau. Elle choisit d'y amener sa petite sœur (S), sa grand-mère (Gm) et son grand-père (Gp). Aucun autre visiteur n'est de passage, ou alors discrètement. La situation d'apprentissage est gouvernée par un choix, celui de Charlotte. Nous observons plusieurs familles agir de cette façon : aller au rythme de leurs enfants et les laisser choisir les lieux où ils s'arrêtent tous ensemble.



Vue_synoptique 18: Trois phases principales de l'épisode entre Lucie et la famille de Charlotte

Une première analyse de l'épisode nous permet de définir trois phases dans la présentation (Vue_synoptique 18, p.311). Nous définissons ces trois phases en fonction de moments dédiés à la simulation sur le modèle analogique (1), à des explications avec le poster (2) et à une conclusion sans artefact (3). Ces phases sont associées à trois espaces du stand. Sur le plan (Plateau_de_jeu 12, p.311), ils correspondent aux positions de Lucie, numérotées 1 (près du dispositif expérimental), 2 (près du poster) et 3 (sans artefact matériel, face au public). Le plan du stand indique les deux positions, initiale (1) et finale (3), des visiteurs. Ils glissent d'une position à l'autre en suivant Lucie, à l'exception de Charlotte qui se décale vers la position 3 alors que les autres transactants sont encore en position 1.





Plateau_de_jeu 12: Déplacement du groupe familial de Charlotte sur la zone humide du stand

Deux caméras opposées (Plateau_de_jeu 12, p. 311) filment l'épisode : l'une (n°1) propose un plan large fixe. Elle filme le côté « sable humide » du stand. Elle nous permet d'observer, de

part et d'autre de la table, à gauche, Lucie (L), et à droite, son public (exemple : Photogramme 72, p. 312). Nous dirigeons l'autre caméra (n°2) vers les actions de Lucie, quand elle manipule le modèle analogique (exemple : Photogramme 73, p. 313), ou quand elle utilise le poster (exemple : Photogramme 78, p. 315).

A. Une expérimentation sur le modèle analogique

Charlotte s'approche du pot contenant du sable et déclare qu'elle « aime ça ». Ses grands-parents et sa petite sœur restent unis et s'approchent de la table aussi. Lucie annonce ce dont il s'agit : « ça c'est des sables mouvants en fait\ » (tdp. 1[148]) Non seulement le thème est annoncé, mais Lucie fait entrer le public dans un univers intrigant et rassurant à la fois, contrasté : les sables mouvants, avec le mystère qu'ils véhiculent et l'inquiétude qu'ils génèrent (selon les connaissances du public), sont réduits ici à un pot de sable posé sur la table.

Photogramme 72: Lucie plante le décor et présente les personnages

Lucie présente l'expérimentation comme s'il s'agissait de l'histoire de deux bonshommes qui rencontrent des sables mouvants[149]. Elle commence par manipuler les figurines comme des marionnettes. Par la suite, elle n'agit plus que sur la matière, qu'elle fait vibrer par analogie avec les piétinements humains.

Lucie décrit le matériel qu'elle utilise : le pot contient un mélange d'eau, de sable et d'argile,

148 Toutes les références aux tours de paroles de cet épisode concernent le transcript de l'épisode « Lucie et les sables mouvants » (annexe 50).

149 *« Universally, people mentally organize information effectively if it is recounted to them in a story or narrative form. »* (Falk & Dierking, 2000, p. 51)

ce sont des sables mouvants. Les deux figurines représentent des « bonshommes », dont l'un est en plomb et l'autre d'une densité proche de celle de l'homme. Elle annonce d'abord que le petit bonhomme est plus lourd que le gros, puis se ravise : « plus dense ».

L : (00 :00)LÀ j'ai deux petits bonshommes qui sont sur le sable mouvant\ j'en ai un qui est en plomb ((Lucie montre le petit bonhomme)) qui est très très lourd (.) très très dense et j'en ai un qui a une densité proche de l'homme ((le bonhomme le plus grand))\ je les pose tous les deux dessus\ ils ont la même masse ils ont le même poids\ (tdp. 1)

Photogramme 73: Lucie pose les bonshommes sur le sable

Photogramme 74: Les bonhommes tiennent sur le sable mouvant

Elle scénarise ses actions pour le public qui fixe alternativement son visage et ses mains (Photogramme 72, p.312). Lucie pose les bonshommes (Photogramme 73, p.313) puis les lâche précautionneusement en marquant une pause avec ses mains écartées distantes des objets (Photogramme 74 , p.313). Elle fait observer : « je les pose dessus ils tiennent sur le sable mouvant\ » (tdp. 1) L'effet n'est pas spectaculaire, mais traité comme un événement à retenir. Il sera rappelé plus tard.

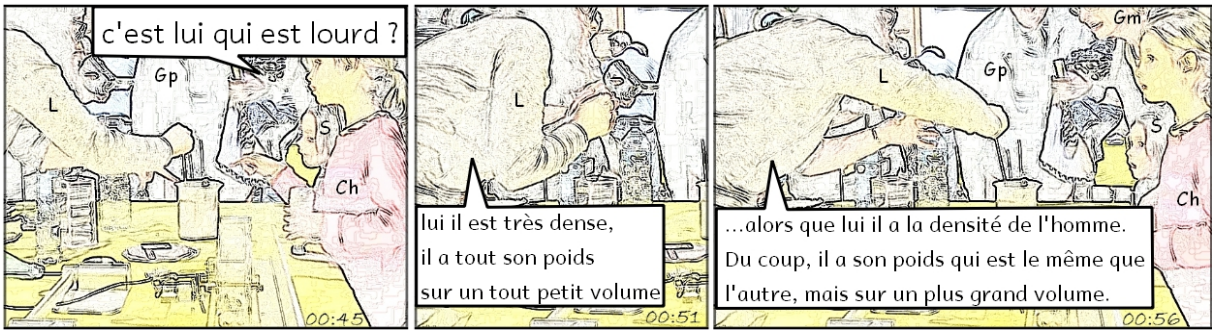
L'histoire racontée par Lucie dit que les bonshommes marchent et piétinent sur les sables mouvants. Pour simuler le mouvement des personnages, Lucie secoue le mélange avec un agitateur, puis, sur les conseils de sa collègue Thao, tape sur le pot avec un bâton, pour créer des vibrations[150]. L'effet est rapide : la figurine en plomb coule complètement (Photogramme 75, p. 314). Lucie s'adresse à Charlotte en pointant l'emplacement où se trouvait la figurine en plomb : « si je fais vibrer le sable lui il coule\ t'as vu/ » (tdp. 1).

Alors que le petit bonhomme a coulé, Charlotte fait le lien avec une information donnée au début, et demande, « c'est lui qui est lourd/» (tdp. 2) Lucie reformule la question de

150 La transition entre l'utilisation de l'agitateur et l'utilisation du bâton, pour créer un mouvement dans le pot de sable mouvant, est visible sur l'illustration 12 où Lucie retire l'agitateur d'une main et tape avec le bâton de l'autre main.

Charlotte : elle remplace le mot « lourd » par le mot « dense ». Elle s'engage alors dans une explication pour différencier la densité des deux figurines, en utilisant les concepts de *volume* et de *poids*. Lucie accompagne l'explication d'un mime (Photogramme 76, p.314). Son propre corps devient alternativement le « corps » du petit bonhomme et le « corps » du grand bonhomme.

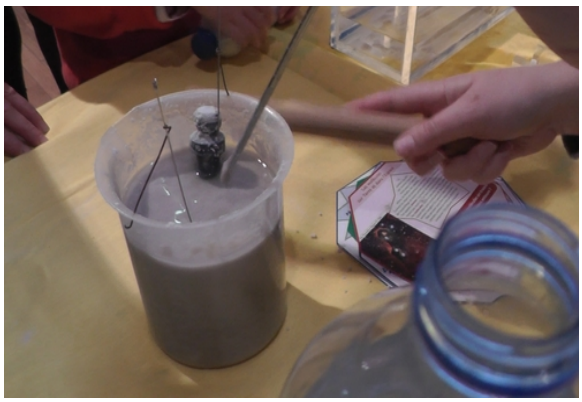
Photogramme 75: La figurine en plomb a coulé



Photogramme 76: Mime de la différence de volumes, pour expliquer la différence de densités

L : lui il est très dense c'est-à-dire qu'il a tout son poids sur un tout petit volume ((mains et coudes serrés)) alors que lui il a la densité de l'homme du coup il a son poids qui est le même que l'autre mais sur un plus grand volume\ ((mains et coudes écartés)) (tdp. 3)

Par contre, le personnage dont la densité est analogue à celle de l'homme ne s'enfonce pas complètement. Lucie prolonge les vibrations autour du personnage qui surnage (Photogramme 77, p. 314) et appelle à observer l'enlisement de la figurine : « il coule moins vite oui\ on voit qu'il coule quand même/ » (tdp. 5). Cette remarque provoque une réaction de la grand-mère qui se montre dubitative : « oui un petit peu ouais » (tdp.8) Charlotte constate : « on a le temps de s'échapper »(tdp. 8). Lucie laisse la grand-mère et Charlotte faire, de leur propre chef, et à leur manière, leurs commentaires. Elle les laisse exprimer les observations qu'elle-même attend, puis conclut : « il n's'enfonce plus même si je tape encore\ » (tdp. 14).

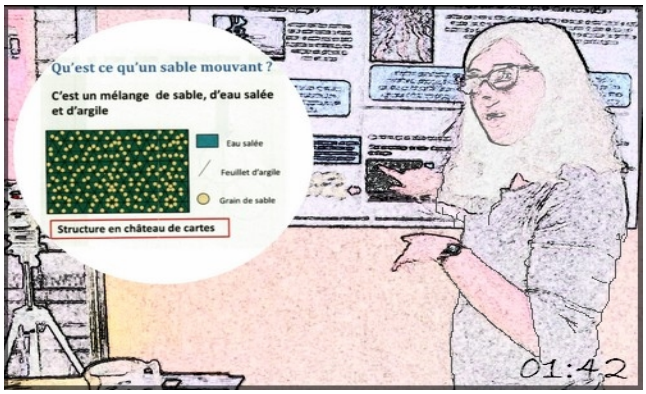


Photogramme 77: Le bonhomme analogue à l'homme s'enfonce mais ne coule pas

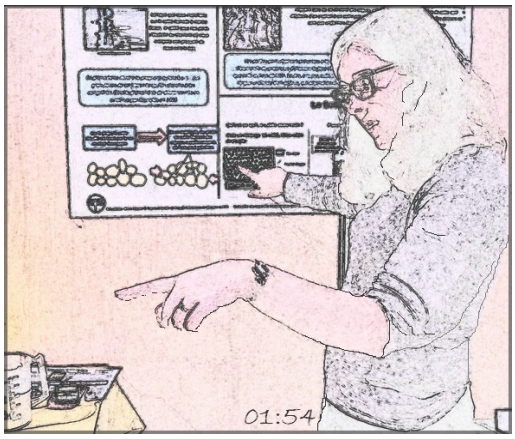
B. Une explication près du poster

Lucie s'écarte du pot de sable mouvant en rappelant sa composition : de l'eau, du sable et de l'argile. Cette information est explicite sur le poster vers lequel elle se déplace et où elle pointe du doigt un premier schéma (Photogramme 78, p. 315) qui montre les feuillets d'argile organisés en château de cartes. Leur présence explique le premier événement observé et décrit précédemment : la stabilité des figurines sur les sables mouvants. Lucie s'adresse alors à Charlotte qui s'est, entre temps, désintéressée de l'explication. Elle l'interpelle et ne la quitte pas des yeux :

L : tu vois/ (Photogramme 78, p.315) ((Charlotte lève la tête vers Lucie)) comme des petits châteaux de cartes donc ((en pointant le schéma°1 et le pot de sables, Photogramme 79, p. 315)) si tu arrives dessus en fait tu tiens\ (Photogramme 80, p. 315) (tdp. 18)



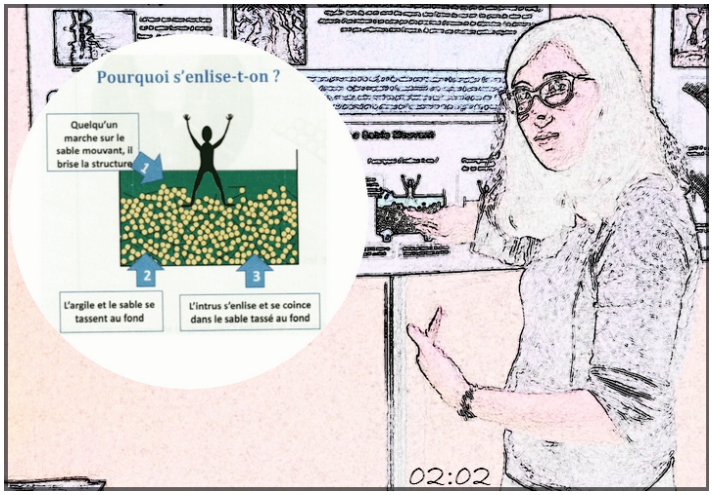
Photogramme 78: Lucie pointe le schéma n°1



Photogramme 79: Lucie pointe le schéma n°1 et le pot de sable mouvant

Comme nous pouvons le saisir sur cette suite de trois photogrammes (78, 79 et 80), Lucie pointe simultanément le schéma n°1 et le pot de sable mouvant (Photogramme 79, p. 315). Ainsi, elle fait le lien avec la première observation réalisée plus tôt. Enfin, son doigt quitte le poster, et elle mime la stabilité d'un corps immobile posé sur les sables mouvants (Photogramme 80, p.315).

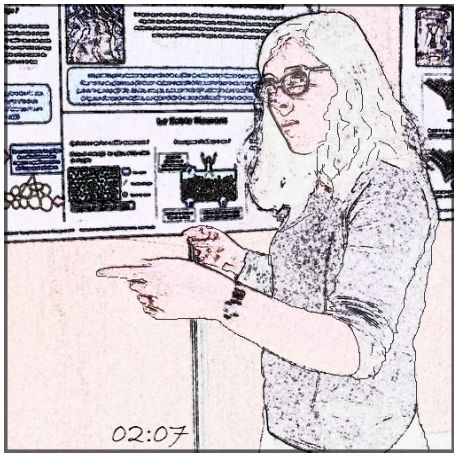
Photogramme 80: Stabilité du corps



Photogramme 81: Lucie pointe le schéma n°2

Photogramme 82: Gesticulation du corps de Lucie

Elle poursuit les apports théoriques en lien avec une hypothétique promenade de la fillette (ou de quelqu'un d'autre) sur les sables mouvants. Le schéma n°2 (Photogramme 81, p. 316) lui permet d'expliquer son enlisement si elle gesticule (ou l'enlisement de tout humain s'il gesticule) (Photogramme 82, p. 316). Lucie le mime pour son public, puis pointe le pot où se sont enfoncés les deux bonshommes quelques instants plus tôt (Photogramme 83, p. 316) quand elle a fait vibrer le sable mouvant.



Photogramme 83: Lucie fait le lien entre le schéma n°2 et l'événement observé précédemment dans le pot

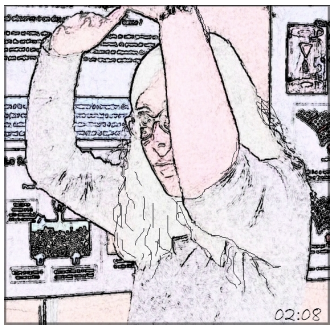
Photogramme 84: Charlotte et le chenal

Charlotte décroche et manipule la roue à aube du chenal[151] posé en bout de table (Photogramme 84, p. 316).

Cependant, on ne s'enliserait pas au-dessus de la tête (Photogramme 85, p.317). Lucie poursuit ses explications relatives aux différences de densités, en s'adressant aux adultes.

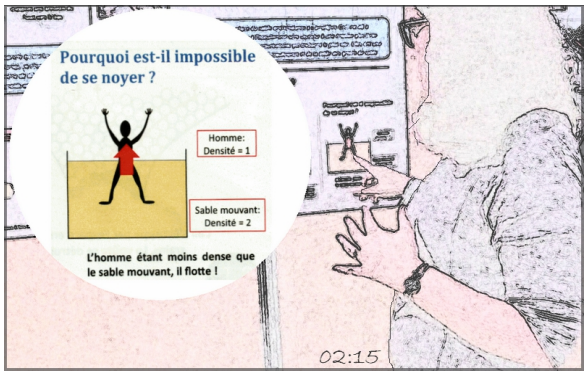
L : parce qu'en fait la densité du sable mouvant est autour de deux ((deux doigts levés à la main droite, Photogramme 86, p. 317)) et la densité de l'homme ((Lucie pointe le schéma n°3 où la densité de l'homme est notée, Photogramme 87, p. 317)) est autour de un\ du coup ça veut dire (tdp. 18).

151 Le micro chenal est le dispositif avec lequel Lucie présente la formation des rides de sable sous l'eau



Photogramme 85: On ne peut pas s'enliser jusque-là

Photogramme 86: Deux doigts levés pour indiquer la densité du sable mouvant



Photogramme 87: Lucie pointe le schéma n°3

La grand-mère de Charlotte, comme pour demander confirmation de ce qu'elle vient de comprendre, interrompt Lucie pour formuler la question : « on se noie pas dans les sables mouvants/ » (tdp. 19).

C. Une conclusion en tête à tête

Lucie sourit et se met face au couple de grands-parents. Elle conclut avec la grand-mère :

L : on ne va pas se noyer comme ça juste dans les sables mouvants\
Gm : ah non/
L : non ((doigt levé pour demander l'attention)) ça c'est pas possible\ ((mouvement de recul marquant une distance avec la proposition)) c'est Indiana Jones qui a inventé ça\ c'est pas physique\ voilà\ (tdp. 20-22)

Avec une métonymie[152], l'exemple d'Indiana Jones (le héros de la série de films du même nom), Lucie fait remarquer que le cinéma a contribué à véhiculer cette fausse image des sables mouvants (du point de vue de la physique). Les hommes engloutis par du sable mouvant ne sont que des fictions. La physique montre qu'il en est autrement : « on ne va pas se noyer comme ça juste dans les sables mouvants\» (tdp. 20). Mais cette proposition négative appelle une explication des fondements du savoir « erroné » initial (toujours du point de vue de la physique) : « et par contre si vous allez au Mont Saint Michel et que vous vous enfoncez jusqu'à un certain niveau ((Lucie met ses mains au niveau des cuisses)) et que la marée remonte/ ((mouvement des mains de l'extérieur vers elle-même)) ».

152La *métonymie* consiste à employer *« un mot pour désigner un objet ou une propriété qui se trouve dans un rapport existentiel avec la référence habituelle de ce même mot »* (Ducrot & Todorov, 1972, p. 354).

Gp finit la phrase de Lucie : «ben alors là tu meurs noyée\». Lucie confirme avec son doigt levé pour attirer l'attention de la grand-mère déjà captivée : «LÀ vous pouvez vous noyer\ (Photogramme 88)

Photogramme 88: Suspens final

«mais/» Lucie fait tourner son doigt pour indiquer une alternative : «à cause de la marée qui remonte mais pas enfoncée dans les sables mouvants\ voilà\» (Photogramme 89). Gm éclate de rire : «ah d'accord OK»

Photogramme 89: Dénouement

Ici, Lucie appelle à prendre du recul par rapport aux savoirs véhiculés par les films de fiction, ainsi qu'à propos des conclusions erronées sur des noyades dans les sables mouvants du Mont St Michel : distinguer fiction et réalité, et distinguer l'engloutissement dans les sables mouvants de la noyade sous les eaux de la marée montante. Charlotte n'a pas suivi la démonstration de Lucie, et elle attend la mise en route du moulin sur le chenal (R sur le plan, Plateau_de_jeu 12, p. 311). Son impassibilité contraste avec la satisfaction de Lucie, mais aussi avec l'expressivité de sa grand-mère qui prend conscience, à ce moment-là, de l'aveuglement occasionné par un savoir jamais mis en cause, une certitude non fondée.

Les grands-parents de Charlotte semblent avoir compris ce que Lucie veut transmettre avec la manipulation du modèle analogique et son apport théorique. La grand-mère énonce la conclusion «on se noie pas dans les sables mouvants/» (tdp19), et le grand-père a bien compris le rôle de la marée dans la mort des personnes prisonnières des sables mouvants : «ben alors là tu meurs noyée\» (tdp. 25). La grand-mère rit de bon cœur, Lucie aussi.

8.4.1.2 Analyse didactique de l'épisode avec Charlotte

Nous avons décrit l'épisode en langage familier, dans son déroulement, dans ses contenus, et dans l'action de Lucie et des visiteurs. Nous proposons à présent une analyse de l'épisode

avec des concepts didactiques.

A. Une succession de jeux d'apprentissages

Le jeu didactique des sables mouvants est ici composé d'une succession de jeux d'apprentissages que nous pouvons repérer grâce aux savoirs que Lucie *institue* au fil de l'épisode.

Charlotte choisit de visiter le stand de l'IPR. L'*affordance*[153] produite, sur la fillette, par le pot de sable et les figurines, ne correspond sans doute pas à l'usage qu'en fait Lucie. Au village des sciences, le sable et l'eau suscitent, de façon générale, l'intérêt du jeune public. Par ailleurs, dans les cas de déplacements familiaux, nous notons que le choix des visites de stands est souvent dévolu aux enfants. Les autres membres de la famille s'y conforment.

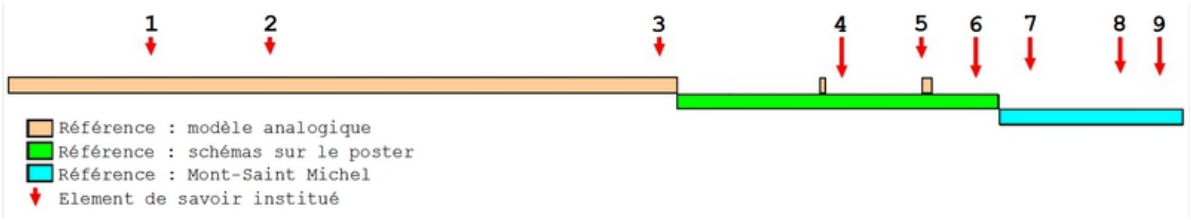
Lucie commence par annoncer l'objet dont il va être question : les sables mouvants. Elle *définit* le jeu en présentant les différents éléments du modèle analogique : la composition du sable mouvant, et les figurines en fonction de leur densité. Lucie considère que les sables mouvants sont « connus » du public, ainsi que le concept de *densité*. Elle considère, de façon implicite, que ces deux notions font partie d'un arrière-plan commun dans le contrat qui la lie à ses visiteurs, et s'en sert dès la *définition* du jeu. Or, Lucie prend conscience qu'une *régulation* est nécessaire, avec une question explicite de Charlotte :

Ch : et c'est lui qui est lourd/
L : lui il est très dense c'est-à-dire qu'il a tout son poids sur un tout petit volume ((mains et coudes serrés)) alors que lui il a la densité de l'homme du coup il a son poids qui est le même que l'autre mais sur un plus grand volume\ ((mains et coudes écartés)) (tdp.2-3)

Nous pouvons voir là ce que Vygotski (1934) nomme la reformulation d'un *concept quotidien* (lourd) en un *concept scientifique* (dense). La signification du premier est liée à l'expérience de l'enfant ; la signification du second relève d'un réseau conceptuel.

L'extrait que nous étudions est jalonné de moments où Lucie institue des éléments de savoir avec son public (flèches rouges sur le schéma, Vue_synoptique 19, p.320) : d'abord avec le modèle analogique (*timeline* saumon) ; puis avec le poster (*timeline* verte) et en référence aux résultats obtenus lors de la simulation (rectangles jaunes posés sur la *timeline* bleue*) ;* puis en face à face (*timeline* bleue) dans des transactions langagières en référence à des savoirs antérieurs (le Mont-Saint-Michel, hors village des sciences) mis en relation avec ce qui vient

153 Gibson (1977) définit l'*affordance* comme l'ensemble des possibilités d'action d'un objet dans une situation, dans l'environnement, en fonction de ses caractéristiques propres et de celle de l'observateur/acteur.



Vue_synoptique 19: Moments de formalisation d'éléments de savoirs par Lucie

d'être construit. Nous observons ici, de la part de Lucie, la volonté d'établir un arrière-plan commun avec son public, une volonté de partager une certaine mémoire des actions antérieures pour pouvoir construire la suite de la démonstration. Pour analyser le jeu de Lucie, nous fixons des moments clés, correspondant à des unités sémantiques qu'elle institue. Nous numérotons ces éléments que Lucie met explicitement dans le milieu au fur et à mesure qu'ils sont construits. Pour la suite de la médiation, ils font partie du contrat didactique partagé avec son public.

1. je les pose dessus ils tiennent sur le sable mouvant (mc1)
2. si je fais vibrer le sable lui ((le petit bonhomme en plomb est montré du doigt)) il coule\ (mc2)
3. il ((le grand bonhomme est montré)) n's'enfonce plus même si je tape encore\ (mc3)

Le processus d'institutionnalisation se poursuit avec une explication devant le poster. Elle présente des éléments théoriques en s'appuyant sur les trois résultats d'expérience précédents. Ces derniers fonctionnent comme un arrière-plan désormais inclus dans le contrat didactique, un « monde commun ». Elle les désigne juste en pointant du doigt la direction du pot de sable mouvant (rectangles couleur saumon posés sur la *timeline verte)*. mc4 complète le mc1, et les mc5-6 complètent le 3, en opposition au mc2. Des éléments théoriques viennent expliquer et compléter les observations précédentes. Les savoirs deviennent plus denses. Nous soulignons ces éléments théoriques qui viennent préciser, compléter ou nuancer les savoirs empiriques institués précédemment :

4. les feuillets d'argile vont prendre une structure comme des châteaux de cartes donc si tu arrives dessus en fait tu tiens\ (mc4)
5. par contre si tu marches si tu piétines tu vas casser ces structures-là (.) tu vas t'enfoncer (mc5)
6. mais tu vas t'enfoncer pas complètement parce qu'en fait la densité du sable mouvant est autour de DEUX et la densité de l'homme est autour de UN\ (mc6)

Lucie conclut (mc7 en opposition au mc2) et complète sa monstration en expliquant d'où viennent les savoirs qui circulent à propos des sables mouvants. Elle différencie les pratiques de savoirs dans les films de fiction et en physique (mc8) avec l'arrière-plan des mc3 et mc6.

Elle renvoie la grand-mère à ses propres expériences des sables mouvants et de la marée au Mont-Saint-Michel (mc9), et permet ainsi de réinterroger des savoirs jusque-là peu formalisés.

- on ne va pas se noyer comme ça juste dans les sables mouvants\ (mc7)
- c'est Indiana Jones qui a inventé ça\ c'est pas physique\ (mc8)
- vous pouvez vous noyer mais à cause de la marée qui remonte (mc9)
- mais pas enfoncée dans les sables mouvants\ (mc10)

Nous observons comment le contrat prend appui sur deux systèmes d'attentes de la part de Lucie :

- l'un est explicite : il s'appuie sur les faits institués au fil de la séance ;
- l'autre est implicite, et il est composé de propositions du type :
  - les visiteurs connaissent les sables mouvants montrés dans les films de fictions tels que *Indiana Jones* (Spielberg, 2008) ;
  - ils savent que l'on peut rencontrer des sables mouvants dans la baie du Mont Saint-Michel ;
  - ils croient que l'on peut être engloutis par les sables mouvants ;
  - ils connaissent la notion de densité ;
  - ils donnent au modèle analogique le même sens que moi : un moyen de simulation.

Les savoirs se densifient avec le processus d'institutionnalisations successives qui construisent et font évoluer le milieu. Le processus de mésogénèse se prolonge plus ou moins dans le temps selon qu'il est vécu par Gm ou par Ch. Les éléments de contrat antérieur de l'une et l'autre permettent plus ou moins bien un « voir-comme » adéquat. Dans les épisodes suivants, nous proposons une représentation graphique qui permet de voir l'évolution du milieu et de faire apparaître le contrat.

B. Les systèmes de ressources des transactants

Le modèle analogique et le poster sont des ressources qui n'agissent pas seules pour enseigner et apprendre le fonctionnement du sable mouvant. Alors que l'expérimentation, avec le contrôle du facteur temps, est associée à un discours qui oriente l'observation, les jeux d'apprentissage près du poster articulent un système complexe de ressources. Le public se saisit-il les documents développés par Lucie dans les deux situations ?

a. La simulation avec le modèle analogique

La ressource « temps » a son importance dans la phase d'utilisation du modèle analogique. Ce temps est celui de la simulation : la différence de vitesse d'enfoncement des deux figurines (liée à la différence entre leurs densités) est montrée par l'expérimentatrice. Mais Lucie en joue aussi pour séquencer les différentes observations. Elle aménage des pauses qui ponctuent les moments forts, et les accompagne d'une gestuelle : du mouvement pour créer l'analogie du piétinement des bonshommes, et des gestes en suspens pour faire observer l'immobilité. Par ailleurs elle s'assure, d'un regard ou d'une interpellation, « voyez », « tu vois », de l'effet produit sur le public.

- Lucie pose les figurines ; elles tiennent sur le sable. Lucie arrête le mouvement de ses mains, doigts écartés pour montrer qu'elle ne touche plus au matériel. Le moment dure, les figurines stationnent sur le sable mouvant sans s'enfoncer.
- Lucie agite le sable ; la figurine en plomb coule rapidement. Lucie pointe un doigt sur l'endroit où a disparu la première figurine.
- Lucie fait durer la phase d'agitation du sable, elle change même d'outil pour le faire vibrer ; la figurine analogue à l'homme ne s'enfonce que légèrement. Elle laisse au public le temps d'observer ce phénomène, de faire ses commentaires et de sentir cette durée qui efface les doutes sur l'engloutissement possible du bonhomme.

Nous observons, dans cette phase d'expérimentation, un système de ressources au service de la production des savoirs. Les usages du modèle analogique, du langage, de son propre corps (un mime associé aux mots pour exprimer la notion de différence de volumes), le contrôle du temps et de la durée sont des instruments de Lucie dans son exercice didactique. Il s'agit d'un système d'éléments matériels et symboliques contenus dans les ressources que Lucie organise et produit, tout en déchiffrant les signes renvoyés par le public. Le public doit faire les relations entre tous ces éléments signifiants. Il doit lui-même s'en saisir comme documents.

Nous parlons d'*instrumentation* quand le public développe à partir des ressources les connaissances attendues : la grand-mère remarque « il coule moins vite quand même » (tdp. 4) : elle utilise les ressources avec la même intention que Lucie. Nous parlons d'*instrumentalisation* quand les ressources sont détournées de l'usage prévu par la physicienne. Charlotte remarque qu'« on a le temps de s'échapper »(tdp. 8) : elle saisit le facteur temps, et replace le bonhomme dans un environnement réel de sables

mouvants pour le sauver de l'engloutissement. Elle change de jeu en sortant de la simulation avec le modèle, et change de fins (issue et objectif) : Lucie veut montrer que le bonhomme ne peut pas s'enfoncer plus, tandis que Charlotte « sauve » le personnage avant que l'on puisse observer la stabilité de la figurine.

Nous pensons cependant que, même si l'intervention de Charlotte est en rupture avec les règles de la partie menée par Lucie, « expérimenter sur le modèle analogique », elle est en avance sur le temps didactique : elle est bien dans le jeu des sables mouvants, mais la physicienne ne s'en saisit pas à ce moment-là.

b. Une explication près du poster entre inscriptions iconiques et expressions corporelles

Lucie a recours à une gestuelle dès qu'elle perçoit que les éléments symboliques, son propre discours ou les inscriptions iconiques sur le poster, ne suffisent pas pour que le public accède au savoir. Lors de son explication près du poster, Lucie développe toute une gestuelle, articulée avec les inscriptions iconiques (schémas sur le poster), son discours, et les savoirs institués précédemment.

Quand elle regarde Charlotte en lui disant : `« si tu arrives dessus en fait tu tiens\ » (tdp. 18)`, les mimes de Lucie pourraient ne se référer qu'au corps de Charlotte au cas où elle se trouverait sur des sables mouvants. Nous pensons cependant que cette interpellation de Charlotte relève de deux intentions :

1. elle est un moyen rhétorique pour remettre la fillette dans la transaction ;
2. elle est également une synecdoque[154] pour englober le corps de la fillette dans l'ensemble de tous les corps humains.

L'association des gestes déictiques[155] (vers le schéma puis vers le modèle analogique), du mime (stabilité du corps humain), du regard (vers Charlotte) et du discours (`« tu tiens »`) permet de créer par la pensée, un environnement de sables mouvants sur lequel se trouverait quelqu'un ; pas seulement Lucie qui le montre avec son propre corps, pas seulement Charlotte à qui elle s'adresse, mais n'importe quel humain dans cette situation. Après la phase de stationnement sur les sables mouvants fictifs, l'agitation de Lucie n'est pas vue comme une gesticulation de la physicienne dans le stand, mais comme les piétinements d'un humain dans

154Figure de style qui consiste à prendre le particulier pour le tout (synecdoque particularisante).
155Les gestes qui permettent de pointer quelque chose (physiquement avec un doigt et/ou le regard), ou de façon plus subtile, quelque chose qui se passe ou même qui s'est passé à l'endroit pointé.

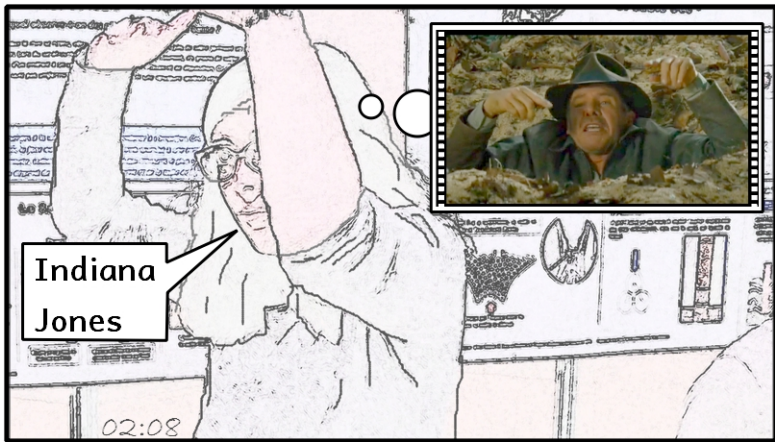
les sables mouvants. Le décor a été planté précédemment. Elle a créé un espace de sable mouvant fictif, et une présence humaine dans ce lieu particulier, et chaque fois qu'elle se détache du poster (qu'elle cesse de le pointer), elle n'est plus la physicienne : elle change de décor et change de rôle, elle devient cet humain sur des sables mouvants. L'expérience n'est pas totalement imaginaire, car le geste qui pointe le modèle analogique pointe, dans le même mouvement, ce qui a été fait, vu et dit quelques instants plus tôt. Forest dit que *« si dire c'est faire, on peut ajouter ici que faire (avec son corps) c'est également dire (la relation avec le milieu) »* (2008, p. 87).

c. Les références : la baie du Mont-Saint-Michel et Indiana Jones

Lucie utilise comme exemples les sables mouvants et le phénomène des marées dans la baie du Mont-Saint-Michel.

La baie est renommée et géographiquement proche du lieu de la médiation (50 km). Le public de Lucie peut raisonnablement connaître ces phénomènes, de façon empirique, ou de renom. Elle suppose que le public possède la même référence qu'elle. Dans plusieurs épisodes, ce sont effectivement les visiteurs qui font référence à la baie.

Lucie utilise aussi Indiana Jones (Photogramme 90, p.324), héros d'un film d'aventure (Spielberg, 2008), comme l'archétype du personnage de fiction qui est englouti par des sables mouvants.



Photogramme 90: Référence à Indiana Jones

Ces deux références font partie du système d'attentes de Lucie.

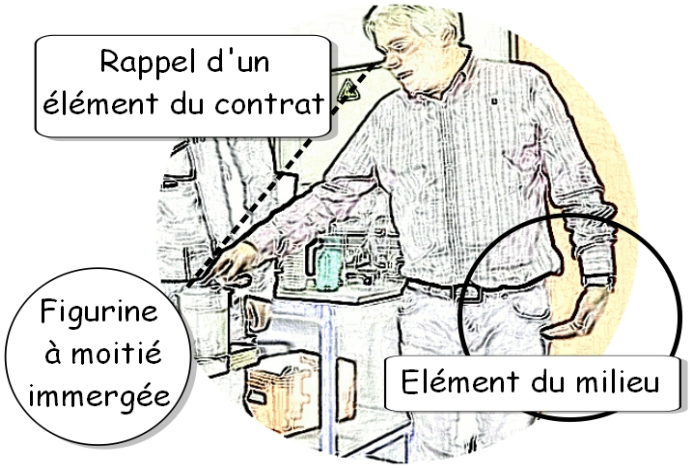
Ces pratiques, qu'elle utilise comme ressources pour faire avancer le savoir, ne sont pas seulement évoquées par un discours. Lucie donne corps à ces situations avec des mimes qui les traduisent visuellement : stabilité du sable, stabilité du corps, gesticulation, enfoncement jusqu'au niveau des cuisses, la marée montante ou, ce que l'on voit dans les films (à l'opposé de ce que décrivent les lois de la physique), l'enlisement au-dessus de la tête.

C. Un système de ressources acquis pendant la préparation du stand

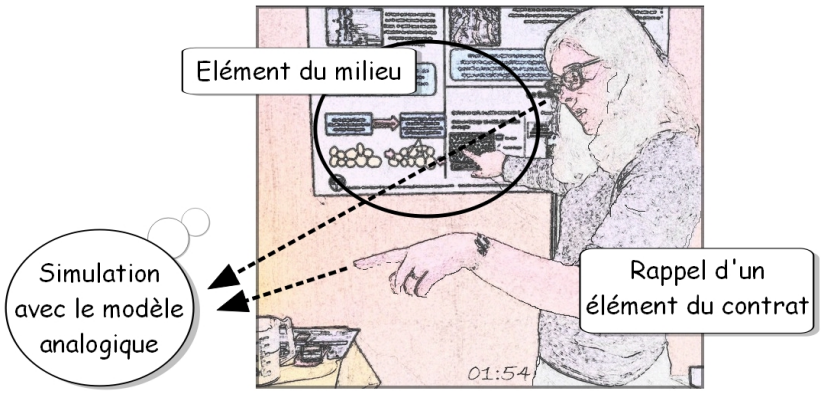
Lucie a préparé les médiations pour le stand avec ses collègues doctorants, et avec Alain, l'assistant ingénieur. Celui-ci a partagé ses connaissances, ses astuces. Il a présenté les dispositifs déjà utilisés lors des éditions précédentes du village des sciences, accompagnés des fiches descriptives réalisée par la stagiaire du laboratoire. Alain a décrit aux doctorants les étapes des expérimentations et des démonstrations, fait des liens avec des applications dans l'industrie ou la vie quotidienne. Il a montré les gestes techniques nécessaires au fonctionnement des dispositifs, relaté des phases de leur construction, évoqué les discussions avec les chercheurs, raconté des anecdotes, et précisé quelques chiffres. Il a accompagné ses discours d'une gestuelle très expressive. Lucie ne s'est pas seulement approprié l'utilisation technique des dispositifs et les contenus verbaux. Elle reproduit aussi (Photogramme 91, p.325) de nombreuses ressources corporelles de l'assistant. Elle imite sa gestuelle pour compléter son discours : «mais tu vas t'enfoncer/ pas complètement\».

Photogramme 91: Analogie entre la gestuelle de Lucie et d'Alain

Alain, lors de la préparation du stand (annexe 34), n'a pas hésité à se mettre en scène. De la main gauche (Photogramme 92, p. 325), il montre, sur son corps, jusqu'où il s'enfoncerait dans le sable mouvant. Il donne ainsi à voir « virtuellement » un élément du milieu. De l'autre main, il rappelle un élément du contrat récemment élaboré, en pointant du doigt et en regardant les éléments observés précédemment : le bonhomme qui flotte en équilibre dans le pot de sable mouvant.

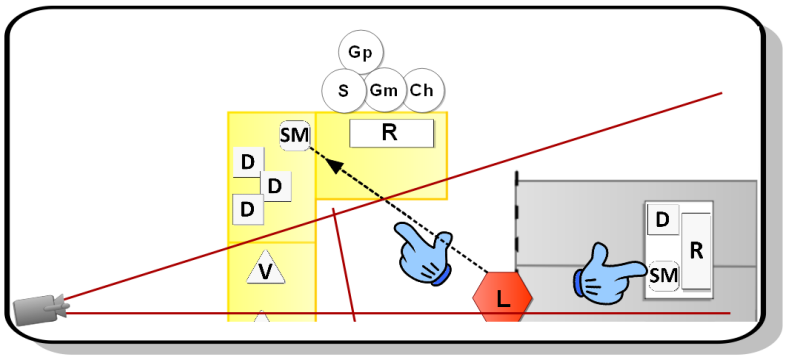


Photogramme 92: Alain rappelle un élément du contrat dans le milieu actualisé

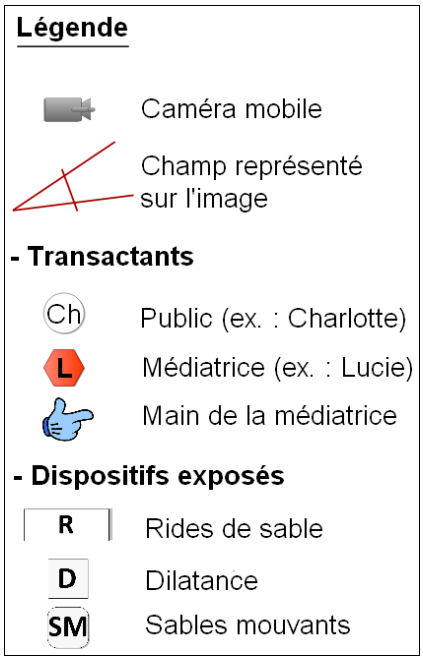


Photogramme 93: Lucie rappelle un élément du contrat dans le milieu actualisé

Lucie utilise également ces gestes qui mettent physiquement en relation des éléments de savoir évoqués à des moments différents (Photogramme 93, p. 326). Elle pointe, en même temps, le schéma qu'elle commente sur le poster et la situation analogue simulée plus tôt dans le pot de sable mouvant. Le regard accompagne le geste déictique. Ensemble, regard et pointage matérialisent l'endroit où se situait l'action qu'il faut rappeler à la mémoire. Lucie et Alain prennent en charge le rappel de la situation précédente. Matheron et Salin écrivent que *« l'action enseignante reconstruit publiquement la mémoire officielle pour mener à bien le projet d'enseignement »* (2002, p. 63).



Plateau_de_jeu 13: Reconstitution de la scène didactique, l'espace dans le champ et hors champ de la caméra



Parfois, il n'y a plus de trace tangible de la situation. Le doigt et le regard fixent, et « réifient », l'endroit où est survenu un événement institué plus tôt (Plateau_de_jeu 13, p. 326). Elle donne ainsi à voir un élément symbolique du milieu (le schéma). De l'autre main, appuyée par son regard, elle rappelle l'élément du contrat précédemment élaboré : le grand bonhomme qui s'est enfoncé dans le sable mouvant « jusqu'à la taille ».

D. Sémiose du milieu et sémioses réciproques des transactants

Les médiateurs articulent des formes matérielles et symboliques matérialisées (Bachelard, 1934, introduction) dans différentes ressources (« réifiées » dans le modèle analogique, imprimées sur un poster, incorporées dans des mimes). Pour ce faire, ils produisent un éventail d'effets sémiotiques et décryptent les signes produits par les transactants.

Les artefacts matériels produisent des signes. Lucie amplifie cette sémiose et la dirige. La médiatrice produit un éventail d'effets sémiotiques : son discours, mais aussi la façon de l'adresser, ou pas, à Charlotte ou à la grand-mère ; sa position dans l'espace, plus ou moins proche des artefacts, mais aussi des visiteurs ; ses déplacements, donc, et sa gestuelle ; ses regards qui accompagnent des déictiques plus matériels, mais qui signifient aussi aux visiteurs le déchiffrement, par Lucie, des signes qu'ils produisent. En effet, les éléments de savoir que les visiteurs mettent dans le milieu sont, pour la médiatrice, une ressource, une partie du substrat sur lequel est fondée la transaction.

Les visiteurs transactants produisent également un éventail d'effets sémiotiques : leur discours, mais aussi leur façon de l'adresser à autrui, à Lucie ou au sein du groupe familial ; leur position dans l'espace, plus ou moins proche des artefacts, mais aussi de Lucie ; leurs déplacements, donc, et leur gestuelle ; les regards qui accompagnent des déictiques plus matériels, mais qui signalent aussi à Lucie leur déchiffrement les signes qu'elle produit.

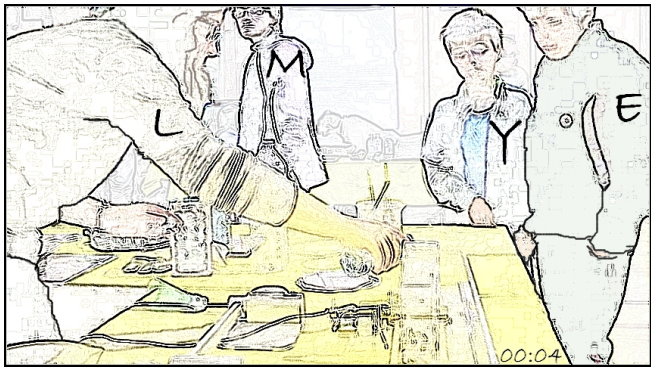
8.4.2 La visite d'Eric, de Yvan et de leurs parents

Dans cet épisode (annexes 47 et 48), Lucie présente les sables mouvants pour la troisième fois. Le groupe familial se distingue de celui de la situation décrite précédemment par de plus nombreuses transactions. L'épisode dure 3 minutes et 36 secondes.

8.4.2.1 Présentation de l'épisode : Lucie et la famille d'Eric et Yvan

Le jeu sur le stand est à l'initiative de deux jeunes qui s'arrêtent contre la table d'exposition (Photogramme 98, p. 330). Nous les appelons Yvan (Y), le plus jeune, et Eric (E), un adolescent. Ils observent les dispositifs posés sur la table pendant que leur mère (M) continue de déambuler dans l'allée en regardant l'affichage du stand. Dès que Lucie (L) finit de mettre de l'eau dans le chenal (comme tous les dispositifs, celui-ci demande un entretien entre chaque médiation), elle accueille les deux garçons qui lui répondent avec un « bonjour » timide. Elle leur présente les thèmes du stand et leur laisse le choix de la zone qu'ils veulent

découvrir. Ils désignent la zone du sable mouillée, devant eux, là où se trouve le pot de sable mouvant. La mère s'aperçoit que ses fils entament une discussion avec la médiatrice. Elle rebrousse chemin et observe ses enfants en souriant. Lucie s'adresse aux deux garçons. Le père (P) rejoint le groupe.



Photogramme 94: Arrivée des garçons à la table du stand

Lucie présente le modèle analogique : le sable mouvant, composé d'eau, de sable et d'argile ; les figurines dont une a la densité du plomb, et l'autre, la densité d'un humain ; l'agitateur qui permet de modéliser le mouvement créé par un piétinement. Elle montre que tant que les deux bonshommes sont immobiles sur le sable mouvant, il ne se passe rien. Mais dès que le sable est agité, le petit bonhomme coule et est submergé, alors que l'autre, celui qui a la densité humaine, s'enfonce un peu mais pas complètement. Les deux garçons sont très attentifs et rendent compte de leurs observations (Photogramme 95, p. 328). Ils interagissent avec Lucie qui les laisse conclure avant de valider :

L : si je fais bouger le sable autour/ vous voyez celui-LÀ ((le bonhomme en plomb)) il COULE\ (.) il coule COMplètement\ (.) on ne le voit plus\ si je fais bouger autour de celui-LÀ/ ((celui qui a la densité de l'humain)) (.) il coule auSSI/ (.) on voit qu'il diminue/ qu'il baisse un peu/

Photogramme 95: Phase d'expérimentation avec le modèle analogique

Y : Beaucoup moins\

E : MOINS /

L : un peu moins ouais\ (.) et LÀ/ (..) je SEcoue je SEcoue/ [(..) il ne descend plus\]

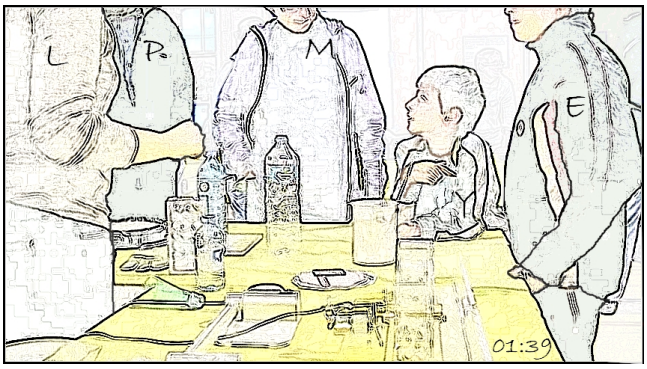
E : [et l'autre il s'enfonce de plus en plus\]

L : et l'autre il desCEND\ il desCEND\ il desCEND\(.) (tdp. 10-15)

La médiatrice propose alors de traduire en exemple, la simulation qui vient d'être réalisée : «si on va au Mont-Saint-Michel (.) dans les sables mouvants» (tdp.15). Elle est interrompue par Eric qui prend l'agitateur pour poursuivre la simulation. Lucie l'invite à manipuler le modèle : «essaie de le faire descendre/ tu vas voir tu n'y arriveras pas\» (tdp.17)

Lucie poursuit son récit en faisant le parallèle entre ce qui s'est passé dans le pot et ce qui se passe dans la baie du Mont-Saint-Michel. Eric l'écoute, puis lâche l'agitateur au moment où elle évoque l'enfoncement «jusqu 'à un certain niveau». Il s'apprête à témoigner. Pendant ce temps, une discussion en aparté se termine entre les autres membres de la famille, pour définir lequel des garçons est allé au Mont-Saint-Michel avec sa classe. Le récit de Lucie et la discussion familiale se mêlent :

P : [t'y as été ((à Yvan))
M : tu t'en souviens/] ((à Yvan))
L : [si on marche qu'on piétine un peu/(.) on va s'enfoncer/] mais jusqu'à un certain niveau\ ((Lucie montre le pot comme pour rappeler ce qui s'est passé et qui est encore visible))
E : ((Eric arrête d'agiter le sable et regarde attentivement Lucie))

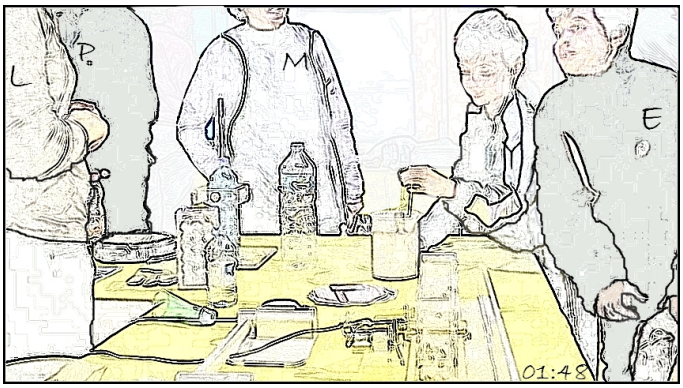


Photogramme 96: Yvan désigne son frère

Y : ((Yvan fait un geste pour montrer son frère, visible sur le photogramme 96)) c'est Eric qu'est allé ((Yvan s'empare de l'agitateur posé par son frère et joue avec le modèle pratiquement jusqu'à la fin de la médiation sur les sables mouvants))
L : on va se retrouver coinCÉS/ mais pas jusqu'au-dessus de la tête\ ((mime)) on va PAS disparaître [dans les sables mouvants\]
M : [ah oui en CE1/]((en interrogeant du regard Eric))
E : [ben NOUS] en fait/ c'qu'on s'amusait à FAIRE/ c'est qu'on s'amusait à en avoir jusqu'aux CH'VILLES/ quoi\ (tdp. 18-24, et photogramme 97)

Lucie valide le témoignage d'Eric et le reformule en faisant le lien avec ce qui vient d'être observé sur le modèle :

L : jusqu'aux CH'VILLES/ ça c'est possible ouais\
E : et après/ on s'en sortait/ on SORTAIT/ et on r'commençait/ plus loin/ c'était marrant/ ((Eric s'agite pour montrer la difficulté de s'extraire du sable mouvant))
L : ben ouais/ tu allais un peu plus loin/ parce que plus LOIN/ c'était encore SOLIDE/ jusqu'à temps que tu piétines dessus/ et là tu t'enfonces\ (tdp. 25-27)



Photogramme 97: Eric montre sa cheville, Yvan joue avec le modèle

Pendant que son frère témoigne de son expérience à Lucie, Yvan s'empare de l'agitateur et

recommence la simulation. Il tente en vain de faire couler le grand bonhomme. Son père lui rappelle que Lucie a dit qu'on ne pouvait pas y arriver.

Photogramme 98: Pendant les explications théoriques, Yvan joue avec le modèle

Pendant la suite de la médiation devant le poster, Yvan rejoue deux fois l'engloutissement du petit bonhomme de plomb : il l'extrait du sable mouvant ; le réinstalle sur la surface et agite le sable ; le petit bonhomme coule ; deux fois. Sa mère lui demande d'écouter les explications de Lucie. Il fixe artificiellement ses yeux sur le poster que Lucie pointe, mais il surveille constamment l'effet de l'agitation du sable sur le mouvement du petit bonhomme. La mère l'observe et le laisse manipuler le sable (Photogramme 98, p. 330).

Lucie explique les phénomènes observés précédemment et l'expérience vécue par Yvan dans les sables mouvants de la baie du Mont-Saint-Michel. La caméra ne filme pas Lucie. Elle a disparu de l'espace où elle se trouvait, et le regard du public indique qu'elle se trouve face au poster. Le schéma 1 explique la structure en château de cartes de l'argile, « tu sais comme quand tu arrives à un endroit où personne n'a marché/ c'est DUR\ (.) c'est bien ce que tu as remarqué/ » (tdp. 35). Eric acquiesce et Lucie passe au schéma 2 qui modélise la destruction de la structure quand elle est agitée. Elle fait le lien avec ce qu'a vécu le garçon. Elle requalifie son expérience et la catégorise selon les significations de la théorie : « Et si tu piétines/ tu vas CASser toutes ces structures d'argile/ et tu vas t'enfoncer/ TOI jusqu'aux chevilles/ » (tdp. 37). Enfin, elle poursuit son explication en s'appuyant sur le schéma 3. La forte densité du sable mouvant empêche tout corps moins dense que lui de couler, comme une bouée dans l'eau. Eric n'a pas mené cette expérience jusqu'au point de trouver un équilibre dans le sable mouvant. Il s'est arrêté à la cheville. Lucie s'appuie donc de nouveau sur la simulation réalisée avec le modèle analogique : « regarde/ » (tdp. 38). Pendant tout ce temps, Yvan n'a pas cessé d'agiter le

sable mouvant, et pourtant le grand bonhomme, celui dont la densité est proche de l'homme, surnage en équilibre : il s'est partiellement enfoncé, mais ne continue plus sa descente depuis plusieurs minutes. Lucie fait constater ce qu'elle vient d'expliquer avec la théorie (la poussée d'Archimède ne permet pas à un corps humain de couler dans un sable mouvant) : « ça n'a pas coulé plus\ » (tdp. 40). La mère, qui a compris la démonstration de Lucie conclut en riant : « on pouvait PAS se débarrasser de vous en fait/ ((en regardant son mari)) zut on va être obligé de revoir notre plan\ hein/ (tdp. 39) Mais les deux observations ne convainquent pas Yvan qui renchérit aussitôt (Photogramme 99, p. 331) : « ouais mais CELUI-LÀ il a coulé/] » (tdp. 41).

Photogramme 99: Ouais mais celui-là il a coulé !

Lucie prend le temps d'expliquer à Yvan pourquoi le petit a coulé dans le sable mouvant, mais il ne réagit pas. La mère transpose avec humour ce que cela pourrait donner « sur le terrain » et Lucie valide.

L : celui-là il coule COMplètement\ parce que CELUI-LÀ il est beaucoup plus DENSE/ du coup LUI il va descendre au-DESSOUS du niveau

M : alors si on vous met du PLOMB autour de la taille/ on peut vous perdre dans les sables mouvants/

L : ah ÇA c'est possible\ ((Yvan rit, puis se déplace vers un autre dispositif exposé, le chenal)). (tdp. 42-44)

Lucie finit en expliquant que le danger au Mont-Saint-Michel est de rester coincé dans les sables mouvants alors que la marée monte (Photogramme 100, p. 331). Elle s'adresse aux garçons qui rient mais qui sont maintenant tournés vers le chenal. Avec la main sur le chenal, Eric demande deux fois « et ça c'est quoi/ » (tdp. 46 et 49). Lucie n'interrompt pas son explication la première fois, mais répond à l'attente explicite des enfants, dès qu'elle finit sa phrase. Cette famille se déplace devant le chenal, puis devant tous les autres dispositifs exposés sur le stand. Ils échangent avec Lucie à propos de tous les thèmes proposés sur le stand.

Photogramme 100: Phase de référence à la marée

8.4.2.2 Analyse didactique de l'épisode avec Eric et Yvan

Cet épisode nous montre un engagement de plusieurs membres de la famille, avec des positions topogénétiques plus alternées que dans la situation précédente. Par ailleurs, tous les transactants ne s'approprient pas le milieu proposé par Lucie de la même façon. Dans un premier temps, nous analysons les relations dans le groupe de transactants. Puis nous faisons une analyse des éléments de savoir introduits dans le milieu pour observer comment ils s'articulent et sur quel contrat ils s'appuient. Enfin, nous faisons une analyse épistémologique de l'activité d'Yvan.

A. Analyse du jeu de relations dans l'institution « stand »

Le stand est le lieu de rencontre d'une « institution familiale » avec une « institution scientifique ». Nous prenons appui sur cette situation pour observer des relations se créer.

Un aparté familial se mêle au discours de Lucie pour savoir lequel des deux garçons est allé au Mont-Saint-Michel avec sa classe, et ainsi faire émerger un arrière-plan commun propice à une transaction. L'institution familiale invite le garçon à partager ce qu'il sait et à agir conjointement avec Lucie sur les sables mouvants. L'intention didactique des parents, ici, est d'ouvrir la voie d'un travail conjoint entre leur fils (ils pensaient à tort qu'il s'agissait d'Yvan) et la médiatrice, autour de savoirs probablement partagés.

Dans l'institution « famille », les parents échouent ici en tant que *« maîtres de la mémoire institutionnelle »* (celle de la famille) dont ils tentent de *« réorganiser publiquement les souvenirs »*. Les deux garçons assument ici ce rôle, avec une *« mémoire pratique »* : Yvan sait que ce n'est pas lui, mais son frère qui est allé au Mont-Saint-Michel. Eric, sans se soucier de la confusion de ses parents, s'engage rapidement dans le témoignage de son vécu. Les expressions ci-dessus, empruntées à Matheron et Salin (2002, p. 62) fonctionnent en dehors de la classe, quand l'enjeu est de construire des conditions propices aux apprentissages.

Eric a de lui-même identifié qu'il pouvait agir avec Lucie. Il entame une transaction avec elle alors que ses parents et son frère n'ont pas fini leur aparté. L'effet est inverse pour le petit frère, Yvan, qui, du coup, se sent moins concerné par la transaction à propos de l'histoire de son frère dans les sables mouvants. Il rejoue, à la première personne, l'enlisement des figurines dans le milieu matériel que lui soumet Lucie (Photogramme 97, p. 329). Son seul problème est matériel, alors que son frère et ses parents commencent à accéder à un niveau

symbolique. En effet, ceux-ci mettent en relation une visite au Mont-Saint-Michel avec ce qui se passe dans le pot, sur la table d'exposition. Le processus de sémiose s'installe pour les parents et Eric.

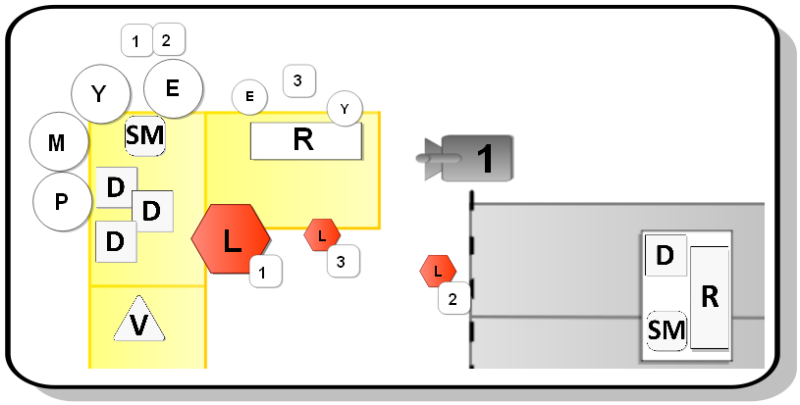
B. Description et analyse du milieu sur lequel se fondent les transactions

Dans un premier temps, nous présentons la construction du tableau synoptique de l'évolution du milieu. Dans un second temps nous l'utilisons pour analyser la construction du milieu par la médiatrice, puis nous décryptons ce que peut être le contrat dans une rencontre aussi éphémère.

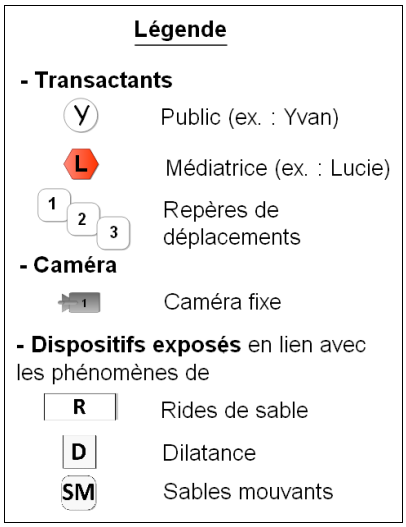
Construction d'un outil d'analyse : tableau du triplet topo – méso – chrono – genétique

Pour observer l'avancée du savoir dans le groupe, nous découpons l'épisode en *unités sémantiques,* des *syntagmes verbaux ou non-verbaux* signifiés par les transactants de différentes façons :

- les zones de déplacement de Lucie correspondent à des relations spécifiques avec le modèle analogique (position 1, Plateau_de_jeu 14, p. 333), le poster et ses trois schémas (position 2) et la zone intermédiaire où la médiatrice prend de la distance avec les artefacts (position 3) ;
- les discours entrecoupés de pauses qui indiquent des changements de syntagme ;
- des gestes (déictiques ou mimes) ;
- un changement de locuteur.



Plateau_de_jeu 14: Déplacement du groupe familial d'Eric et Yvan sur la zone humide du stand



Nous avons identifié 26 unités, définies comme moments clés (mc). Nous en extrayons des éléments de savoirs qui y sont associés, soit syntaxiquement (sujet + prédicat, par exemple), soit sémiotiquement (regard + geste ; geste + éléments de discours ; deux éléments analogues,

mais en appui de différents systèmes de ressources).

Moment clé	Unités sémantiques	Éléments de savoirs
1	ça ((en montrant le dispositif)) c'est des sables mouvants en fait\	Dispositif « pot de sable mouvant » Sable(s) mouvant(s)
2	le sable mouvant/ (.) c'est un mélange d'EAU/ (.) de SABLe/ (.) et d'arGILe\	Sable(s) mouvant(s) Argile (Eau et sable ne sont pas retenus dans le tableau, car non signifiants dans la suite)
3	là j'ai deux petits bonshommes/ (.) un qui a la densité du PLOMB un petit bonhomme en plomb/ ((Lucie le montre))	Petit bonhomme Densité du plomb

Tableau 4: Trois exemples de décomposition des unités sémantiques

Pour ne pas surcharger la présentation, nous avons réduit les éléments de savoirs à ceux qui nous paraissent signifiants dans l'épisode : par exemple, dans le moment clé 2 nous n'avons pris en compte que la mention de l'argile (Tableau 4, p.334) pour la composition du sable mouvant.

Certains éléments (Vue_synoptique 20, p. 337)[156] sont mentionnés à la forme négative. Nous les codons /o/. Pour le verbe « couler », /o/ signifie « ne pas couler ».

Analyse du milieu et de son évolution

Lucie (L) prend en charge la majorité des introductions dans le milieu de nouveaux éléments de savoir (cellules entièrement colorées). Avec des arrière-plans très différents, Eric (E), son frère Yvan (Y) et leur mère (M) interviennent aussi dans la topogenèse.

Lucie construit sa médiation avec un système de ressources hérité de la préparation du stand (formation) : elle utilise deux artefacts, le modèle analogique des SM (mc1-9 et mc20-23) et les schémas sur le poster (mc15-19). Elle évoque la baie du Mont-Saint-Michel (mc10-11), une connaissance raisonnablement partagée (empiriquement ou de renom) par le public local. Dans cet épisode, en mc13, elle bascule sur le témoignage de l'adolescent, Eric, qui y est allé (mc13-19). Elle évoque de nouveau une éventuelle visite au Mont-Saint-Michel avec le danger de la marée montante (mc25-26).

Dans une première phase, Lucie définit le milieu qui pose problème. Le sable mouvant est pour le public (mc1) une *« terre noyant l'homme »* (Hugo, 1890, p. 219) ou a minima, un environnement dangereux. Avec la simulation sur le modèle analogique, Lucie déplace le problème, elle définit des paramètres et attire l'attention sur certaines grandeurs :

156La représentation graphique est analogue à celle produite lors de l'analyse de l'étude de la visite de la salle de manip de Mickaël (Vue_synoptique 14, p. 239).

- l'agitation du mélange (l'amplitude des vibrations) : pour devenir « dangereux », le sable mouvant doit être agité ;
- les niveaux d'enfoncement (distance par rapport à la surface) : tous les corps ne sont pas engloutis dans les sables mouvants. Ils ne s'enfoncent pas tous au même niveau.
- Les densités : un objet en plomb coule dans les sables mouvants ; un objet de la même densité qu'un corps humain s'enfonce légèrement.

Lucie en tire une conclusion sur ce qu'il se passe au Mont-Saint-Michel. Elle transfère et généralise les propriétés du grand bonhomme (dont la densité est égale à un) à celles d'un homme se promenant dans la baie. « on va se retrouver coinCÉS/ mais pas jusqu'au-dessus de la tête\ ((mime)) on va PAS disparaître » (tdp. 22) ;

Eric fait la relation entre son propre vécu et ce que décrit Lucie : « on va se retrouver coinCÉS », par exemple, *fait contrat* : c'est un arrière-plan qu'il a en commun avec Lucie. Ça l'engage à entrer dans la transaction. Il témoigne alors de son expérience empirique personnelle des sables mouvants au Mont-Saint-Michel (mc12). Il montre sa cheville pour indiquer jusqu'où il s'enfonçait. Il gesticule, quand il évoque sa sortie du sable mouvant pour recommencer plus loin. Les éléments qu'Eric met dans le milieu sont juxtaposés. Il ne propose pas de relations entre les éléments de savoirs.

Lucie s'empare de cet ensemble de ressources (mc13) : les éléments de savoirs mis dans le milieu par Eric sont déjà connus du transactant et elle prend appui dessus. Elle reformule le témoignage et le lie aux observations faites sur le modèle analogique (mc14). Quand elle passe aux explications (mc15), sur les schémas, elle interpelle, à chaque étape, Eric : « en fait l'argile ((évoquée lors de la présentation du modèle analogique, et à présent sur le poster)) qui est dedans/ c'est des petits FEUILLETS/ qui forment une structure en château de cartes/ et ça fait/ tu sais comme quand tu arrives à un endroit où personne n'a marché/ c'est DUR\ ((évocations du témoignage d'Eric et de la structure solide en château de cartes)) (.) c'est bien ce que tu as remarqué/ » (tdp. 33 et 35).

Elle crée ainsi des relations entre les trois niveaux de formulations : la simulation sur le modèle ; l'expérience très empirique et kinesthésique d'Eric ; et la troisième, plus théorique, qui fait intervenir la structure microscopique de la matière. En plus du discours, Lucie utilise son regard et son index pour localiser la source (le pot de sable mouvant et la simulation précédente ; Eric et son témoignage) des éléments à mettre en relation. Elle utilise d'autre part

des mimes qui illustrent ses propos.

Les parents évoquent le Mont-Saint-Michel, car ils savent qu'un de leurs enfants y est allé avec sa classe. La mère montre sa compréhension de l'explication théorique de Lucie, par ses reformulations sous une forme humoristique : « on pouvait PAS se débarrasser de vous en fait/ ((en regardant son mari)) zut on va être obligé de revoir notre plan hein/ » (tdp. 39). Plus tard, quand son fils Yvan dit qu'on peut être englouti par les sables mouvants, car le petit bonhomme coule dès qu'on agite le sable, elle insiste : « alors si on vous met du PLOMB autour de la taille/ on peut vous perdre dans les sables mouvants/ » (tdp. 43). Sa créativité didactique tranche avec sa condition de mère. C'est avec humour qu'elle dit vouloir abandonner ses enfants, et non pas la mort dans l'âme, comme la mère du Petit Poucet (Perrault, 1697).

Dans ses interventions, la mère d'Eric prend toujours appui sur l'expérience de son fils. Elle la met en relation avec la théorie (mc21) et avec la simulation (mc24) dont Yvan n'a pas saisi la subtilité. La forme humaine de la figurine de plomb trompe le petit frère.

Yvan ne se sent pas concerné par le Mont-Saint-Michel : « c'est Eric qu'est allé » (tdp. 21). Il semble plus intéressé par le modèle analogique que par le témoignage de son frère et l'explication apportée par les schémas du poster. Il manipule le modèle analogique pendant les phases de témoignages et d'explications. Il remet à la surface les deux figurines et fait couler deux fois le petit bonhomme alors que le grand reste stable hors du sable mouvant. Il contredit (mc22) donc la conclusion de Lucie. Quand elle s'appuie sur l'observation du modèle analogique, où le bonhomme qui a la densité humaine n'a toujours pas coulé, Yvan constate « ouais mais CELUI-LÀ il a coulé/ » (tdp. 41). Il s'est construit une connaissance à partir de ses propres actions sur le dispositif et des résultats obtenus. Les deux figurines n'ont pas la même taille, mais ce sont deux bonshommes. Le petit coule alors que le grand reste à flot. Le paramètre « densité » semble échapper à Yvan. Il est possible qu'il généralise que les petits bonshommes (enfants) coulent et les grands (adultes) non. Lucie doit revenir sur la valeur très importante de la densité du plomb (sans la comparer explicitement à celle de l'homme et du sable mouvant). L'entretien ultérieur avec Lucie montre qu'elle a eu conscience de l'obstacle conceptuel de la densité. Par contre, elle n'a pas soupçonné la mauvaise interprétation possible des deux figurines aux formes humaines.

Un contrat fragile

La vue synoptique 20 (p. 337) et sa version réduite (Vue_synoptique 21, p. 338) montrent une première phase d'introduction dans le milieu, d'éléments de savoir rassemblés autour du modèle analogique. Il permet, de façon directe, quelques éléments observables à partager rapidement.

Systèmes de ressources d'appui ===>	Éléments de savoirs mis dans le milieu MESOGENESE	Initiateur de la mise en relation TOPOGENESE																								
		L										E	L								M	Y	L	M	L	
	Moments clés (mc)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Simulation sur le modèle analogique	« sable(s) mouvant(s) »	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x		x	x	x		
	composition/argile		x													x											
	petit bonhomme			x		x		x															x	x			
	densité du plomb			x																				x			
	grand bonhomme				x	x			x	x		x						x	x	x	x			o			
	densité de l'humain				x													x	x	x	x			o			
	immobilité					x								x		x											
	piétinement						x								x												
	agitation						x	x	x																		
	couler							x	o	o													x	x			
	temps								x	x		x			x				x	x	x						
	s'enfoncer								x																		
	stabilité, niveau								x	x		x							x	x	x						
	plomb plus dense																							x	x		
Exemple général	Mont-Saint-Michel										x	x	x			x	x									x	x
	évocation sables mouvants										x		x													x	
	s'enfoncer											x	x													x	
	niveau (cuisses)											x	x													x	
	niveau par-dessus tête											o														o	
	couler dans SM											o														o	
	couler dans l'eau																										x
	marée																										x
Exemple personnel (Eric)	Eric												x	x	x	x	x	x	x	x		x			x		
	s'enfoncer												x		x			x				x					
	niveau (chevilles)												x					x	x	x							
	sortir												x									x					
	aller plus loin												x	x		x											
	couler																					o			x		
	solide													x		x											
	piétiner														x												
Schéma 1	Schémas Sables mouvants															x	x	x	x					x			
	composition/argile															x	x										
	structure															x	x										
	dur															x											
Sch. 2	piétinement																x	x									
	casser																x										
	s'enfoncer																	x									
Schéma 3	niveau																	x	x	x	x	x		x	x		
	couler																		o			o		x	x		
	densité sable mouvant = 2																		x					x	x		
	densité homme = 1																		x								
	bouée																			x	x						
	équilibre																			x	x						
	Moments clés (mc)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		Relations dans le temps → CHRONOGENESE																									

Vue_synoptique 20: Ressources et introduction d'éléments de savoirs dans le milieu (tableau du triplet)

Le premier élément mis dans le milieu est « sable mouvant ». Il contribue à évoquer un

élément de savoir, même erronés du point de vue scientifique, qui va constituer l'arrière-plan commun aux transactants et permettre d'engager les transactions. Au fil de l'épisode, les nouveaux éléments mis dans le milieu (cellules pleines, dans le tableau ci-dessus) s'appuient sur des éléments précédemment évoqués ou montrés (tirets surlignés). Dans la vue synoptique 20 (p. 337), nous voyons les efforts des transactants pour « raccrocher » les nouveaux éléments aux éléments déjà-là, comme dans un tricot, un maillage[157] se dessine (Ingold, 2011a), composé de liens entre des éléments initialement épars. Ce sont les liens entre les éléments, et les articulations entre les ressources qui forment la solidité du maillage. Le maillage manifesté par Yvan est moins dense que celui créé par sa mère. Elle fait des liens entre les éléments théoriques et empiriques, jusqu'à proposer des relations surprenantes et décalées.

Systèmes de ressources d'appui	Initiateur de la mise en relation																								
	L											E	L									M	Y	L	M	L
Simulation sur modèle analogique									-	-	-		-	-	-		-	-	-	-					-	
Évocation d'une visite éventuelle au Mont-Saint-Michel												-														
Témoignage d'une visite effective au Mont-Saint-Michel															-	-	-	-	-							
Trois schémas sur le poster																			-	-	-			-	-	
Moments clés (mc)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Vue_synoptique 21: Réduction du tableau « Ressources et introduction d'éléments de savoirs dans le milieu »

Nous observons des écarts de compréhension entre les transactants. Nous supposons que l'arrière-plan personnel avec lequel ils abordent le milieu organisé par Lucie est variable. Il leur permet de construire plus ou moins de nouveaux savoirs, pendant le temps de la visite. Nous reprenons, ci-dessous (Vue_synoptique 22, p. 339), les premiers moments clés de l'épisode, et nous décrivons les éléments de savoir implicites nécessaires pour aborder le milieu et tirer profit de la présentation de Lucie. Nous évaluons qu'au moins quatre éléments de savoir majeurs sont nécessaires à la compréhension des trois premiers moments clés : le stéréotype de la dangerosité des sables mouvants, les concepts de modèle et de densité, et l'exemple-exemplaire (Kuhn, 1990) d'une matière très dense, beaucoup plus dense que l'eau et le corps humain, le plomb. Yvan semble buter sur ce qui différencie les deux « bonshommes ». Le garçon n'a probablement pas l'arrière-plan pour faire les relations nécessaires dans le milieu, en si peu de temps.

157*« My contention, throughout, is that what is commonly known as the 'web of life' is precisely that : not a network of connected points, but a meshwork of interwoven lines »* (Ingold, 2011a, p. 63).

Nous ne savons pas si les régulations de Lucie et la blague de sa mère, contribue à faire comprendre à Yvan, que pour faire couler le corps d'un enfant (humain) dans les sables mouvants, il faudrait le lester avec du plomb.

	Savoirs et éléments de savoirs	Chronologie			
Savoirs *supposés dans le contrat antérieur*	Stéréotype « sables mouvants = terrain dangereux »	x	x		
	Concept de « modèle »	x	x	x	x
	Concept de « densité »			x	x
	Exemple-exemplaire de densité : le plomb est plus dense que le corps humain			x	
Inférence *in situ*	Le petit bonhomme ne représente pas un humain			x	
Mésogenèse *éléments de savoirs mis dans le milieu*	« sable(s) mouvant(s) »	x	x		
	composition/argile		x		
	petit bonhomme			x	
	densité du plomb			x	
	grand bonhomme				x
	densité de l'humain				x

Vue_synoptique 22: Éléments mis en jeu dans le milieu et contrat implicite au début de la présentation

Lucie a institué qu'on ne peut pas couler dans les sables mouvants mais que l'on peut y rester coincés. Ceci est à présent dans le contrat, issu de l'action conjointe précédente. Elle a résolu le problème de la différence de comportement des deux figurines. Le problème de la dangerosité des sables mouvants au Mont-Saint-Michel subsiste. Elle ajoute l'élément « marée » dans le milieu, et cet élément est raisonnablement connu de son public. Il fait partie de l'arrière-plan commun. En effet, il est très probable que le public local a vécu l'alternance des marées hautes et marées basses sur la côte voisine, voire même dans la baie du Mont-Saint-Michel. L'estran y est large et peu pentu ; la vitesse de l'eau, qui recouvre le sable à marée montante, y est donc très rapide. Lucie fait la relation entre les jambes prisonnières des sables, l'arrivée de la marée haute et la noyade. Ils rient tous, visiblement satisfaits.

Des éléments de contrats sont construits très vite au début de la rencontre, à partir d'un milieu choisi pour engager la curiosité (le dispositif attrayant et l'annonce des sables mouvants). Un arrière-plan est construit à partir d'un référent empirique où les formes symboliques sont *a priori* réduites. Progressivement l'arrière-plan commun s'enrichit de nouveaux savoirs construits à partir du référent empirique, et d'autres ressources. Le milieu évolue et s'articule aux éléments contractualisés plus tôt, les savoirs construits forment un maillage. Quand ils abordent la rencontre, les transactants ont un système d'attentes réduit. Les uns et les autres se découvrent et s'ajustent en direct.

C. Familiarisation pratique

Nous définissons le mode d'activité d'Yvan, de familiarisation pratique avec le pot de sable mouvant et les figurines. Ce registre d'activité *« permet l'élaboration des concepts quotidiens de Vygotski »* (Coquidé, 1998, p. 113). L'auteure appelle ce mode l'expérience-action, *l'expérienciation*. Dans ce mode d'activité, les pratiques expérimentales *« ont pour but de familiariser l'élève à des objets ou des phénomènes, de l'inciter à un questionnement, de constituer un référent empirique. »* (ibid.). Nous pouvons observer ici le rôle particulier du modèle analogique et son ambiguïté. D'une part, la fonction de modèle n'est peut-être pas perçue par le jeune public. D'autre part, les limites de l'analogie ne sont pas interrogées : le mélange est analogue à la matière sable mouvant, mais les deux bonshommes ne sont pas des analogues de deux humains, dont l'un serait petit et l'autre grand. L'*expérienciation* sur le modèle requiert un aménagement du milieu et la précaution d'un contrat adéquat pour arriver à constituer le référent empirique escompté. Yvan ne joue pas au même jeu que Lucie. Il réagit d'ailleurs aux conclusions de sa mère et de la médiatrice. Chacune à sa manière tente alors de reformuler des éléments susceptibles de permettre à Yvan de voir la petite figurine, non pas comme un petit bonhomme, mais comme un morceau de plomb. Pour Yvan, la sémiose du milieu n'est pas celle que la médiatrice et ses parents attendent. Un élément du milieu lui échappe : la notion de densité.

Lucie aménage un milieu propice à des apprentissages. En effet, une partie du public s'en empare. Ces visiteurs ont des connaissances, un arrière-plan d'éléments de savoir, qui leur permet de voir le milieu différemment. La familiarisation pratique antérieure avec un morceau de plomb favorise vraisemblablement la compréhension de la notion de densité, ou suffit à caractériser la différence entre la petite figurine et la grande. Elle permet probablement de voir la petite figurine comme un morceau de plomb, et non pas comme un petit bonhomme, un enfant.

8.4.3 La visite de Ben

8.4.3.1 Présentation des épisodes avec Ben

Parmi les visiteurs du samedi et du dimanche, nous repérons plusieurs enfants déjà venus avec leur classe le vendredi. Ben est un élève de cours préparatoire[158] (CP). Le samedi, il visite de

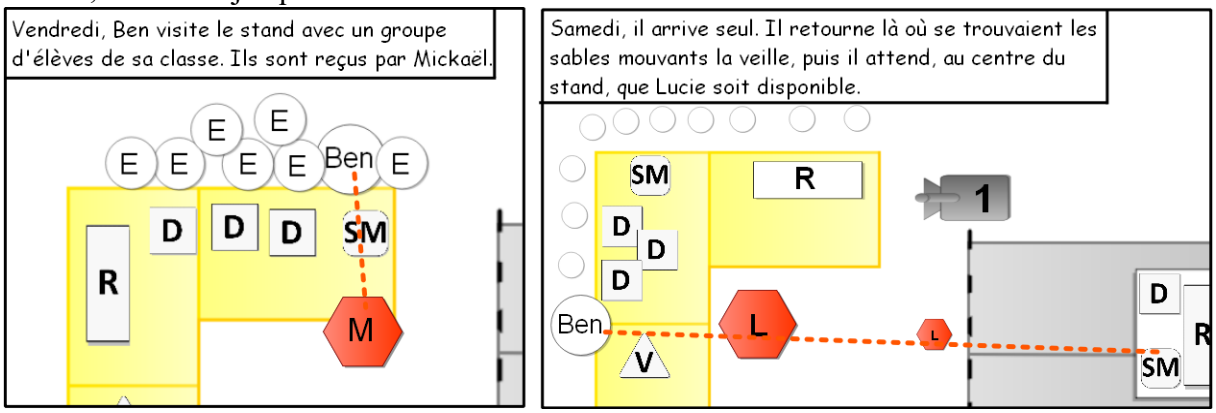
158Nous rappelons que les données sont recueillies en début d'année scolaire, le 12 octobre.

nouveau le village des sciences, accompagné de son père (annexe 49). Il revient sur le stand du sable, décidé à y trouver une réponse à la question qui l'anime.

Dans un premier temps, nous décrivons l'épisode tel que nous l'observons avec les données filmées le samedi. Lucie et Thao, les médiatrices, n'ont pas vécu toute la situation telle que nous la présentons : elles n'entrent en jeu qu'au moment où elles sont disponibles pour accueillir Ben. Nous faisons ensuite un *flash-back* sur les événements vécus par Ben, la veille, le vendredi. Il observe alors les expérimentations menées par Mickaël, avec sa classe et sa maîtresse. Il découvre, dans le contexte scolaire, l'ensemble des dispositifs du stand, et en manipule certains, comme le modèle analogique des sables mouvants.

A. Un truc à voir (samedi)

Samedi, en début d'après-midi, Lucie est la seule médiatrice dans le stand. Elle finit de présenter les dispositifs du côté « sable sec » à Eric, Yvan et leurs parents. Ben arrive seul et se dirige, sans hésitation, à l'opposé du groupe de visiteurs, du côté « sable humide ». Il longe la table jusqu'au bout. Là où était posé le sable mouvant la veille, vendredi (Plateau_de_jeu 15, p.341). Il trouve le chenal. Il revient sur ses pas, regarde le pot de sable mouvant, passe devant, et avance jusqu'à la limite entre le sable humide et le sable sec.



Plateau_de_jeu 15: Différences des configurations du stand entre vendredi et samedi

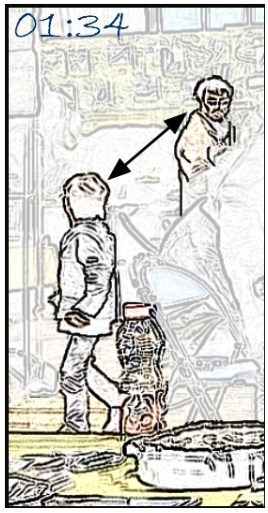
Planté contre la table d'exposition, à la limite entre les deux zones, il est à l'écart des échanges entre Lucie et les autres visiteurs. Il lève régulièrement les yeux sur la médiatrice. Il attend explicitement son tour. Il patiente devant le récipient qui contient du sable mouillé. Il dessine dans le sable, fait des trous, les rebouche… (Photogramme 101, p . 342).

Son père (P) apparaît dans l'allée. Il repère son fils et vient le rejoindre. Ben (B) s'agite et s'adresse à lui :

Photogramme 101: Ben attend son tour

B : Je suis venu ici hier/
P : ah ouais/ c'est quoi/
B : c'est du sable mouillé\
P : ah bon\ allez viens/ on va xxx ((le père s'éloigne du stand))
B : attENds/ (.) j'voulais voir un trUc\

Ben suit son père, à contre-cœur et en discutant. Après une dizaine de mètres, le père s'arrête et semble consulter le plan et le programme du village des sciences qu'il a entre les mains. Ben fait demi-tour et observe la réaction de son père (Illustration 102, p.254). Celui-ci se retourne, le suit du regard sans rien dire.



Photogramme 102: Ben se sépare de son père

Ben se plante devant Lucie, au même endroit que précédemment, avec une main dans le sable. Pendant la brève absence de Ben, les visiteurs ont libéré Lucie. Elle salue sa collègue Thao qui l'a rejointe pour animer le stand. Elles découvrent la présence de l'enfant. Il est probable qu'elles n'ont pas été témoins des événements précédents entre Ben et son père.

Photogramme 103: Question de Ben

L'attente de Ben n'est pas longue, Lucie s'approche de lui alors qu'il joue avec le sable mouillé. Il s'agit d'un dispositif qui sert à mettre en évidence la dilatance de Reynolds, l'assèchement du sable mouillé autour de la zone où l'on crée une pression[159]. Lucie engage alors une observation sur ce dispositif que touche Ben : Regarde\ si tu appuies comme ça/ ça devient tout sec à côté\ Ben retire sa main du sable et sautille (Photogramme 103, p.342) : oui mais j'ai vu déjà/ mais COMment on fait pour sortir du sable mouvant/ (01 :49)

La médiatrice improvise, car la situation est inédite et imprévue : comment on fait pour sortir du sable mouvant/ alors le sable mouvant j't'explique\

159 Ce phénomène est observé quand on marche au bord de l'eau : le sable s'assèche autour du pied.

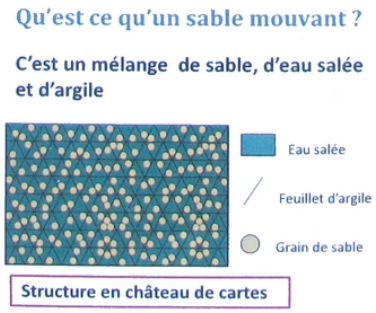


Illustration 140: Extrait du poster – la structure en château de cartes

Ben se retourne vers son père qui est encore dans l'allée, plus loin, le dos tourné. S'assure-t-il qu'il est toujours à l'attendre, ou espère-t-il qu'il le rejoigne pour partager l'explication ?

Lucie déplie un doigt pour chaque composant : c'est un mélange d'EAU/ d'arGILe/ et de SAble\ (01 :59).

Elle pointe le poster (Illustration 140, p.343) : et l'argile ça fait comme des châteaux de cartes/ (02 :02) c'est solide/ Ben grimace (Photogramme 104, p. 343).

Photogramme 104: Déception de Ben

Lucie mime alors le déplacement d'une personne (hypothétiquement Ben, à qui elle s'adresse) sur les sables mouvants, l'agitation du milieu et sa rupture, puis l'extraction de la personne prisonnière de la matière (Photogramme 105, p.343) : et si tu marches dessus/ tu les casses\((les structures en château de cartes)) si tu as marché dessus/ à côté/ tu n'as pas marché\ tu vois/ à côté c'est solide\ donc tu sors ta jambe/ tu la mets à côté où c'est solide/ et là/ tu vas pouvoir sortir\

Photogramme 105: Lucie mime la sortie des sables mouvants

Ben regarde fixement Lucie sans acquiescer, comme s'il était en attente. La médiatrice recommence son mime et la description des changements opérés dans la matière : en fait/ c'est solide/ jusqu'à temps que tu tapes\ quand tu fais vibrer/ comme ça/ tu vas casser/ et du coup c'est ça qui va faire que tu vas t'enfoncer\ et à côté/ si tu n'as pas cassé la structure/ tu peux marcher dessus\

Lucie se penche sur l'enfant et conclut : donc faut y aller TOUT doucement\ Ben est muet pendant toute l'explication de Lucie (Photogramme 106, p. 344). Il grimace et se tord les mains, il baisse régulièrement les yeux.

Quand Lucie met un terme à son explication, Ben n'a manifesté aucun signe de compréhension ou de satisfaction. Il semble déçu, désabusé. Il s'éloigne doucement et met les mains dans les poches. Il semble ne pas savoir quelle posture adopter : il part, faussement décontracté, dans la direction opposée à celle où il est arrivé. Notre caméra le filme, quelques secondes plus tard, alors qu'il repasse devant le stand pour emprunter l'allée où il a abandonné son père moins de deux minutes plus tôt.

Photogramme 106: Ben, muet et impassible

Dès que l'enfant quitte le stand, Thao fait un commentaire à Lucie qui approuve aussitôt.

T : le petit xxx
L : Ouais\ je ne sais pas s'il a compris\
T : ouais mais il veut toucher/ comme ça/ ((Thao met son doigt dans le sable))
L : oui il veut toucher\
T : il veut essayer/

Photogramme 107: « Il veut essayer »

Thao montre à Lucie, avec ses deux mains, l'ensemble des dispositifs (Photogramme 107, p.344).

De nouveaux visiteurs arrivent : Charlotte avec sa grand-mère.

B. Flash-back (vendredi)

La veille, avec ses camarades de classe, Ben suit les explications de Mickaël (Mi), le médiateur (annexe 52). Les élèves observent la formation des rides de sable, dans le chenal ; ils pressent sur le sable humide pour observer son assèchement autour du doigt (dilatance de Reynolds) ; ils font s'enfoncer les deux petits bonshommes dans les sables mouvants. Mickaël n'utilise pas le poster, ne parle pas de la structure de l'argile. Il montre l'enfoncement des figurines dans le sable mouvant (Photogramme 108, p. 345) :

Mi : ici on a deux petites figurines\ alors ici ça représente un humain qui a la même densité que l'eau/ car le corps humain est constitué de beaucoup d'eau/ et à côté/ on a quelque chose de beaucoup plus lourd/ en plomb qui est assez dense/ et on va voir/ en fait ((il tape)) comme c'est assez dense/ ça s'enfonce facilement\ et là on peut imaginer que la personne se débat/ (.) et on voit que celui qui est plus dense s'enfonce assez vite/ alors que celui qui est comme l'eau/ comme le corps humain/ ne s'enfonce pratiquement pas\ en

fait/ c'est impossible de s'enfoncer jusqu'à la tête/ comme on peut voir dans certains films\ (.)

E1 : ça n'existe pas

E2 : c'est que dans les dessins animés\

Mickaël explique avec quelques gestes :

Photogramme 108: Le sable mouvant, avec Mickaël, vendredi

Mi : en fait/ les gens qui sont morts/ à cause du sable mouvant au Mont-Saint-Michel/ par exemple/ c'est parce qu'ils sont restés coincés/ et que la marée est remontée/ et donc l'eau est passée par-dessus eux/ et voilà\ ((mouvement d'impuissance des bras))(..) en aucun cas ils se sont enfoncés complètement jusqu'à la tête\ juste qu'ils se sont agités/ et ils sont restés coincés\ (..) on va recommencer/ vous voulez taper sur [le xxx]/

Ben : [ouais moi] j'veux bien/ (..) Ben tape sur le pot : ouhaou super/

E3 : ouais tu l'enfonces\ (..)

Une élève tire sur le filin et extrait la figurine de plomb du sable mouvant. Ben cesse de taper sur le pot. Il manipule le filin de la figurine qui a la densité humaine, comme pour tester la résistance du matériau qui l'emprisonne, sans l'extraire du sable mouvant.

Mi : on va passer de l'autre côté de la table\ ((côté « sable sec »)). Les élèves continuent de manipuler le sable mouvant, tant qu'ils le peuvent. La PE ramène le groupe de l'autre côté du stand.

Quand il arrive sur le stand, le samedi, Ben constate que le médiateur a changé, la place des dispositifs sur la table aussi, mais le pot de sable mouvant est toujours là. L'enquête est possible.

8.4.3.2 Analyse didactique des épisodes avec Ben

A. Mise en questionnement

Lors de la visite du stand avec sa classe, Ben est un élève très actif. Il est au premier rang pour observer les manipulations et pour agir dès qu'il en a la possibilité. L'épisode des sables mouvants avec la classe se conclut par le récit de Mickaël sur la cause des morts dans le Mont-Saint-Michel : les promeneurs restent coincés et meurent noyés par la marée montante.

Nous pouvons raisonnablement supposer que Ben a compris que l'on peut rester coincer dans les sables mouvants et que cet emprisonnement devient dangereux quand la marée monte. La situation fait émerger un problème : comment fait-on pour sortir des sables mouvants ? Mais

il n'est pas exprimé verbalement. Cependant, le processus de problématisation est peut-être enclenché, car Ben semble tester la résistance du sable mouvant quand il tente d'en extraire la figurine.

B. Rupture de contrat

La question que Ben pose à Lucie, le lendemain, semble être une réaction à ce récit de Mickaël et à la situation : « mais COMment on fait pour sortir du sable mouvant/ » La détermination de Ben, enfant d'environ six ans, est remarquable. Il insiste et attend patiemment pour avoir une réponse à la question qui l'anime. Ben a un arrière-plan, le vécu de la situation de la veille : la manipulation de tous les dispositifs contenant du sable sec ou humide. Son excitation contraste avec le désintérêt de son père pour l'objet :

B : Je suis venu ici hier/
P : ah ouais/ c'est quoi/
B : c'est du sable mouillé\
P : ah bon\ allez viens/[160] on va xxx ((le père s'éloigne du stand))
B : attENds/ (.) j'voulais voir un trUc\

Ben a un problème à soumettre à la médiatrice du stand. Il a probablement un système d'attentes lié aux éléments connus mais insuffisants du milieu exploré la veille : il est nécessaire d'y ajouter de nouveaux éléments. Il poursuit donc la transaction interrompue vendredi. Même si la personne à qui il s'adresse n'est pas Mickaël, le lieu (stand), les artefacts, même déplacés (pot de sable mouvant), les médiateurs (quels qu'ils soient) sont porteurs de ressources pour résoudre son problème. Il semble transférer le contrat de la veille. Ben est dans une démarche d'enquête, de recherche de nouveaux indices, de quête d'un nouveau milieu, et d'un contrat qui évolue. Il s'investit dans un processus de résolution de problème dont il est l'initiateur. Il aborde la transaction avec Lucie avec un contrat qu'il pense partagé.

Or, à la fin de l'épisode, l'enfant quitte le stand visiblement très déçu. Lucie le perçoit mais ne l'analyse pas. Thao, en revanche, observatrice pendant la visite de Ben, réagit en conseillant à sa collègue d'utiliser les artefacts matériels posés sur la table ; « le petit (…) il veut toucher ». La proposition de Thao coïncide avec le milieu mis en place la veille par Mickaël, et avec le système d'attentes probable de Ben : en réinterrogeant la médiatrice, l'enfant pense réinterroger les figurines dans leur sable mouvant, mettre à l'épreuve le modèle analogique. En effet, le fondement de l'exposé de Mickaël est la simulation du phénomène avec le modèle

160 C'est nous qui soulignons.

Systèmes de ressources d'appui ===>	Éléments de savoirs mis dans le milieu MESOGENESE	Initiateur de la mise en relation TOPOGENESE														
		Mickaël									Ben	Lucie				
		Séance du vendredi									Séance du samedi					
Simulation sur le modèle analogique	« sable(s) mouvant(s) »	x														
	petit bonhomme		x			x										
	dense comme le plomb		x													
	grand bonhomme			x	x		x	x								
	densité de l'humain			x												
	agitation				x	x	x	x								
	s'enfoncer				x			x								
	couler complètement					x	o									
	coincé / niveau							x	x	x						
Discours et mimes	Films et dessins animés						x									
	sables mouvants du Mt St Michel								x		x			x		
	s'enfoncer								x					x	o	
	coincé								x	x						
	marée									x						
	mourir dans l'eau									x						
	sortir (***se sauver***)										x					x
	marcher													x	o	
	aller plus loin														x	
	solide														x	x
	composition/argile												x			
Schémas	Schéma 1													x		
	structure en château de cartes													x		
	solide													x		x
	Schéma 2														x	
	casser les structures														x	
	Moments clés (mc)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
		Relations dans le temps → CHRONOGENESE														

Vue_synoptique 23: Ressources et introduction d'éléments de savoirs dans le milieu vendredi et samedi (tableau du triplet)

analogique et les élèves ont observé l'enfoncement des figurines.

Lucie prend une autre option. Elle s'engage, pour Ben, dans une explication théorique, avec le poster comme support. Elle fonde sa démonstration sur le postulat que le sable mouvant au repos a une structure solide (Vue_synoptique 23, p. 347).

Nous pensons que Ben ne fait aucune relation entre les éléments connus du milieu de la veille (on s'enfonce dans les sables mouvants et on y reste coincé) et ce qu'apporte Lucie : le sable mouvant peut être solide ; quand on le piétine il se casse et on s'y enfonce ; pour en sortir, il faut prendre appui sur une zone que l'on n'a pas piétinée. Aucun élément de savoir ne permet

à Ben de reconstruire un milieu commun entre celui de Mickaël et celui de Lucie, et encore moins de faire des relations entre d'éventuels éléments de savoir. Les deux milieux sont disjoints ; l'action n'est pas conjointe. Le contrat a changé, Ben est perdu.

8.4.4 Une succession de jeux d'apprentissage

Dans cette partie, nous décrivons deux scènes d'une ultime situation qui se situe lors de la onzième présentation de Lucie. Elle nous permet de décrire et d'analyser différentes formes de sémioses. Nous la faisons suivre d'autres extraits des situations décrites précédemment. Nous nous appuyons alors sur ces exemples pour montrer que, de la première à la onzième présentation des sables mouvants, la médiatrice développe des schèmes d'utilisation de ses ressources.

8.4.4.1 La visite de Rody, une dernière situation pour alimenter notre propos

Un peu plus tard, un adolescent que nous appelons Rody (R) s'approche du stand alors que Lucie termine sa dixième présentation des sables mouvants (annexe 51). Elle engage alors des observations sur les dispositifs qui mettent en évidence la dilatance. Pendant ce temps, Rody manipule les figurines et observe le comportement du sable mouvant. Quand Lucie finit et se tourne vers lui, en lui demandant ce qui l'intrigue, l'adolescent l'interroge immédiatement (Photogramme 109, p. 348) :

Photogramme 109: Rody agit sur le modèle

R : et pourquoi ce gros-là il s'enfonce pas comme le petit/

L : en fait ils ont le même poids/ mais tu vois le poids il est pas réparti de la même façon

Adulte1 : c'est une question de surface de contact au sol/

L : c'est une question de densité en fait\ tu vois…

Lucie lui apporte des éléments de savoir permettant de comprendre la différence entre les deux figurines. Il semble les recevoir et les intégrer dans son système de connaissances.

Un peu plus tard, après quelques échanges sur la composition du sable mouvant, Rody agit encore sur les figurines :

R : et pourquoi dès que j'essaie de tirer pour l'enlever il reste collé/

L'expérienciation sur le modèle analogique fonctionne. L'adolescent observe et s'interroge. Il demande des explications et Lucie utilise son système de ressources en s'adaptant aux

questions. L'origine de la transaction est l'action de « l'élève », et ses questions. Il met en question, dans le milieu, des éléments de savoir dont Lucie s'empare. Elle les met en relation avec la théorie.

Le temps de familiarisation pratique de Rody avec le dispositif de simulation lui permet de « poser les bonnes questions ». La sémiose du milieu organisé par la médiatrice fonctionne. Il met alors en questionnement, dans ce milieu, des éléments de savoirs qu'il y a déchiffrés. Il montre ainsi à Lucie qu'il voit partiellement le milieu de façon adéquate, celle qui correspond au *style de pensée* (Fleck) dans lequel Lucie veut le faire entrer. Les problèmes dont Rody s'empare sont explicites pour Lucie ; la sémiose de Rody sur Lucie fonctionne et réciproquement. Lucie peut ajuster ses explications, c'est-à-dire continuer à « *faire avancer le temps du savoir* ». (ibid., p. 192).

8.4.4.2 Des processus sémiotiques plus ou moins « heureux »

Eric raconte son expérience qui a construit une familiarisation pratique avec de réels sables mouvants : quand il le piétinait, il s'enfonçait dedans. D'autres visiteurs se construisent une familiarisation pratique avec le modèle analogique : Yvan observe l'engloutissement du petit bonhomme, Rody observe qu'il est difficile d'extraire du sable mouvant les figurines qui s'y sont enfoncées. Dans ces trois exemples, Lucie met les éléments du récit des transactants en relation avec des éléments théoriques du monde des modèles scientifiques. La sémiose du public par la médiatrice permet à Lucie de réagir et de réaménager le milieu pour lui.

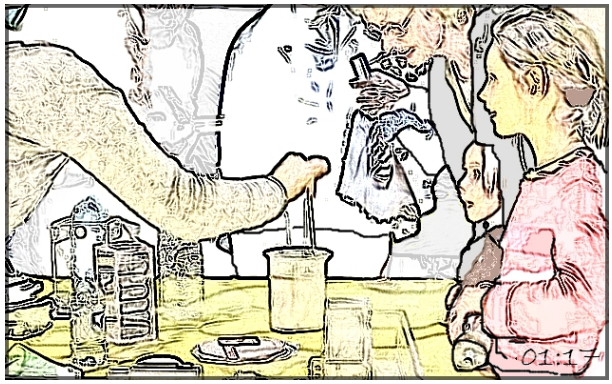
Dans le même mouvement, elle prend acte des possibilités offertes par le modèle analogique pour le public. Elle densifie le milieu pour le public, mais pour elle-même aussi. Elle tisse une toile sémiotique entre les schèmes d'utilisation des ressources qu'elle mobilise.

Lorsque Lucie introduit le concept scientifique de densité, elle s'engage dans un processus de réponse à Charlotte, une régulation, suite au déchiffrement d'un signe d'incompréhension de la fillette. En effet, la traduction langagière du concept de densité par le terme « lourd » ne lui semble pas adaptée.

Lucie produit alors un énoncé contenant d'autres éléments symboliques (la densité vue comme une relation entre le poids et le volume), ses concepts de physicienne. Or Charlotte ne peut appréhender la densité que par rapport aux concepts quotidiens proches ou par rapport à d'autres concepts scientifiques déjà disponibles. Il est vraisemblable que les concepts de poids et de volume, et surtout leur relation contenue dans le concept de densité ne sont pas

disponibles pour la fillette. La signification donnée au concept scientifique par Charlotte est probablement différente de celle que lui attribue Lucie, même si cette dernière associe un mime au discours verbal. Nous observons une tentative d'ajustement à autrui, et une inadéquation didactique.

La perception du temps qui passe, liée à la perception de l'immobilité du bonhomme, et orientée par les commentaires de Lucie et de la grand-mère, créent un savoir : le bonhomme analogue à l'homme a le temps de s'échapper (si l'on reproduit l'expérience dans la réalité). Sa compréhension lui permet de produire une inférence qui nous paraît adéquate : Charlotte sourit (Photogramme 110, p. 350), en produisant sa réflexion « et on a le temps de s'échapper ». Ce savoir crée chez elle une « puissance d'agir » (Sensevy & Mercier, 2007, p. 145). Sa remarque montre également, à travers l'usage du pronom personnel indéfini « on », que Charlotte associe l'expérimentation sur le modèle analogique à la réalité d'un quelconque homme s'enfonçant dans des sables mouvants. Son sourire indique certainement une forme de satisfaction d'avoir mis en système ces deux éléments du milieu. La sémiose du milieu par Charlotte et le sens qu'elle donne à la situation provoquent son sourire.



Photogramme 110: « on a le temps de s'échapper »

Ce sentiment de gain est partagé par sa grand-mère qui sourit aussi, comme un encouragement qui valide la proposition de la fillette, même si elle n'adhère que partiellement à l'idée énoncée. La sémiose de Charlotte vers sa grand-mère fonctionne sur une base de connivence et d'encouragement. La mère d'Eric et Yvan tisse ce type de relation avec ses fils en les engageant dans les transactions, en prenant en compte leurs propositions, en dédramatisant la difficulté par l'humour. Dans l'épisode avec Ben, le garçon est rejoint par son père un court instant. Il quitte le stand dès que son fils lui en donne le thème : le sable mouillé. Nous faisons l'hypothèse que Ben est déçu du manque de connivence, de la part de son père, au moment où celui-ci quitte le stand qu'il a choisi. Et Ben espère encore ce moment de connivence, quand il jette un œil pour voir si son père ne revient pas, au moment où Lucie se rend disponible pour écouter sa question. La *connivence* nous paraît une forme symbolique puissante pour engager et entretenir le jeu d'apprentissage. Le processus est probablement différent dans un milieu scolaire.

Lucie ne semble pas prendre en compte la remarque de Charlotte sur le temps nécessaire pour s'échapper. Elle ne semble pas prendre la mesure de l'avancée des savoirs de la fillette. Elle ne semble pas reconnaître/déchiffrer la pertinence de sa remarque. La sémiose de l'élève vers le professeur ne fonctionne pas, ici. Ceci peut traduire une certaine « cécité didactique » mais aussi un choix : en effet, Lucie, lors d'un entretien postérieur, exprime sa difficulté à prendre en compte l'hétérogénéité du public. Le choix de continuité du jeu peut être préféré à la régulation.

La grand-mère semble avoir interprété le système sémiotique organisé par Lucie de façon adéquate, puisqu'elle conclut d'elle-même la démonstration de la physicienne. Elle fait une inférence qui témoigne à Lucie de sa compréhension. Elle généralise d'ailleurs avec le pronom impersonnel « on » : « on se noie pas dans les sables mouvants/ » (tdp. 19). L'inférence commune est signe d'une action conjointe réussie. Lucie ne pointe alors plus le poster, et ne pointe plus le dispositif expérimental. Elle quitte l'espace fictif des sables mouvants et cesse son récit. La sémiose qui a fonctionné avec les grands-parents est matérialisée par la satisfaction de Lucie-professeur. En retour, nous observons la satisfaction réciproque de la grand-mère-élève.

Par contre, Charlotte ne montre aucune réaction à la fin de la démonstration. Le contraste de cette « transaction malheureuse » (entre Lucie et Charlotte) avec la « transaction heureuse » (entre Lucie et la grand-mère) est visible (Photogramme 88 et 89, p.318).

Lucie interprète probablement ces signes comme nous le faisons ci-dessus quand elle nous déclare sa difficulté à satisfaire un public aussi hétérogène (entretien rétrospectif). Nous observons des évolutions au fil de ses présentations.

8.4.4.3 Le développement des schèmes d'utilisation des ressources

Lucie n'a pas la même utilisation du dispositif des sables mouvants lors de ses médiations successives. Nous décrivons ici une évolution observable entre les cinq premières présentations, à propos d'une propriété essentielle des matériaux thixotropiques : ils sont solides avant d'être agités ; ensuite ils deviennent liquides.

Lors de la première et de la seconde présentations, Lucie pose les figurines sur le modèle analogique, sans faire remarquer qu'elles tiennent sur le sable mouvant. Son seul but est de montrer que l'on « ne peut pas se noyer dans les sables mouvants ». Ce *leitmotiv* utilisé pour accrocher le public est une intention didactique qui a tendance à sur-déterminer la stratégie de

Lucie. Elle explique la thixotropie[161], d'une part, de façon théorique avec la structure en château de carte de l'argile, et d'autre part, en mimant l'extraction de son corps d'un sable mouvant, en prenant appui sur une zone voisine encore solide. Lors de ses deux premières médiations, elle n'utilise pas le modèle pour montrer que le milieu est solide avant qu'il ne soit agité.

Lors de la troisième présentation (la famille d'Eric et Yvan), la solidité du sable mouvant avant son agitation est rapidement évoquée lors de la simulation. Eric raconte alors son aventure : il s'enfonçait jusqu'aux chevilles, puis s'extrayait des sables mouvants et se déplaçait plus loin sur le sable solide, pour recommencer à piétiner et à s'enfoncer. Lucie met en relation l'expérience racontée par Eric avec la simulation. Le modèle analogique permet de montrer cette propriété du sable mouvant : avant qu'il ne soit agité, le sable mouvant est solide.

Pour Ben (quatrième présentation), Lucie n'utilise que le poster et le mime. En effet, pour elle, la question du jeune garçon, « `COMment on fait pour sortir du sable mouvant/` », est directement associée à la composition de la matière (poster) et à une expérience kinesthésique qu'elle présente sous la forme d'un mime. Elle ne pense pas à utiliser la simulation sur le modèle analogique. Elle n'est pas convaincue d'avoir apporté une réponse au garçon. Elle s'interroge.

Sa collègue Thao lui fait remarquer qu'il est important de montrer le phénomène. À partir de ce moment, et jusqu'à la fin de la journée, Lucie montre la solidité du sable mouvant quand il est au repos dès la simulation avec le modèle analogique.

Lors de la cinquième présentation, avec Charlotte, Lucie scénarise le moment d'observation des deux bonshommes sur le sable mouvant solide (Photogramme 73 et 74, p.313). Elle écarte les mains et marque un temps d'arrêt pour faire observer que les figurines ne s'enfoncent pas dans un sable mouvant au repos. Le temps d'arrêt est signe à déchiffrer et un élément symbolique porteur d'un savoir fondamental à garder en mémoire : le sable mouvant est solide tant qu'on ne le piétine pas. Elle aborde ensuite l'explication théorique. Puis elle mime l'enfoncement et l'extraction d'un humain des sables mouvants. Elle exprime le même phénomène, dans trois langages différents. Elle montre enfin les relations entre les différentes expressions. Telle une traduction opérée dans plusieurs langages, elle pointe le schéma, le

161 Propriété d'une matière dont la viscosité diminue dans elle est agitée.

modèle analogique et utilise un discours : « Et si tu piétines/ tu vas CASser toutes ces structures d'argile/ et tu vas t'enfoncer/ TOI jusqu'aux chevilles/ » (annexe 50, tdp. 37). Dans l'action, Lucie poursuit le développement d'un schème d'utilisation du modèle analogique.

Nous observons une autre évolution quant à l'utilisation de cette même ressource : jusqu'à la transaction avec Rody, Lucie ne montre pas au public les analogies entre la difficulté d'extraction des figurines du pot, la difficulté d'extraire une jambe de réels sables mouvants, et l'explication théorique (le comportement des feuillets d'argiles). La sédimentation rapide du sable et de l'argile entravent l'extraction de ce qui est immergé dans le sable mouvant, que ce soient les jambes d'un imprudent ou des figurines. Cette évolution importante de l'enseignement de Lucie est engendrée par Rody. Elle donne à voir des relations dans le milieu.

Un processus d'instrumentation s'installe avec des régulations opérées d'une séance à l'autre. Le schème d'utilisation de la ressource « modèle analogique » continue de se développer dans l'action.

Nous observons une autre évolution quant à l'utilisation de cette même ressource : jusqu'à la transaction avec Rody, Lucie ne montre pas au public les analogies entre la difficulté d'extraction des figurines du pot, la difficulté d'extraire une jambe de réels sables mouvants, et l'explication théorique (le comportement des feuillets d'argiles). La sédimentation rapide du sable et de l'argile entravent l'extraction de ce qui est immergé dans le sable mouvant, que ce soient les jambes d'un imprudent ou des figurines.

Un processus d'instrumentation s'installe avec des régulations opérées d'une séance à l'autre. Le schème d'utilisation de la ressource « modèle analogique » continue de se développer dans l'action.

8.4.5 En bref : jeux d'apprentissages, sémioses et expérience

Dans les jeux d'apprentissage étudiés les notions de sémioses, ou processus sémiotiques, nous paraissent adéquates pour décrire et analyser l'expérience de Lucie dans son activité didactique avec le public du village des sciences.

Les processus sémiotiques (parmi lesquels des gestes déictiques, des déplacements, des mimes, des relations avec l'environnement matériel, des regards, des jeux de langages)

permettent au public de voir ce qu'elle attend qu'il voie : de voir le milieu comme elle le voit. La mise en scène du système de ressources vise à favoriser la sémiose du milieu par les visiteurs. Les artefacts matériels, le discours verbal, mais aussi le corps de Lucie qui s'immerge dans des sables mouvants fictifs, et la référence cinématographique sont autant d'éléments agencés par Lucie, en fonction de son *style de pensée* (Fleck, 1935), de son *voir comme* (Wittgenstein, 2004).

Une des difficultés et nécessité de cette situation didactique est d'organiser une sémiose du milieu adaptée à tous les joueurs. Un choix est parfois opéré, laissant momentanément[162] « hors jeu » une partie des visiteurs.

Lors des premières présentations, nous observons dans le jeu de Lucie une juxtaposition de l'utilisation des ressources : le modèle analogique, les modèles théoriques, les mimes. Au fil des présentations, dans ses transactions avec le public, la médiatrice découvre des possibilités offertes par le modèle analogique de montrer ce qu'elle explique par ailleurs avec la théorie et les mimes. Elle combine ses ressources pour lui accorder plus d'importance. Nous notons que Lucie fait évoluer son mode d'exploitation du modèle analogique, et l'organisation de ses ressources. Nous supposons, au vu de ces évolutions, qu'elle a développé des connaissances relatives à la diffusion de résultats de recherche auprès d'un public du type de celui du village des sciences.

Nous faisons l'hypothèse que la sémiose du public par Lucie amène la médiatrice à opérer des régulations de son activité avec ses ressources. Nous observons des régulations en réponse directe à des questions « `c'est lui qui est lourd/` », ou des régulations lors de présentations ultérieures, sans interrompre la présentation en cours (choix de continuité observé quand Charlotte décroche).

L'ensemble des sémioses serait un des moteurs du processus d'instrumentation pour Lucie. En effet, les sémioses se constituent en ressources dont les caractéristiques influencent les schèmes que développe Lucie au fil de ses transactions.

Par ailleurs, l'expérience acquise avec les sémioses (processus sémiotiques divers plus ou moins « heureux ») participe à l'expérience du scientifique dans son activité didactique.

- Les transactions s'articulent sur des jeux entre les transactants. Les sémioses d'autrui (de Lucie par le public et du public par Lucie) font partie des jeux sur lesquels

162 Nous rappelons que la durée moyenne de présentation d'un dispositif est de trois minutes environ.

s'articulent les transactions.

- Les transactions sont alimentées par des savoirs. Les sémioses du milieu sont les substrats des transactions.

L'évolution de ces pratiques de déchiffrements et de productions de signes (sémioses, processus sémiotiques) participe à l'expérience de Lucie dans son activité didactique. Le jeu didactique est un processus sémiotique.

8.5 Le chapitre sur le sable, synthèse

Les chercheurs en physique des milieux granulaires sur lesquels nous enquêtons ont une familiarité très pratique avec la matière qu'ils étudient. Ils observent les phénomènes sur le terrain et les reproduisent en laboratoire. Ils font aussi un travail de modélisation important, car la physique des milieux granulaires échappe en partie aux lois de la physique newtonienne. Les chercheurs qui participent à notre enquête sont particulièrement sensibilisés au passage du monde des objets et de la matière, au monde des modèles. Leur objet d'étude les engage, de fait, à didactiser les liens entre l'empirie et les modèles qu'ils produisent.

L'objet du stand que les médiateurs (des doctorants, mais aussi des enseignants chercheurs permanents) proposent est issu d'une réflexion de l'équipe antérieure à l'événement que nous observons. Des dispositifs expérimentaux visent à illustrer des phénomènes fondamentaux de la physique des milieux granulaires. Les posters présentent des modèles et éléments théoriques associés. Ils sont agencés de façon conceptuelle en deux zones qui matérialisent deux champs des recherches : le sable humide et le sable sec. Les doctorants préparent l'événement du village des sciences avec l'assistant-ingénieur de leur département. Ce dernier sait quels phénomènes sont montrés par les dispositifs pour un public de non-connaisseurs. Il connaît l'origine de la collection de ressources, leur rôle et leur fonctionnement. Il a une expérience de leur utilisation en situation de médiation pour le « grand public ».

Nous nous intéressons à une thématique du stand : les sables mouvants. Des simulations sur un modèle analogique de sable mouvant sont menées, associées à des éléments de savoir théoriques organisés sur un poster. Cependant, les médiations observées ne limitent pas les transactions aux seules praxéologies scientifiques. Elles évoquent aussi avec le public d'autres pratiques : celles des récits de fiction, notamment. Elles prennent aussi en compte le témoignage des visiteurs qui ont eu une familiarisation pratique avec ces lieux/cette matière.

Nous observons l'activité didactique d'une doctorante avec un public non scolaire : des groupes familiaux, un enfant et un adolescent seuls. Il s'agit de ses premières expériences, et de didactisation lors d'un tel événement, et de didactisation du thème des *sables mouvants*. La préparation à laquelle elle a participé joue comme un modèle à imiter. L'ensemble des ressources qu'elle agence dépasse largement les artefacts présents sur le stand. Si ses premières transactions sont principalement centrées sur les artefacts, elle élargit peu à peu sa vision des ressources qu'ils contiennent et elle les combine. Nous observons une évolution des usages qu'elle en fait à travers la prise en compte des processus sémiotiques. Les sémioses qu'elle perçoit et utilise enrichissent ses schèmes d'utilisation des ressources du stand avec ce public. Son analyse des situations dans l'action, le cas échéant accélérée par celle d'un observateur, lui permet d'opérer des régulations dans son activité. La doctorante acquiert une expérience de son activité didactique dans la succession des jeux d'apprentissage qu'elle mène. Nous montrons comment les transactions sont fondées sur les sémioses d'autrui et les sémioses du milieu. L'évolution de ces pratiques de déchiffrement et de productions de signes participe à l'expérience de Lucie dans son activité didactique. Le jeu didactique est un processus sémiotique.

PARTIE 4 : SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Où nous présentons notre synthèse et nos perspectives

Chapitre 9 - Synthèse des résultats.....361

9.1 Éléments méthodologiques.....362
9.2 Genèse documentaire des chercheurs médiateurs.....379
9.3 Pratiques de savoirs en jeu sur les stands : des objets familiers aux objets scientifiques.....382
9.4 Genèse et évolution d'un contrat didactique sur les stands : des responsabilités institutionnelles.....383

Chapitre 10 - Perspectives.....389

Séances flash et effet loupe.....389
Expérience des professeurs.....390
Concilier les approches.....390
Lire et créer des images.....390
Sur les pas des visiteurs.....391
Le monde des modèles.....392

Chapitre 9 - Synthèse des résultats

Après le rappel de nos questions de recherche, nous proposons à notre lecteur une synthèse des résultats auxquels notre étude nous a menée.

Cette synthèse reprend peu ou prou l'organisation des éléments que nous mettons en tension au moment de notre questionnement initial (Chapitre 4 – Questions de recherche, p. 49). Certains résultats se révèlent cependant quelquefois sous un angle différent. D'autres ne répondent que partiellement aux questions initiales mais en abordent de nouveaux. Nous les regroupons.

Des méthodes pour rendre compte de situations didactiques sont présentés dans la première partie intitulée *Éléments de méthodologie* (9.1, p. 362). Dans cette partie, les questions initiales sont les suivantes.

> Question 9 : Comment *modéliser* (caractériser et représenter) les éléments grammaticaux (transactions didactiques, contrat/milieu, sémiose, ressource/document…) qui constituent nos cadres théoriques, pour rendre compte de ce qui les caractérise ?
>
> Question 10 : Quels *systèmes sémiotiques* participent et aident à la reconnaissance des formes qui se jouent dans les situations didactiques ?

L'utilisation et le rôle des ressources trouvent leur place dans la seconde partie, la *Genèse documentaire des chercheurs médiateurs* (9.2, p. 379). Les questions initiales sont les suivantes.

> Question 4 : Comment les scientifiques sélectionnent-ils, conçoivent-ils et organisent-ils les *ressources* qu'ils utilisent sur les stands étudiés ?
>
> Question 5 : Quelles sont les *ressources* convoquées et quel est leur rôle dans les *transactions didactiques* ?
>
> Question 6 : Les chercheurs font-ils évoluer leur *jeu didactique* au fil de leurs maintes présentations sur les stands ? Comment les chercheurs deviennent-ils *professeurs* ?

Les pratiques de savoir et de leur didactisation trouvent un écho dans la troisième partie consacrée aux *Pratiques de savoirs en jeu sur les stands : des objets familiers aux objets scientifiques* (9.3, p. 382). Les questions initiales sont les suivantes.

Question 7 : Quelles sont les pratiques de savoir didactisées ? Sur quels jeux épistémiques les différents médiateurs s'appuient-ils ?

Question 8 : Dans le cas particulier de didactisations de pratiques scientifiques de savoir, quelles sont les caractéristiques spécifiques du phénomène de *transposition* ?

Les questions relatives aux jeux didactiques sur des stands trouvent des éléments de réponses dans la dernière partie intitulée *Genèse et évolution d'un contrat didactique sur les stands : des responsabilités institutionnelles* (9.4, p. 383). Les questions initiales sont les suivantes.

Question 1 : Comment le *milieu* est-il identifié dans un environnement inconnu par les élèves ?

Question 2 : Comment les *transactions didactiques* s'articulent-elles entre les *transactants* dans le cadre de séances de sciences de très courte durée au village des sciences ?

Question 3 : Si des éléments de *contrat didactique* existent réellement dans ce contexte, quels sont-ils ? Comment le *contrat didactique* est-il établi sur une si courte durée ? Comment évolue-t-il ?

9.1 Éléments méthodologiques

Nous consacrons une première partie aux systèmes sémiotiques développés dans notre étude à partir des photogrammes. Puis, nous revenons schématiquement sur notre méthodologie de recherche. Enfin, nous montrons comment des systèmes sémiotiques aident à la lecture, à la description et à l'analyse des situations didactiques.

9.1.1 Des systèmes sémiotiques issus des photogrammes pour rendre compte des jeux d'apprentissages

Nous présentons dans notre étude de nombreuses solutions pour donner à voir la réalité. Les ruptures de styles ne sont pas toutes volontaires. Les conditions de tournage (lumière, couleur des vêtements, angle de vues, hésitation à publier l'image d'un public de passage) complexifient parfois les traitements, mais fournissent aussi l'occasion de recherches de solutions intéressantes.

Le bras du médiateur qui sort momentanément du champ de la caméra, alors qu'il est l'objet de toute l'attention du public, nous impose un exercice de style : dessiner ce bras hors de la vignette (6.4.2.1, p.132). Il attire l'œil du lecteur dans un effet analogue à la situation réelle (Photogramme 111).

Photogramme 111: Sortie du cadre

Les ruptures de styles expriment différents essais avec des effets variés selon les besoins et les contraintes. Les conserver confère à notre travail un côté hétérogène, mais donne à voir des possibles avec leurs limites.

9.1.1.1 Incrustations

Des incrustations diverses (flèches, mains gantées, récitatifs, *time codes*, initiales des transactants) permettent au chercheur d'analyser cette donnée spécifique et de s'adresser au lecteur. L'image devient le milieu d'une transaction directe entre le chercheur et le lecteur. Dans les études des regards (par exemple) nous soulignons avec des flèches leur direction. L'incrustation est un procédé d'annotations explicite et nécessaire du chercheur pour marquer de sa présence l'analyse en cours. D'autres procédés rendent compte de façon moins directe des descriptions ou des analyses. Nous en faisons une synthèse ci-dessous.

9.1.1.2 Du film à l'image fixe

Nous synthétisons un extrait de film, une image animée, en une image unique que constitue le photogramme. La rhétorique de cette image fixe est basée sur la synecdoque : l'instant fixé par le photogramme évoque un cadre temporel plus large. Le contexte est présent en arrière-plan et l'action figée évoque un avant et un après. L'instant fixé fait émerger une réflexion sur tout ce qu'il peut se passer dans un moment tel que celui-là.

Or l'écriture de notre étude est construite et orientée par des objets que nous voulons donner à voir à notre lecteur. Il nous semble nécessaire de proposer un *analogon* (Sensevy, 2011a) de la réalité, extrait de nos données empiriques, mais débarrassé d'éléments superflus pour notre projet. Nous produisons des constructions, par des techniques de traitements d'images. Pour paraphraser Bachelard (1937)[163], une phénoménotechnique se substitue à la phénoménologie uniquement descriptive. Ceci ne nous empêche pas d'introduire des images non traitées dans l'univers crayonné des photogrammes, quand l'objet est lisible déjà dépouillé de tout « parasite ».

163 *« Elle [la production de l'expérience] renverse vraiment l'axe de la connaissance empirique. Elle conduit à substituer à la phénoménologie uniquement descriptive une phénoménotechnique qui doit reconstituer de toutes pièces ses phénomènes sur le plan retrouvé par l'esprit en écartant les parasites, les perturbations, les mélanges, les impuretés, qui foisonnent dans les phénomènes bruts et désordonnés. »* (Bachelard, 1937, p. 140)

9.1.1.3 Effets spéciaux et codes graphiques

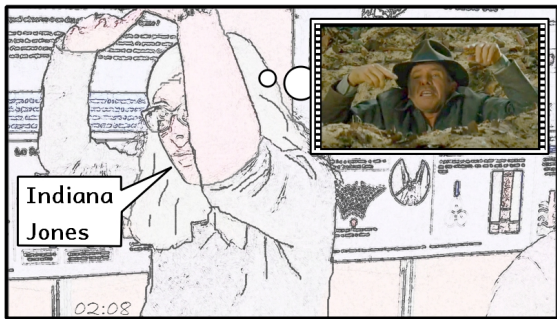
Dans la version couleur de notre travail, nous jouons sur l'usage du *contraste* noir et blanc/couleur et l'hybridation des deux procédés sur la même image. Elle est souvent associée à l'*estompe* de la partie en nuances de gris pour faire ressortir les objets ou événements (remarquables et à faire remarquer) en couleur. Le *floutage* a souvent tendance à brouiller la lecture du tout. Nous lui préférons l'*insolarisation* qui rend transparent ce qui n'est pas commenté et analysé. L'insolarisation est lisible en filigrane, car sans contraste, avec des valeurs proches du blanc.

Photogramme 112: Regard

Ci-contre (Photogramme 112), dans l'allée centrale du village des sciences, le petit Ben se sépare de son père au milieu de visiteurs et d'autres stands (visibles en filigrane). Seul un regard les lie (8.4.3.1 A. , p. 341).

L'entrée du lecteur dans l'univers crayonné des photogrammes est la découverte d'un code graphique, son appropriation avant qu'il ne devienne transparent, au sens d'Adler (2010). C'est un travail sémiotique en soi.

Le jeu avec les contenus peut alors être troublant et renforcer l'intention du texte. Par exemple, dans la vignette où Lucie évoque Indiana Jones, la fiction est représentée par un photogramme non traité alors que la situation empirique est représentée avec un photogramme crayonné (Photogramme 116, p. 366). La fiction semble une réalité plus prégnante que le jeu d'apprentissage scientifique. L'image se joue d'un quelconque jeu de hiérarchie entre les deux praxéologies. En fait, ces deux praxéologies vivent indépendamment l'une de l'autre.



Photogramme 113: Entre le réel et la fiction

9.1.1.4 Les images fixes séquentielles

Des vignettes de type BD rythment notre texte par séries pour une même situation. Le lecteur peut y revenir et les comparer.

Des bandes (*strips*) sont parfois nécessaires quand les formes matérielles et symboliques du milieu évoluent rapidement et que cette évolution fait partie de la sémiose que nous voulons évoquer. La médiatrice récapitule le sens de lecture de la coupe de terrain. La bande dessinée (Photogramme 114, p. 365) montre la sémiose de la médiatrice (dans sa sémiose avec la maquette) par le public (7.4.2.1 A. , p. 177).

Photogramme 114: Sémiose

Nous utilisons un cadre de vignette du type « pellicule » pour produire l'idée de changement dans une séquence continue. La technique fonctionne bien pour la sémiose du milieu, selon une technique cinématographique dite de *l'insert* qui intercale, dans la narration, un plan rapproché des objets. Nous l'utilisons par exemple pour l'enfoncement dans les sables mouvants du personnage Taz (p. 280), ainsi que pour les *gros plans* des mains des médiateurs. Ci-contre (Photogramme 115, p. 365), Lucie montre l'élargissement des canalisations d'eau à l'arrivée du chenal (8.1.2, p. 219).

Photogramme 115: Séquence continue

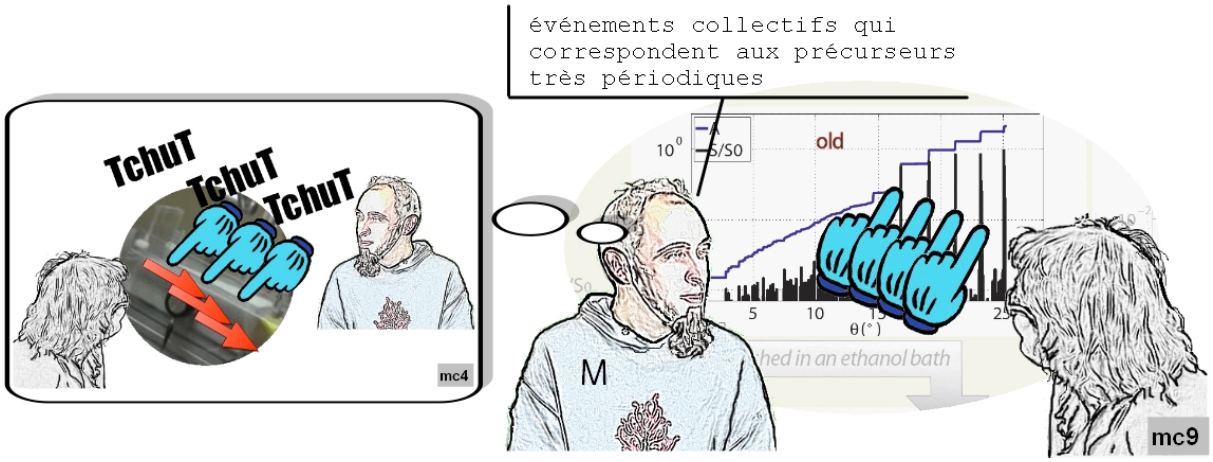
9.1.1.5 Des productions phénoménotechniques

Certaines bandes sont de pures productions phénoménotechniques. La série de la visite de la salle de manip de Mickaël en est un exemple (8.1.1, p. 227 et suivantes).

La série est rythmée par une première partie de vignettes simples à laquelle s'ajoute une partie de vignettes doubles qui présentent des *feed backs*. Ces retours en arrière représentent la construction de l'arrière-plan commun aux deux transactants et constituent le cœur de notre propos dans cette section.

Tout l'environnement de la visite ne fait pas milieu pour le visiteur et ne doit pas faire milieu pour le lecteur. Nous choisissons de focaliser notre projet d'écriture sur deux artefacts qui sont les ressources des transactants. Nous limitons les représentations aux formes matérielles et symboliques du milieu étudié.

Dans cette série (visite de la salle de manip de Mickaël), nous montrons peu les sémioses. Nous révélons leur existence avec quelques exemples, mais la présence même des transactants est reconstruite pour effacer les signes qui pourraient distraire[164] le lecteur de la compréhension de la situation que nous proposons. Leur portrait est réitéré sur les vignettes.



Photogramme 116: Production phénoménotechnique

Pour les dialogues contenus dans les bulles (Photogramme 59, p. 236), nous choisissons les extraits de transcripts qui paraissent indispensables à notre but. L'intégralité des transcripts est par ailleurs accessible (annexe 41).

9.1.1.6 Maillage

Nous empruntons le terme de maillage à Ingold, qui parle de *meshwork* (2011). L'opération de maillage vise à produire des systèmes hybrides textes-images ou textes-images-son (SHTIS) (Sensevy, 2011a ; Blocher, Joffredo-Le Brun, Kerneis, & Magnen, 2013). Pour poursuivons cette recherche de mise en synergie des formes symboliques contenues dans les systèmes sémiotiques ainsi créés : des formes au service d'autres formes, et des systèmes au service d'une production de sens. La production est celle du chercheur, et le maillage est abouti quand le lecteur, après sa part d'interprétation, accède à un sens partagé.

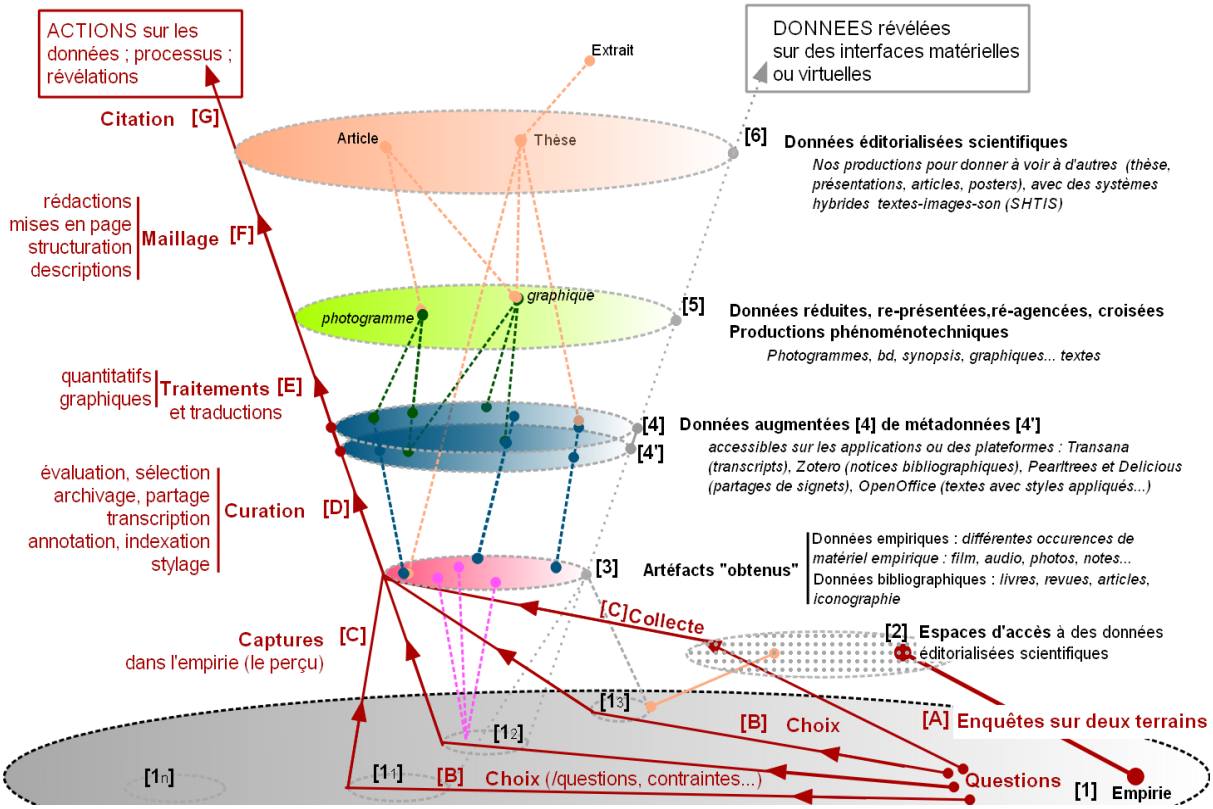
9.1.2 Description de notre méthodologie de recherche

Nous décomposons ci-dessous la démarche qui nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans notre thèse. Nous la synthétisons dans une représentation synoptique dont nous donnons d'abord des clés de lecture. Nous caractérisons ensuite chaque étape par un type de données et les processus pour les obtenir.

164 *Distraire* dans le sens de « tirer dans d'autres sens » (de lecture).

9.1.2.1 Clés de lecture de la représentation synoptique

À la base de cette représentation graphique (Vue_synoptique 24, p. 367, et annexe 2), se trouvent l'empirie [1] et les divers espaces d'accès aux données déjà éditorialisées [2], nos deux terrains d'enquêtes, lieux ressources de données empiriques et bibliographiques.



Vue_synoptique 24: Représentation graphique de notre méthodologie de recherche

- Deux mouvements ascendants partent de l'empirie.
  - Un des axes concerne les actions sur les données (flèches rouges à gauche), la « révélation des données ». Ce sont des processus de transformations qui permettent de révéler les données, au sens photographique[165] du terme. Avec ces transformations, nos questions de départ évoluent et se croisent.

165 L'analogie vient du monde de la photographie argentique. La photographie numérique apparaît instantanément sur l'écran de l'appareil photos. L'image argentique, elle, est obtenue après le développement de la pellicule et le tirage des négatifs sur papier. Ces deux étapes contiennent, chacune, une révélation par traitement chimique. Une scène réelle est photographiée. La trace de cette scène est latente sur la pellicule. Dans l'obscurité de son laboratoire, le photographe développe (révélation 1) le film de négatifs. Pour révéler une photographie, le photographe insère son négatif dans un agrandisseur (projecteur). Il place son papier-photo sous l'agrandisseur et l'expose à la lumière diffusée à travers le négatif. La durée de l'exposition est savamment choisie. Puis, il plonge le papier-photo encore blanc dans un liquide, le révélateur. L'invisible est alors révélé (révélation 2). Le photographe choisit le contraste en faisant varier la durée d'immersion du papier dans le révélateur. Enfin, quand il a obtenu l'effet recherché, ou que l'effet révélé lui convient, il plonge le papier dans un bain qui fixe l'image.

- L'autre axe concerne le résultat de ces processus, les données révélées successives : des *obtenues*[166], artefacts divers, jusqu'aux données produites (flèche en pointillés gris à droite). Chaque disque coloré correspond à l'aboutissement d'une phase de transformation des données. Celles-ci sont révélées sur une interface, support matériel ou virtuel. Leur stratification peut être plus dense que sur ce schéma. Ces phases peuvent être actualisées à tout moment.

9.1.2.2 Données révélées et produites

Nous décrivons les types de données que nous manipulons et les espaces ou interfaces (représentés par les disques superposés) sur lesquels elles sont révélées suite aux opérations que nous menons.

A. Empirie, réalité [1]

Les terrains sur lesquels nous enquêtons sont les lieux où se produisent des situations susceptibles de répondre à nos questions. Nous les sélectionnons (disques en pointillés gris [1_n]) en fonction de contraintes dans l'empirie : dans une école, une classe, à un moment choisi ; dans la salle de manip d'un chercheur ; sur un stand du village des sciences, avec une classe de CP. Avec différents moyens de captures [C], nous obtenons des données empiriques [3], que Latour (2014) appelle justement des *« obtenues »*.

B. Espaces d'accès à des données déjà éditorialisées [2]

Notre collecte [C] de ce type de ressources résulte de recherches, de lectures et de sélections, parmi ce que d'autres chercheurs ont produit et découvert sur des questions similaires aux nôtres. Ce sont des lieux ressources pour notre étude (bibliothèques diverses, prêts entre pairs, revues en ligne, archives en ligne). Nos enquêtés sont producteurs et publient sur internet leurs posters, et articles scientifiques, des billets de blog ou des vidéos.

C. Données (obtenues) empiriques ou bibliographiques [3]

De l'empirie, sur les stands du VDS, nous capturons [C] et obtenons des artefacts codés de façon analogique (enregistrements audios et vidéos) et, d'autres, codés de façon digitales (notes personnelles, productions des enquêtés). Ces données en rejoignent d'autres, issues d'autres enquêtes, sur des supports numériques ou papier.

166 Le terme est emprunté à Latour. Il évoque les données *« qu'il faudrait vraiment apprendre à nommer les "obtenues" »* (2014, p. 123).

D'autres « obtenues » sont bibliographiques, papier ou numériques, codées de façon digitale (textes) ou analogique (vidéos).

D. Données augmentées [4] de métadonnées [4']

Rapidement, toutes ces données subissent des phases de *curation* [D] qui dépassent le seul partage sur internet. Selon Le Deuff, la *curation* est une opération qui vise à *« organiser des éléments disparates pour leur conférer du sens »* (2012, p. 148). Nous représentons le produit de la phase de *curation* par un feuilletage (double disque sur le modèle) de formes matérielles et symboliques à la fois.

Les données sont transférées et dupliquées sur divers supports (disque dur du PC, disque dur externe, *cloud*). C'est là leur seule matérialité. Elles sont évaluées, sélectionnées, rangées, archivées, ordonnées, indexées, annotées, traduites, transcrites. Ceci permet la construction de significations dans des espaces non matériels qui ont une grande plasticité. Ce sont des traces personnelles formalisées dans des *métadonnées*.

La mémoire de ces données et de ces métadonnées est rendue accessible pour nous et éventuellement pour un collectif, si l'indexation est partagée. Le Deuff poursuit : *« les dispositifs folksonomiques ne sont réellement utiles que s'ils confèrent à l'esprit de quoi développer des moyens de réflexion et donc de nouvelles idées »* (ibid.). Nous produisons des *descripteurs*, nos métadonnées qui nous paraissent adaptées à nos questions, notre terrain et nos principes directeurs.

Les traces et métadonnées produites par la *curation* créent des relations entre les données : les posters dans le couloir de l'IPR, et les fresques dans les églises au Quattrocento ; la traduction d'une langue à une autre et la transposition didactique.

L'application de styles, le *stylage*, dans le traitement de textes, fait partie de cette phase de création de métadonnées. Nous l'associons à la *curation*. La structuration des informations contenues dans le fichier texte répond, par exemple, à la question : quels sont les titres et les sous-titres ? La question est éminemment utile pour produire du sens. Des réponses existent qui précèdent l'invention des applications numériques : la matérialisation de *caractères* plus ou moins gros, visibles, colorés, ou enluminés. L'annotation formelle de métadonnées sur le niveau du *paragraphe* est une opération relativement contraignante. C'est une opération de traduction qui oblige à une prise de recul, mais qui permet, ultérieurement, des manipulations aisées du texte pour, le cas échéant, le voir autrement.

E. Données réduites, re-présentées, ré-agencées, croisées [5]

Après des traitements quantitatifs ou des traitements graphiques [E] (qualitatifs), nous présentons les données d'autres façons, analogiques (photogrammes, BD) ou digitales (graphiques, synopsis, textes). Le traitement est réalisé en vue d'adapter l'objet traité à un usage déterminé. Mais le résultat du traitement révèle aussi de nouvelles significations.

Exemple 1 : le traitement des métadonnées dans *Transana* permet d'obtenir des données quantitatives et de les comparer. Ces nouvelles données sont interprétées (pourcentages et graphes) et construisent de nouvelles significations.

Exemple 2 : le traitement graphique automatisé d'une image (sous la forme d'un dessin avec VLC) pour faire ressortir une gestuelle, permet d'observer des lignes invisibles auparavant.

Exemple 3 : avec Tropes, l'analyse de discours permet de comparer la récurrence de termes dans différents corpus.

Exemple 4 : les actions macroscopiques (à partir du *stylage* évoqué plus haut), du texte déjà rédigé, sont porteuses de sens nouveaux, comme la visualisation de l'ensemble des titres de sections (navigation dans le document) et la manipulation directe des sections à partir de leur titre (accès direct au texte, ordre des sections, changement des niveaux de titres). Ces manipulations préparent l'*éditorialisation* future.

F. Nos productions scientifiques [6]

Ce sont les productions pour donner à voir notre étude à d'autres : thèse, présentations diverses, articles, poster… Elles mettent en synergie des représentations de différentes natures déjà porteuses de significations. Les maillages, *meshwork* d'Ingold (2011), sont d'ordres sémiotiques (systèmes textes-images) mais aussi symboliques. Le lecteur a sa place dans l'interprétation du maillage [F] et dans son analyse.

La gamme de choix et la souplesse d'actualisation de nos choix au moment de la présentation des productions dépend du travail antérieur. La *curation* des formes matérielles et symboliques de l'étude est au cœur de notre méthodologie.

9.1.3 Systèmes sémiotiques, outils de lecture, de description et d'analyse des jeux d'apprentissage

Dans cette section, nous proposons trois schémas pour décrire la topogenèse, puis la mésogenèse, et enfin les sémioses.

9.1.3.1 Un modèle pour décrire la topogenèse

Nous proposons un modèle pour représenter la topogenèse des transactions didactiques. Mis en système, il permet d'aborder des éléments de chronogenèse.

Nous utilisons une représentation des transactions didactiques dans les sections 6.5 (p.153) et 7.5.3 (p. 218) de notre étude. Elle met en synergie une instance « professeur » et une instance « élèves », les deux pôles en transaction dans une situation didactique. Cette représentation graphique nous paraît propice à décrire la topogenèse et la chronogenèse des situations quand l'instance « professeur » ou l'instance « élèves » se dédouble ou que les deux instances se multiplient plus encore.

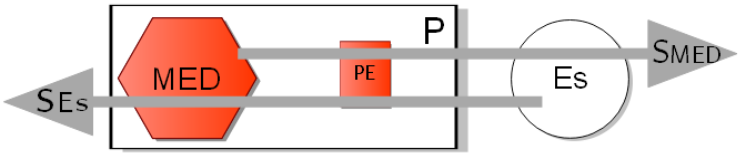
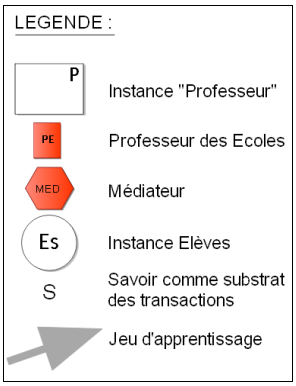


Illustration 141: Schéma d'une transaction didactique, du point de vue de la topogenèse



Les positions topogénétiques hautes et basses des transactants sont symbolisées par la taille relative du pictogramme qui les représente (Illustration 141, p. 371). La position respective des professeurs indique si ces derniers sont dans la transaction en professeur principal, en élève idéal, en recul, en retrait ou en aparté.

La chronogenèse de la situation est représentée par un système de représentations successives. Des processus peuvent être montrés, tels que des glissements d'un même transactant d'une position à une autre ; des basculements topogénétiques, quand les professeurs intervertissent leurs rôles ; des régulations, quand un professeur prend en charge un groupe d'élèves ; des décrochages d'élèves.

Nous représentons le jeu des transactants par une flèche. La flèche va du transactant qui a la position topogénétique la plus haute, vers celui qui a la position topogénétique la plus basse.

Les transactions didactiques ont comme objet des éléments de savoirs, formes matérielles et symboliques que les transactants mettent dans le milieu, de façons plus ou moins organisées, selon l'instance dans laquelle ils se trouvent, et leur stratégie. Les éléments de savoir sont le substrat (S) des transactions.

Nous associons à la représentation de la transaction l'arrière-plan commun de certains

transactants. En effet, dans la situation de visite d'une classe sur un stand, l'arrière-plan commun aux élèves et à la PE peut expliquer un basculement topogénétique, entre le médiateur et la PE.

La description que cette représentation des systèmes de transactions didactiques permet d'opérer à l'échelle d'une séance est macroscopique. Elle montre comment, de façon anticipée ou fortuite, des professeurs en position surnuméraire prennent en charge le groupe classe dans son ensemble ou se répartissent des sous groupes d'élèves.

Dans cette représentation, le milieu est, par défaut, l'ensemble du système de la transaction avec les transactants et les éléments de savoir vus comme le substrat de l'action. On le voit en « négatif » quand un arrière-plan partagé par des transactants est représenté.

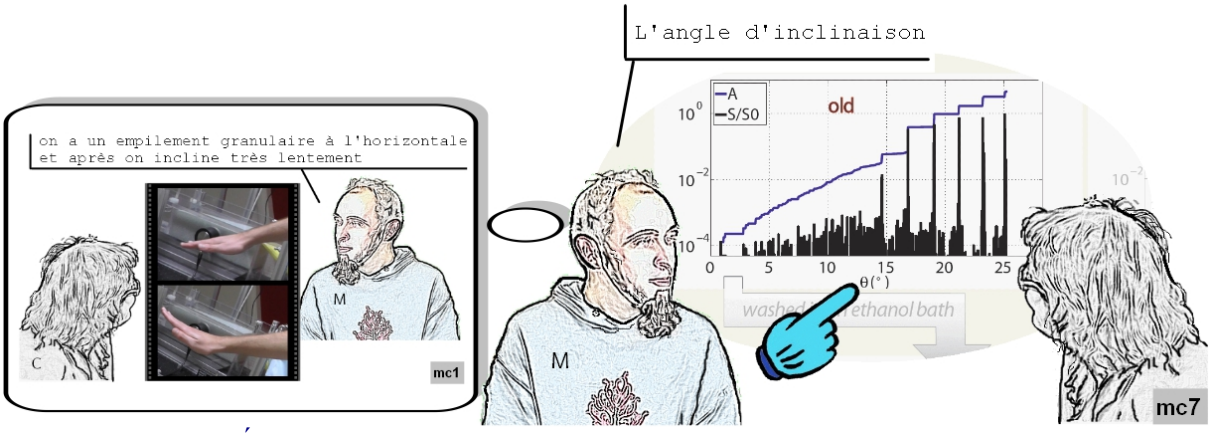
9.1.3.2 Un modèle pour décrire la mésogenèse

La représentation précédente, si elle apporte une vue globale de l'organisation de la classe, de l'évolution chronogénétique ou de la situation topogénétique, nous paraît trompeuse quant à la nature de l'action des transactants. Il est difficile d'expliquer le jeu d'apprentissage entre un professeur et un élève avec un échange de flèches qui transpercent le partenaire du jeu.

Si la modélisation précédente nous informe sur les relations entre les transactants, la présente donne à voir la relation des transactants aux formes matérielles et symboliques du milieu. Nous appelons ces formes « éléments de savoir ». Sensevy dit *« Disposer de la catégorie de mésogénèse pour décrire l'activité didactique, c'est donc étudier comment le contenu, tel qu'il est formé et perçu par les transactants, donne forme, en continu, aux transactions, et comment celles-ci se trouvent co-élaborées par le professeur et les élèves. »* (Sensevy, 2011c, p. 147).

Nous proposons ici un modèle non achevé, mais qui nous paraît adapté pour représenter la relation aux savoirs des transactants. Nous employons communément des expressions telles que mettre des éléments de savoirs dans le milieu, faire des liens entre ces éléments de savoirs, construire un arrière-plan commun, un contrat, convoquer des éléments de cet arrière-plan, convoquer un élément non adéquat du milieu (ou du contrat). Nous en proposons ici une explication graphique.

Pour faire fonctionner notre modèle nous prenons un exemple de notre corpus, extrait de l'étude de cas de la visite de la salle d'expériences de Mickaël. Nous prenons deux moments clés, mc1 et mc7, rappelés dans la double vignette suivante (Photogramme 117, p. 373).



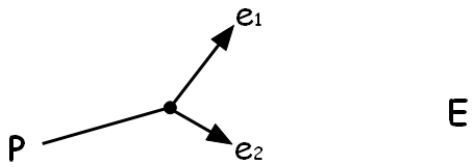
Photogramme 117: Évolution du milieu entre le moment clé 1 et le moment clé 7

C (E) visite la salle où Mickaël mène ses expériences pour en savoir un peu plus sur son activité de chercheur.

A. Moment clé 1

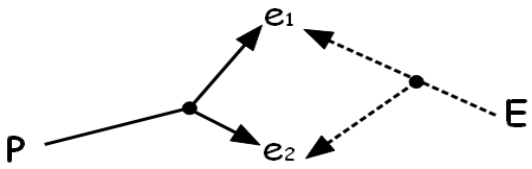
1 Le milieu est le réseau sémiotique (flèches noires et nœuds) entre des éléments de savoir (e_1, e_2), organisé par le professeur (Mickaël). Ces éléments de savoir sont des « formes matérielles et symboliques ». Avec d'autres éléments, ils donnent forme au problème posé par l'élève (C). Ils constituent une « expression du professeur vis-à vis du milieu ».

Mickaël (P) indique à C (E) que le dispositif expérimental, au début de l'expérience, est à l'horizontal (e1). Puis il l'incline (e2). Il marque une pause.



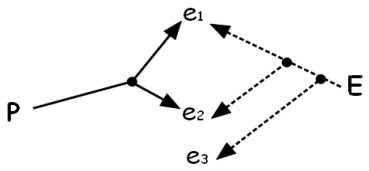
2 L'élève idéal (E) apprend en faisant (flèches pointillées) les bons liens (nœuds) entre les éléments du milieu proposé par le professeur (P).

C (E), en élève idéale fait le lien entre les deux éléments de savoir, l'horizontale (e1) et l'inclinaison par rapport à cette horizontale (e2).



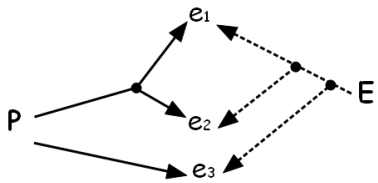
3 Le professeur sait qu'il a fait ces liens si l'élève est capable de produire au moins un nouvel élément en relation avec les précédents (e_3) et qu'il le montre (action, expression…).

C (E) acquiesce (e3) : ah oui tu penches tout doucement !



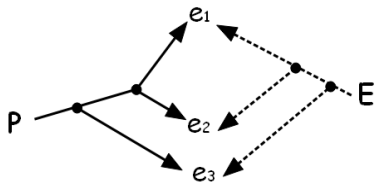
4 La sémiose de l'élève (E) par le professeur (P) est la reconnaissance par P des formes produites par E.

Mickaël (P) voit l'acquiescement de C (E) et entend sa proposition (e_3)



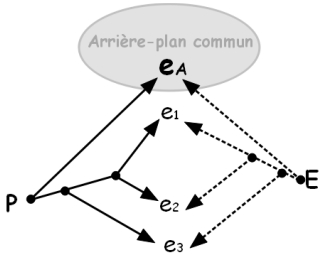
5 Le professeur valide la proposition e3 et l'inclut dans le système de formes du milieu (réseau avec des nœuds). La relation est correcte.

Mickaël (P) réitère son geste de la main entre l'horizontale et la position actuelle. Il intègre à e_1 et e_2 l'élément de savoir (e_3) apporté par C (E).



Le savoir construit ($\mathbf{e_A}$, ci-dessous) entre idéalement dans l'arrière-plan commun des transactants.

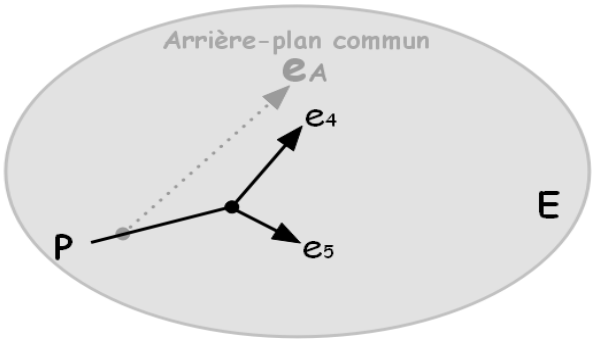
C (E) et Mickaël (P) savent que la manip' consiste à incliner doucement la boîte remplie de sable ($\mathbf{e_A}$).



B. Moment clé 7

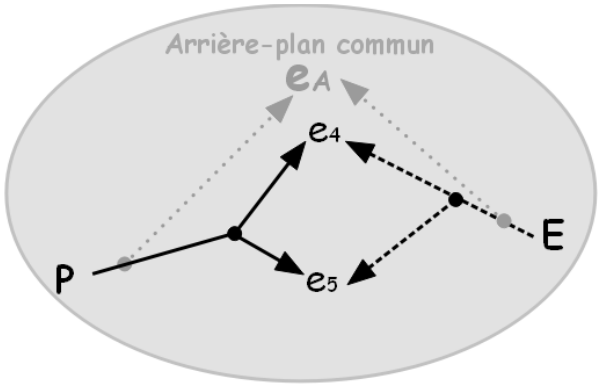
1 Dans l'arrière-plan commun, se trouvent des éléments de savoir institués précédemment ($\mathbf{e_A}$, $\mathbf{e_B}$, $\mathbf{e_C}$), etc. Ils peuvent être nécessaires à la mise en relation d'éléments dans un nouveau milieu. Selon la stratégie choisie, le professeur les remet dans le milieu ou laisse les élèves le faire.

Quelques minutes plus tard, Mickaël (P) pointe sur un graphique l'abscisse avec la mention θ(°) (e_4) et dit qu'il s'agit de l'angle d'inclinaison (e_5).

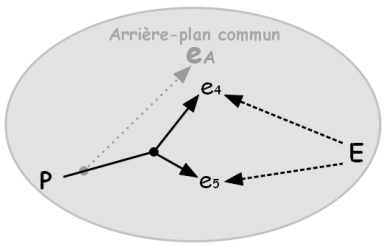


2 L'élève idéal convoque de façon adéquate le savoir construit précédemment.

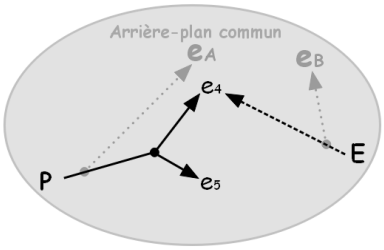
C (E) convoque de façon adéquate le savoir e_A mis en arrière-plan précédemment : le graphique représente « quelque chose » en fonction de l'angle d'inclinaison de la boîte que Mickaël (P) fait varier dans son expérience.



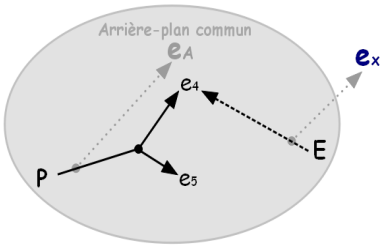
3 Des élèves peuvent ne pas convoquer de façon adéquate le savoir construit précédemment.



a



b



c

a Certains pourraient voir que Mickaël pointe l'axe de l'abscisse (e_4) pour en montrer l'horizontalité (e_4 mal interprété) en même temps qu'il parle de l'angle d'inclinaison (e_5). Ils ne feraient pas de lien porteur de sens.

b D'autres pourraient lier l'élément pointé (e_4) à tout autre savoir de l'arrière-plan commun (e_B), avec un sens, mais pas celui attendu ;

c D'autres encore pourraient lier l'élément pointé (e_4) à une pratique extérieure à la classe

(e_X).

Dans l'exemple développé ci-dessus, l'élément de savoir est une « composante épistémique/épistémologique du contrat ». Il existe aussi des « composantes transactionnelles du contrat ». Le PE et l'élève idéal s'appuient sur des habitudes de l'institution « classe » (e_H) pour agir.

Nous ne développons pas plus ce modèle dans la présente étude.

9.1.3.3 Un modèle pour décrire les sémioses

Pour les besoins de l'explicitation des processus de sémioses, nous séparons artificiellement les transactants (instance « élève » et instance « professeur ») et le milieu comme structure symbolique du problème (SSPb). Le *milieu* (au sens « plein ») correspond au milieu (SSPb) associé à l'ensemble des signes déchiffrés et produits dans les sémioses.

Nous présentons dans un premier temps la double sémiose, et dans un second temps la sémiose réciproque.

A. Double sémiose

a. Double sémiose du point de vue du professeur

(1) La sémiose du milieu par le professeur est le processus de production, par le professeur, de signes avec le milieu (SSPb) et le déchiffrement, par le professeur, des signes de ce milieu (SSPb).

(2) La sémiose de l'élève par le professeur est le déchiffrement, par le professeur, des

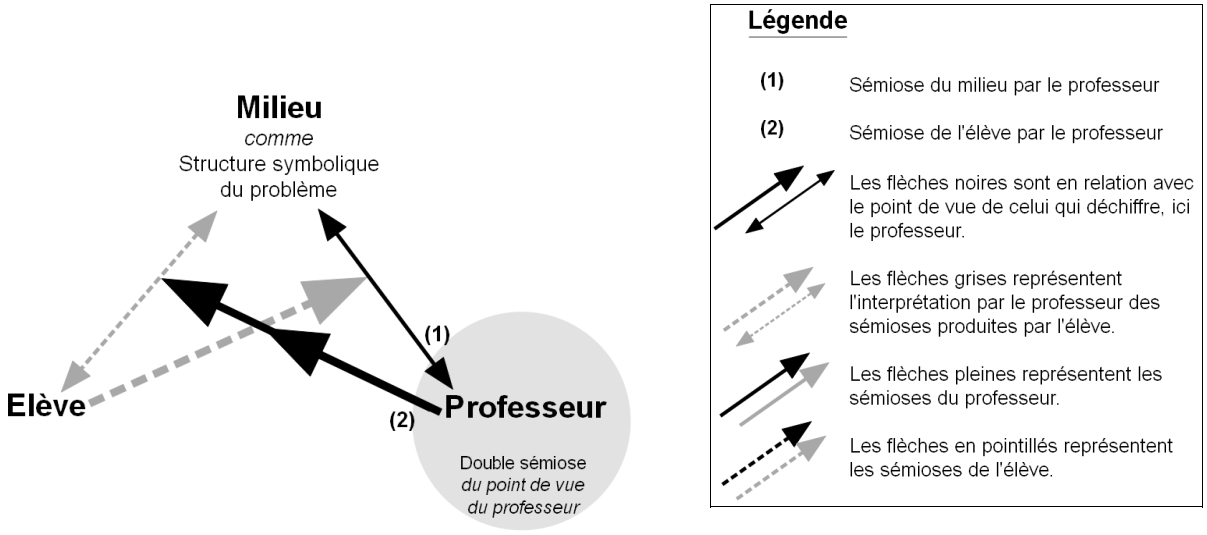


Illustration 142: Double sémiose du point de vue du professeur

signes produits par l'élève. Les deux sémioses produites par l'élève sont interprétées par le professeur (Illustration 142, p. 376).

b. Double sémiose du point de vue de l'élève

(3) La sémiose du milieu par l'élève est le processus de production, par l'élève, de signes avec le milieu (SSPb) et le déchiffrement, par l'élève, des signes de ce milieu (SSPb).

(4) La sémiose du professeur par l'élève est le déchiffrement, par l'élève, des signes produits par le professeur. Les deux sémioses produites par le professeur sont interprétées par l'élève (Illustration 143).

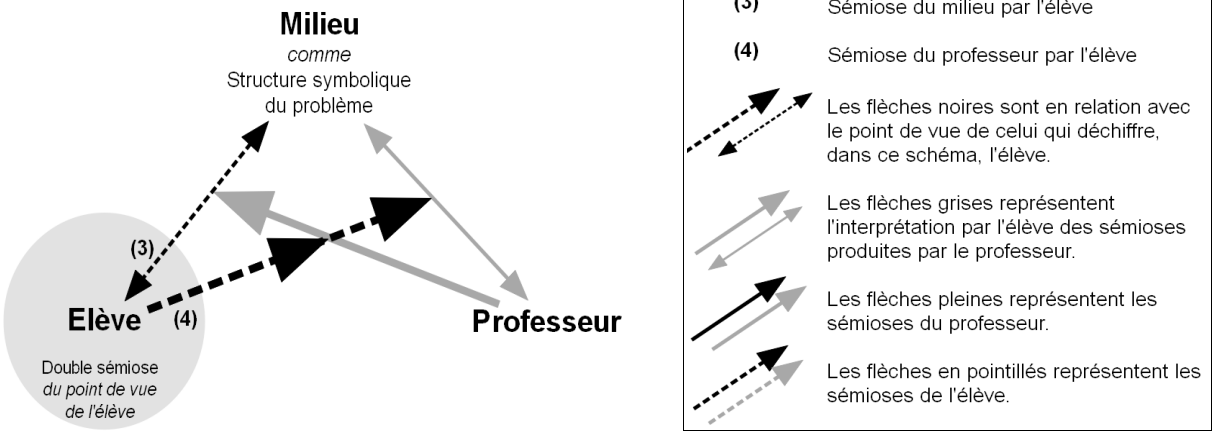


Illustration 143: Double sémiose du point de vue de l'élève

B. La sémiose réciproque

L'action conjointe du jeu didactique se situe dans la réciprocité de la sémiose de l'élève par le professeur (2) et de la sémiose du professeur par l'élève (4). Chacun lit les signes produits par l'autre et sait que les signes qu'il produit peuvent être lus par l'autre.

La sémiose réciproque peut être globalement modélisée par un schéma (Illustration 144, p. 377) qui présente les deux sémioses d'autrui (2) et (4).

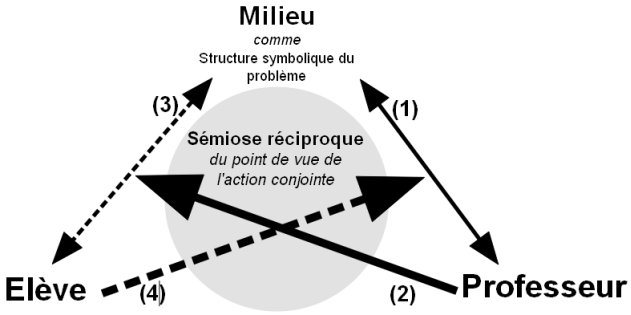


Illustration 144: Sémiose réciproque du point de vue de l'action conjointe

Pour une analyse plus fine de la sémiose réciproque, nous proposons une nouvelle lecture des schémas précédents.

a. La sémiose réciproque du point de vue du professeur

Le professeur déchiffre et interprète les signes produits par l'élève : il produit une interprétation de la sémiose du milieu par l'élève (3') et de la sémiose de lui-même par l'élève (4'). Il déchiffre et interprète les effets de sa propre action et du milieu qu'il a organisé pour l'élève.

En retour, il ajuste son action, régule l'activité, à partir de ses déchiffrements, de ses interprétations et de son analyse de la situation (Illustration 145, p. 378).

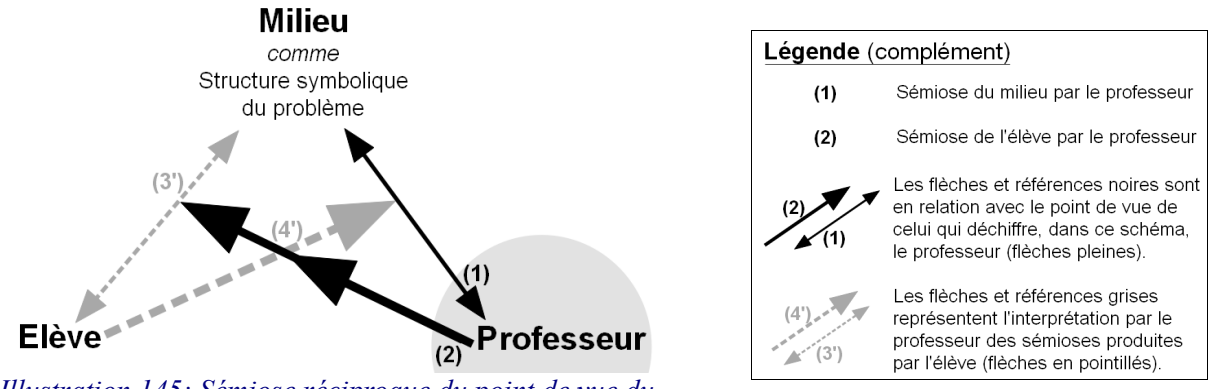


Illustration 145: Sémiose réciproque du point de vue du professeur

b. La sémiose réciproque du point de vue de l'élève

L'élève déchiffre et interprète les signes produits par le professeur : il produit une interprétation de la sémiose du milieu par le professeur (1') et de la sémiose de lui-même par le professeur (2'). Il déchiffre et interprète les effets de sa propre action et du milieu qu'il donne à voir au professeur (Illustration 146, p. 378).

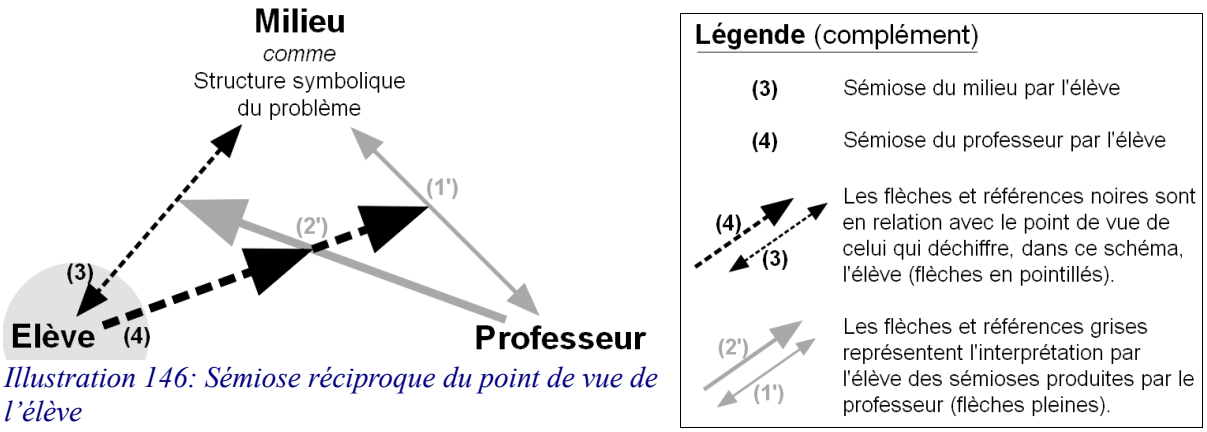


Illustration 146: Sémiose réciproque du point de vue de l'élève

Il ajuste son action, régule son comportement, à partir de ses déchiffrements, de ses interprétations et de son analyse de la situation.

9.2 Genèse documentaire des chercheurs médiateurs

Dispositif de monstration, artefact, ressource et document

La première fois qu'ils préparent le stand, les ingénieurs et chercheurs, futurs médiateurs, découvrent les dispositifs de monstration. Un membre du collectif participant au village des sciences les leur présente, l'assistant-ingénieur pour le stand du sable, une ingénieure hydrogéologue pour le stand des eaux souterraines. Cette personne est connaisseuse des dispositifs : elle sait quels sont les phénomènes pour lesquels les artefacts ont été construits. Elle sait créer le phénomène visé par chaque dispositif. Elle a déjà utilisé le dispositif pour montrer et expliquer le phénomène à un public. Elle a fait évoluer le dispositif ou son utilisation du dispositif.

Les futurs médiateurs abordent la préparation en sachant qu'ils vont découvrir des dispositifs qui sont conçus pour produire et montrer un ou des phénomènes physiques qu'ils connaissent déjà. Sauf exceptions[167], ils se trouvent en présence d'artefacts dont la plupart leur sont inconnus.

En effet, pendant leurs études supérieures, les ingénieurs et doctorants que nous avons interrogés nous ont dit avoir abordé les phénomènes physiques de façon théorique, avec des modèles mathématiques et des simulations numériques. Les dispositifs de monstration sont rarement utilisés en formation. Par ailleurs, dans leur activité quotidienne, les hydrogéologues ne voient pas, dans son milieu, l'objet sur lequel ils travaillent. Ils observent et agissent sur les effets des phénomènes liés aux eaux souterraines : niveau des rivières, pression de l'eau qui sort d'un forage, qualité d'un échantillon d'eau prélevé. De même, les doctorants des milieux granulaires travaillent sur un phénomène et construisent un dispositif expérimental pour produire, observer, analyser ce phénomène. Dans certains cas seulement, les dispositifs de monstration s'approchent de leur dispositif expérimental. C'est le cas de Lucie dont la recherche est en relation avec le micro-chenal.

Au moment où ils découvrent les dispositifs de monstrations, les artefacts se constituent en ressource pour montrer tel phénomène à un public de non connaisseurs, spécifiquement dans

167 Mickaël et Antoine ont déjà présenté certains dispositifs dans l'édition précédente du village des sciences, et Bruno a utilisé une des maquettes dans un événement pour le « grand public ».

la classe de situation du village des sciences. Des éléments de contrat (habitudes du public, durée des médiations, espace disponible) font partie de la préparation à l'utilisation des ressources.

En situation de didactisation, les médiateurs s'ajustent au public, développent et enrichissent leur schème d'utilisation des ressources, combinent les ressources et les modifient. Ils développent un document. Nous observons une partie commune d'utilisation de la même ressource par les médiateurs, et une partie personnelle issue d'une expérience autre.

L'origine des dispositifs de monstration conception et évolution

L'origine des dispositifs de monstration se trouve dans les laboratoires, ou plutôt dans les communautés qui travaillent sur les mêmes phénomènes[168]. Le micro-chenal est directement issu du dispositif expérimental sur lequel travaille une équipe du département des milieux divisés. Le phénomène est étudié en laboratoire sur un dispositif expérimental instrumenté. En effet, le chenal sur lequel les chercheurs travaillent est entouré de capteurs et d'instruments de mesure. Le but du chercheur est de produire la caractérisation et la description du phénomène pour pouvoir le prédire. Les résultats des recherches font l'objet de productions scientifiques. Quand celles-ci sont validées par la communauté, il paraît nécessaire de produire un dispositif pour montrer le phénomène à un public de non connaisseurs. Cette nécessité est d'abord humaine et interne au laboratoire. En effet, le « grand public » est celui qui se trouve au-delà du couloir où travaillent l'équipe qui a étudié le phénomène. La didactisation des savoirs commence dès le changement de couloir à l'intérieur-même du laboratoire, là où se tissent des relations humaines.

Le dispositif est conçu pour produire et montrer le phénomène. Il est une ressource, de l'équipe de chercheurs qui a travaillé à la caractérisation de ce phénomène, pour parler de son travail et de ses résultats. Cette ressource, pour l'équipe qui l'a conçue, « embarque » toute sa pratique de savoir scientifique et oriente déjà une partie du discours sur cette pratique. En effet, chaque membre de l'équipe utilise ensuite la ressource, avec un schème d'utilisation, dont une partie est partagée.

Cependant, les éléments de savoir contenus dans les ressources ont une forte valeur symbolique. Quand on n'est pas rendu familier de ces formes symboliques, on n'accède pas

168 La communauté qui étudie la formation des dunes éoliennes et la formation des rides de sable dans l'eau ne correspond pas à la communauté qui travaille sur les avalanches de sable.

au savoir. Nous pensons qu'une pratique de savoir personnelle se combine aux invariants opératoires du schème d'utilisation de la ressource par le futur médiateur. Elle serait issue, en particulier, de la didactisation de sa pratique, par le chercheur, dans d'autres classes de situations. En effet, tous les chercheurs pointent un aspect commun de leur expérience de didactisation : le partage de leur pratique professionnelle avec leurs proches, famille ou amis.

À l'intérieur de la communauté des hydrogéologues ou des physiciens des milieux divisés (dans nos cas), les équipes présentent, partagent, s'échangent les ressources qui leur paraissent pertinentes pour didactiser leur pratique commune de savoirs. Des ressources sont conçues, ou ont été conçues, par l'équipe locale ; d'autres ressources sont conçues, ou ont été conçues, par d'autres équipes de leur communauté. Certaines autres ressources sont conçues ou construites, à partir de leur connaissance des résultats de recherche des scientifiques, par des journalistes scientifiques, des médiateurs de musées ou des constructeurs de matériel pédagogique.

L'existence des ressources est révélée dans les réseaux de la communauté : lors de séminaires, pendant ou en marge des présentations ; lors de la préparation d'événements (village des sciences, expositions, mais aussi visites de laboratoires) ; par des découvertes sur internet. Les idées de ressources sont adoptées, reproduites ou adaptées puis utilisées dès lors qu'elles correspondent aux besoins de didactisation.

Transposition et didactisation des savoirs

La transposition des pratiques de savoir que nous avons observée correspond à la nécessité de didactiser ces pratiques dans une autre institution. Avec Chevallard, nous observons qu'il y a transposition dès qu'il y a migration de savoirs entre des sphères institutionnelles. L'échelle de ces sphères et leur nature nous apparaissent différemment à l'issue de notre étude. L'institution scientifique pourrait être modélisée par le couloir d'un laboratoire où se situe l'équipe qui travaille sur un objet, associée aux équipes de la même communauté qui travaille sur le même objet mais dans un autre laboratoire. Deux autres sphères institutionnelles nous paraissent importantes aux chercheurs pour construire leur expérience de didactisation : la famille et le réseau d'amis.

Le travail de didactisation repose sur la transposition de pratiques de savoir et sur l'identification de pratiques différentes. Un synopsis peut mettre en parallèle des formes de ces pratiques de savoir. L'une de ces formes pourrait être très symbolique (systèmes d'équations, graphiques) et correspondrait à une pratique scientifique de savoir. L'autre, ou les

autres, seraient concrétisées dans des formes matérielles et symboliques plus figuratives (schéma figuratif, modèle analogique, mais aussi d'autres traces de praxéologies différentes). Nous imaginons des sillons parallèles tracés par des populations aux pratiques différentes. La tension entre les pratiques est de deux types. Certains éléments relèvent de praxéologies incompatibles avec la praxéologie scientifique. Ils sont replacés dans leur contexte ; le sillon qui les concerne reste en marge des autres et mène ailleurs (dans des lectures de récits de fiction, par exemple). Certains éléments sont compatibles mais diffèrent par leurs « potentiels symboliques ». La tension entre les éléments, pour être rendue accessible, nécessite des traductions commentées, de part et d'autre. Les liens réalisés entre des ressources plus ou moins symboliques (la manip de Mickaël et ses graphiques ; le pot de sable mouvant et les schémas figuratifs du poster) permettent le passage d'un langage plus naturel utilisé dans le monde des objets et des événements quotidiens à un langage utilisé dans le monde des modèles et des théories. Le jeu didactique consisterait à rapprocher les sillons ou à emprunter/*empreinter* (marquer de son empreinte) le sillon de l'autre. C'est dans le travail conjoint entre les sillons « parallèles » des formes plus ou moins symboliques que l'on accède au « voir-comme » d'autrui.

9.3 Pratiques de savoirs en jeu sur les stands : des objets familiers aux objets scientifiques

Les pratiques de savoir en jeu sur les stands font appel à des objets et des événements de la vie quotidienne. Les maladies et fractures des os permettent d'aborder les recherches en médecine et en chirurgie. Elles débouchent sur les pratiques de savoirs concernant le corps humain et l'éducation à la santé.

Le questionnement sur l'eau du robinet dirige le public vers l'exploration du sous-sol et la découverte des eaux souterraines. Les médiations amènent des questions complémentaires sur les relations de l'eau avec l'homme : l'eau comme ressource et sa pollution.

Le stand sur le sable met en relation des phénomènes observés quotidiennement mais pas vus comme des phénomènes liés à la matérialité des granulaires. Le visiteur fait alors un lien entre le paquet de café sous vide et le sable sec qui apparaît quand il pose le pied sur un sable mouillé (phénomène de dilatance). Il apprend à voir le sable mouvant comme un yaourt (thixotropes), et à manipuler différemment sa boîte de céréales quand il y perçoit des effets de voûtes ou de ségrégations.

Dans chaque cas, le public aborde les objets de savoir du stand avec une forme de familiarité qui se transforme, au fil du jeu d'apprentissage sur le stand, en un « voir-comme » du scientifique.

9.4 Genèse et évolution d'un contrat didactique sur les stands : des responsabilités institutionnelles

Dans un premier temps nous resituons l'événement « village des sciences » avec son principe fondateur. Nous montrons comment chaque partenaire prend en charge une partie du contrat : l'organisateur, les visiteurs et l'institution scientifique. Enfin nous montrons comment une partie du contrat se définit pour les visiteurs au moment où ils abordent les stands. C'est le moment de l'engagement dans la transaction avec le contrat constitué.

Le village des sciences, un événement annuel associé à la Fête de la science, une institution

Les premiers éléments du contrat nous paraissent relever de l'essence-même de l'événement « village des sciences ». Son principe fondateur[169], son organisation, sa mise en œuvre, la participation du public participent de ce qu'est l'événement où chaque institution partenaire joue un rôle, a des attentes et une part de responsabilité. Les institutions partenaires dont nous allons à présent montrer les rôles sont au nombre de trois lors des transactions étudiées : l'organisateur de l'événement, les institutions scientifiques qui proposent des stands, et les visiteurs. Nous nous autorisons le regroupement des différents publics sous le terme de « visiteurs » ou du « public », comme le fait l'institution organisatrice[170] : *« c'est l'institution qui décrète l'identité »* (Douglas, 1999, Chapitre 5). Le schéma (Illustration 147, p. 384) place les stands à la croisée d'institutions qui travaillent conjointement.

169 Le village des sciences est un lieu de rencontre et d'échange entre les chercheurs, ingénieurs, techniciens, enseignants et la population.

170 Quand cela et nécessaire, l'organisateur différencie avec discernement les publics présents souvent constitués en institutions : groupes scolaires, groupes familiaux, groupes d'amis, associations loi 1901.

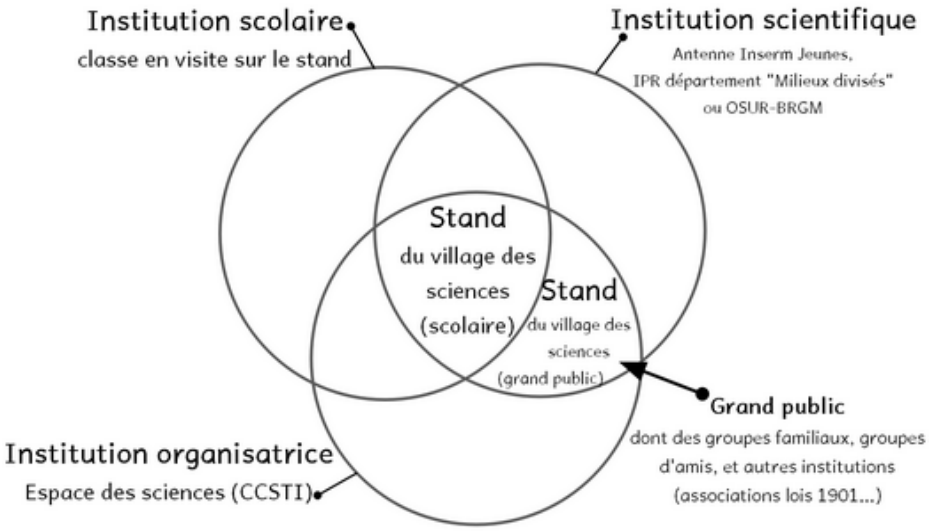


Illustration 147: Les institutions en jeu sur les stands

L'organisateur garant de la mise en œuvre du principe fondateur

Dans la mesure du possible, l'organisateur offre, aux scientifiques les moyens de donner à voir une part de leur pratique. Leur pratique réelle est nécessairement à reconstruire dans l'enceinte artificielle du « village ». Elle y est représentée par les scientifiques, médiateurs de leur propre pratique, et des artefacts créés pour donner à voir leur activité, voire certains résultats du laboratoire. L'organisateur donne les moyens au public d'organiser ses visites. Le programme apporte les premiers indices sur les contenus des stands et sur les institutions qui les proposent. Il est enrichi et articulé à de nombreuses autres ressources.

Des visiteurs aux stratégies diverses

Pour le public, la visite du village des sciences est fortuite ou anticipée, une habitude ou une nouveauté. Mais, qu'il soit scolaire ou pas, quand il s'invite aux transactions sur un stand, nous pensons qu'il est conscient de participer à ce que nous modélisons comme un jeu d'apprentissage. Il visite des stands stratégiquement ciblés ou il fait une visite systématique de tous les espaces. Le choix des adultes est ou bien guidé par l'intérêt et la curiosité ou bien dévolu aux enfants/élèves qu'il accompagne. Le public entre dans les transactions ou y met fin, cordialement mais à sa guise. Il réalise plusieurs visites du même stand, avec ou sans transaction. Les choix et les intérêts du public sont orientés par ce qu'il sait de l'événement et du contenu des stands : la lecture ou pas du programme diffusé les jours et semaines précédentes, et distribué à l'entrée du village ; la découverte du stand en direct ; le retour sur un stand déjà visité ; la préparation en classe avant la visite ; les échanges au sein d'une

famille ou d'un groupe d'amis ; une investigation personnelle sur un objet de savoir annoncé.

Tous les visiteurs ont un arrière-plan composé de leurs connaissances antérieures et de ce qu'ils savent de l'événement depuis plus ou moins longtemps. Ils ont un système d'attentes latent. Au moment où ils entrent en transaction sur un stand, les visiteurs activent un contrat didactique avec le médiateur et/ou un autre visiteur : ils entrent dans un jeu d'apprentissage.

L'institution scientifique didactise ses pratiques de savoir

Le porteur du projet de stand représente les scientifiques de son institution. Son jeu, dans la présentation du projet, est d'interpeller le public au moyen du programme, de créer ce sentiment de familiarité mêlé à la nécessité de savoirs à réinterroger. La description des stands, dans le programme, permet d'entamer des transactions avec un premier arrière-plan, plus ou moins virtuel, d'éléments de savoir commun.

Les pratiques de savoir des visiteurs ne coïncident généralement pas avec les pratiques scientifiques des connaisseurs qui les accueillent sur les stands. Elles sont à réinterroger. Parfois compatibles avec les savoirs scientifiques (témoignage de l'extraction d'une jambe des sables mouvants), elles sont intégrées à la construction de nouveaux savoirs. D'autres fois peu ou pas compatibles avec les pratiques scientifiques (personnage de Victor Hugo qui se noie dans les sables mouvants), elles sont identifiées, avec discernement, comme issues d'autres cultures de l'humanité (pratiques littéraires, par exemple). Le jeu de la cohabitation de praxéologies existantes et différentes permet l'engagement d'un dialogue, une autre base et un émergent de l'arrière-plan commun entre les scientifiques et le public. L'air de famille que le public voit entre l'objet des transactions et sa pratique quotidienne du monde nous paraît être un élément essentiel du contrat didactique initial.

Les stands présentent des objets réels et des modèles qui comportent un maximum d'analogies avec la réalité de la pratique de savoir en jeu. Les scientifiques organisent la familiarisation pratique des visiteurs avec des simulations. Les stands présentent aussi formellement, sur des posters ou avec des artefacts, des modèles scientifiques fortement symboliques. Les scientifiques médiateurs mettent en relations les éléments de savoir empiriques et leur généralisation symbolique, les phénomènes produits et observés, et les modèles.

Les scientifiques abordent les thématiques avec les connaissances du public et s'ajustent à leurs interlocuteurs. Ils construisent un arrière-plan à partir duquel ils créent un maillage,

meshwork (Ingold, 2011a) entre les pratiques antérieures des visiteurs, les éléments de savoir issus de la familiarisation pratique qu'ils mettent en œuvre, et des éléments de savoir qui relèvent de théories et de modèles scientifiques. La familiarisation pratique des visiteurs, l'ajustement à autrui et la mise en relation des objets et des événements de la vie quotidienne, avec les inscriptions symboliques et les modèles du monde scientifique sont des composantes de la didactisation des pratiques scientifiques par les scientifiques pour les visiteurs qui participent aux jeux d'apprentissage proposés.

Le stand vu comme l'environnement de l'action avec un ou des médiateur(s) et des visiteurs transactants

L'arrière-plan co-construit se cristallise sur le stand, dans l'environnement proposé, engageant ou pas pour les visiteurs. Cet environnement se transforme, ou pas, en *milieu* pour les visiteurs. En effet, tous les visiteurs[171] ne s'engagent pas dans les jeux d'apprentissage proposés par tous les stands. Un visiteur est, souvent, d'abord, spectateur de l'environnement où se joue l'action puis spectateur d'une transaction entre le médiateur et d'autres visiteurs (des enfants, par exemple). Il observe et déchiffre la sémiose du milieu par les transactants. De même il observe l'action conjointe entre le médiateur et un autre visiteur et déchiffre la sémiose de ces transactants. Le milieu commence à se révéler pour ce nouveau visiteur (encore spectateur) à travers les sémioses qu'il déchiffre. Ce visiteur décide alors de s'engager, ou pas, dans des transactions, d'entrer, ou pas, dans le jeu d'apprentissage du stand. La dialectique enjeu/contrat est intéressante à souligner. Ici, l'engagement est de courte durée.

Le schéma suivant (Illustration 148, p. 387) représente le point de vue d'un visiteur spectateur, observateur d'une transaction sur un stand (avant de s'y engager ou pas). À ce moment-là, la sémiose produite par le spectateur est un non-engagement dans la transaction. Nous ne l'avons pas représentée. Le visiteur spectateur peut percevoir les sémioses et éventuellement les déchiffrer, les analyser de l'extérieur et lire la situation. Selon le moment où le nouveau visiteur arrive, la transaction engagée sur le stand peut avoir déjà construit un arrière-plan d'éléments de savoir commun aux transactants.

171Nous ne parlons pas ici du public scolaire pour qui le jeu d'apprentissage est contractualisé.

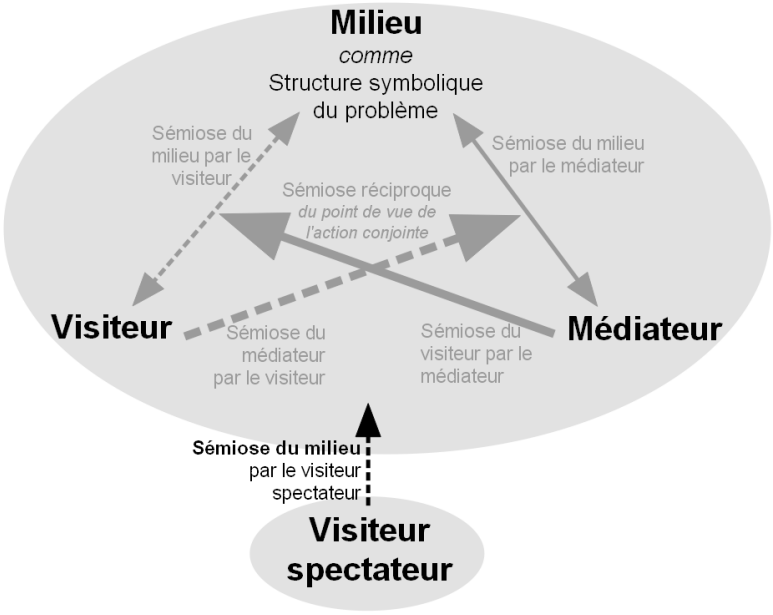


Illustration 148: Point de vue du visiteur sur le stand : un milieu élargi avec les transactions

La genèse du contrat didactique et son évolution relèvent des responsabilités partagées entre les trois institutions en jeu. Elle est accélérée si un jeu d'apprentissage est déjà en cours avec d'autres transactants sur le stand observé. Le contrat évolue ensuite pendant les transactions, au fil des relations opérées dans le milieu. Les médiateurs produisent et agencent le milieu dans leur style de pensée. Si le jeu est gagnant, les visiteurs transactants repartent avec un nouveau « voir-comme » des objets de savoir avec lesquels ils ont abordé le stand.

Chapitre 10 - Perspectives

Ce travail nous a permis d'apporter des éléments de réponse à nos questions. Nous les avons synthétisés ci-dessus. Il nous donne également des perspectives d'approfondissements, de fils à dénouer et de pistes à explorer.

Séances flash et effet loupe

Les séances de très courte durée et répétées sur une même journée ne sont pas représentatives des séances ordinaires de classe. Cependant, leur format permet de les parcourir et de les comparer plus rapidement que de longs enregistrements.

Les situations didactiques successives peuvent être traduites et représentées en mode analogique ou digital, comparées et articulées, sous la forme de : capsules vidéo complètes ; *vues synoptiques* variées (tableaux des épisodes, frises chronologiques, *tableaux du triplet*, *transcripts*, comparaisons de versions de discours) ; systèmes schématiques modélisant les descripteurs de l'action conjointe (topogenèse et transactions ; mésogenèse sur un contrat en arrière-plan ; chronogenèse comme succession et évolution des systèmes schématisés ; les *sémioses*) ; *plateaux de jeu* permettant de positionner les transactants ; photogrammes traités ou pas.

Il nous parait intéressant de poursuivre des travaux de recherche sur des situations d'apprentissage variées, pour affiner les outils méthodologiques développés, et les mettre à l'épreuve. Leur potentiel « heuristique » pourrait être testé dans l'analyse de situations d'apprentissage, pas seulement dans le cadre de l'enseignement des sciences. Certains outils sont plus adaptés à des situations didactiques présentant un *professeur* surnuméraire avec un ou plusieurs groupes (maîtres surnuméraires, AVS, ATSEM, etc.). Nous pensons que ces outils, associés à d'autres, pourraient aider au décryptage de situations didactiques non ordinaires ou complexes, pour identifier, par exemple, où se situent les ruptures de contrats didactiques. À terme, ces outils pourraient être mis à la disposition de la formation, dans les

masters recherche, en formation continue, en situation initiale (Master MEEF) pour donner à voir, décrire et améliorer la compréhension des situations didactiques.

Expérience des professeurs

Concernant l'acquisition de l'expérience des *professeurs*, nous avons observé des *régulations* (Coulet, 2010) qui semblent témoigner de l'évolution des *schèmes d'utilisation des ressources* pour les « chercheurs-médiateurs ». De nouvelles formes de savoir (implicites) à propos des ressources et des élèves semblent constituer, chez les médiateurs observés, un arrière-plan de savoirs en évolution. Nous possédons de nombreuses autres vidéos partiellement analysées qui montrent jusqu'à vingt-deux répétitions de la même « séance » de trois minutes dans la même journée. Leur analyse pourrait permettre d'observer plus finement comment l'expérience des *professeurs* (« chercheurs-médiateurs ») se construit dans un cadre comme celui-là, puis de comparer les résultats avec ceux d'analyses réalisées dans des situations de classe ordinaires.

Concilier les approches

Une partie de cet *arrière-plan*, quand il est partagé, est une composante du *contrat didactique*. Du point de vue théorique, il serait intéressant d'analyser les liens entre ces *formes de savoir* du point de vue de la TACD, et les *invariants opératoires* des schèmes d'utilisation des ressources, du point de vue de l'approche documentaire. De même, nous faisons l'hypothèse que des articulations sont possibles entre les *sémioses* (*double sémiose* et *sémiose du milieu*) et les processus d'*instrumentation* et d'*instrumentalisation*, de même qu'entre les ressources du professeur et des élèves (le matériel, mais aussi la proxémique, les sémioses et le temps) et la notion de *milieu didactique*. Les apports réciproques des deux approches devraient enrichir les analyses.

Lire et créer des images

Nous poursuivons notre réflexion sur les usages des photogrammes traités à la manière de vignettes de BD et plus largement à l'iconographie pour les travaux de recherche. Plusieurs pistes qui se croisent nous semblent ouvertes : l'image comme objet d'étude, avec son fonctionnement, ce qui la caractérise, ses codes, ses formes, qu'elle soit fixe ou animée ; la lecture de l'image qui repose sur son décodage et son interprétation ; et la création d'images

avec ses aspects techniques (traitements numériques ou autres) et l'expression de l'intention de son auteur.

Sur les pas des visiteurs

Nos données vidéos contiennent des éléments qui soulèvent de nouvelles questions. Le jour de l'ouverture du village des sciences pour le « grand public », nous avons filmé en continu, pendant cinq heures, la table d'exposition du stand « Le sable dans tous ses états ». Nous avons découvert que ce film nous permettait d'observer le public à l'approche du stand et sur le stand.

Qu'est-ce qui décide un visiteur à s'arrêter sur ce stand plutôt que sur un autre, d'y rester longtemps ou de le quitter rapidement ? L'entrée dans le jeu de l'atelier semble être montré de façon ostensible avec une entrée dans l'espace virtuel du stand (plateau de jeu), en touchant la table. Outre les éléments de proxémique qui informent le médiateur sur l'envie de jouer d'un visiteur, qu'est-ce qui motive ce mouvement ? Nous avons précédemment évoqué l'hypothèse d'un contrat antérieur et de l'adéquation du milieu (perçu dans l'environnement à l'approche du stand), comme conforme au système d'attentes du visiteur. Ce passage de « visiteur du village des sciences » à « transactant sur le stand » serait à étudier.

Pour notre étude, nous avons sélectionné dans notre corpus des moments de médiation avec un public stable. Nous avons ainsi identifié des séances de trois minutes (environ) avec les mêmes transactants. Pendant ces séances, nous avons observé une succession de phases du type : utilisation du modèle analogique de sable mouvant (MA) – utilisation du poster (P) – évocation du Mont-Saint-Michel (MSM) – évocation d'Indiana Jones (IJ). Ces séances sont celles qui correspondent à l'usage de ses ressources, par la médiatrice, dans le cas où elle engage une présentation des sables mouvants avec des transactants, sans que d'autres visiteurs ne s'insèrent dans le jeu. Or, nous observons des séquences de près de vingt minutes sur le même thème, sans pouvoir identifier de séance. Les phases sont répétées en boucles, dans un ordre plus ou moins similaire, mais avec une rotation du public qui ne correspond pas à la chronologie du jeu d'apprentissage anticipé par la médiatrice. Des visiteurs nouveaux s'intègrent au jeu des transactants, en cours de séance, et chacun en repart à son gré. Les parcours peuvent alors être IJ – MA – P – MSM ou n'importe quelle autre succession de phases. Certains transactants participent plusieurs fois à certaines phases, mais tous semblent entrer dans le jeu et en sortir au moment des articulations entre deux phases. Quelles sont les

conditions de ce ballet synchronisé du public ? Est-ce une auto-organisation ou un effet de la sémiose de la médiatrice ?

Le monde des modèles

Notre étude a balayé trois thématiques scientifiques. Nous avons abordé dans chacune d'elles la notion de *modèle* : modèle d'os et le schéma d'une articulation ; la maquette, modèle de la circulation des eaux souterraines ; le modèle analogique des sables mouvants. Le modèle parait essentiel pour produire des savoirs scientifiques et les communiquer. Un modèle, *transparent* (Adler, 2010) dans un *style de pensée* est opaque d'un autre point de vue. De même, la manipulation des grandeurs, et des instruments de mesure associés, fait partie des obstacles rencontrés par le public. Notre corpus contient de nombreux exemples de décrochages et de quiproquos qui relèvent de *voir-comme* différents entre le public et les chercheurs-médiateurs. L'explication est-elle seulement développementale (Piaget & Inhelder, 1967) ? La didactisation des sciences ne passe-t-elle pas par une attention particulière quand on veut accompagner les élèves, quel que soit leur âge, à faire des ponts d'un monde à l'autre, d'un langage à l'autre ?

De nombreuses questions sont soulevées, que nous espérons pouvoir étudier dans les années à venir.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achiam, M. (2014). Didactic transposition: From theoretical notion to research programme. In *European Science Education Research Association doctoral summer school*. Kappadokya, Turkey.

Adler, J. (2010). La conceptualisation des ressources. Apports pour la formation des professeurs de mathématiques. In G. Gueudet & L. Trouche (Éd.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques* (p. 23-39). Rennes: PUR, INRP.

A-Ha - Take On Me [Clip vidéo en Ligne]. (1985). Warner. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=djV11Xbc914

Alberti, L. B. (1868). *De la peinture [1436]*. (C. Popelin, Trad.). Consulté à l'adresse http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65009h

Allain, J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster*, (20), 43-60.

Ammi, M., Bideau, D., Hansen, A., Wu, X.-I., & Jergen Maloy, K. (1993). Un sablier... à deux temps. *Bulletin de la société française de physique*, (91), 7-9.

Amossy, R., & Herschberg Pierrot, A. (1997). *Stéréotypes et clichés. Langue discours société*. Paris: Nathan.

Ash, D. (2003). Dialogic inquiry in life science conversations of family groups in a museum. *Journal of Research in Science Teaching*, *40*(2), 138-162. https://doi.org/10.1002/tea.10069

Astolfi, J.-P. (2005). Problèmes scientifiques et pratiques de formation. In O. Maulini & C. Montandon (Éd.), *Les formes de l'éducation: variété et variations* (p. 81). Bruxelles: De Boeck.

Ayraud, V. (2005). *Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes* (Thèse de doctorat). Rennes 1, Rennes. Consulté à l'adresse https://caren.univ-rennes1.fr/doc/memoires/mem14/Virginie_Ayraud_these.pdf

Bachelard, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: PUF.

Bachelard, G. (1937). *L'Expérience de l'espace dans la physique contemporaine*. Paris: Alcan.

Bachelard, G. (2011). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris: J. Vrin.

Badin, A., Lacombe, P.-L., Luzeux, P., Richter, P., Lefebvre, V., & Leret, A. (2012, février 12). Est-il possible de se sortir des sables mouvants ? [Reportage]. *On n'est pas que des cobayes*. Mont-Saint-Michel: France5. Consulté à l'adresse https://youtu.be/BPSgicg46gI

Baillat, G., Espinoza, O., & Vincent, J. (2001). De la polyvalence formelle à la polyvalence

réelle : une enquête nationale sur les pratiques professionnelles des enseignants du premier degré. *Revue française de pédagogie*, *134*(1), 123-136. https://doi.org/10.3406/rfp.2001.2778

Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987). Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise. *Physical Review Letters*, *59*(4), 381-384. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.59.381

Barthez, P.-J. (1778). *Nouveaux éléments de la science de l'homme Tome premier.* Montpellier: Jean Martel aîné.

Bautier, É. (1995). Partenariat et apprentissages. In A. Gonnin-Bolo & D. Zay (Éd.), *Établissements et partenariats, Stratégies pour des projets communs*. Paris: INRP.

Bautier, É. (2003). Apprendre à parler, parler pour apprendre. Consulté 28 juillet 2016, à l'adresse http://www.snuipp.fr/Elisabeth-Bautier-Apprendre-a

Bautier, É., Gonnin-Bolo, A., & Zay, D. (2002). Partenariat. *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation* (2e éd.). Paris: Nathan.

Bell, P., Lewenstein, B., Shouse, A. W., & Feder, M. A. (2009). *Learning Science in Informal Environments: People, Places, and Pursuits*. Washington: Committee on Learning Science in Informal Environments. Consulté à l'adresse http://www.upf.edu/pcstacademy/_docs/InformalLearningReport.pdf

Berger J.-E. (2012). *Piero della Francesca [Conférence en ligne]* (Vol. 4). Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=x4jKJ2rHMDo

Bergson, H. (1888). *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Paris: Flammarion.

Besnier, S. (2016). *Le travail documentaire des professeurs à l'épreuve des ressources technologiques* (Thèse de doctorat). UBO, Rennes.

Bideau, D., Guyon, E., & Pullino, J. (2008). Le tas de sable. Du désordre qui rassemble. Consulté 12 septembre 2013, à l'adresse http://histoire-cnrs.revues.org/8272

Bisault, J. (2010). Des moments de sciences à l'école primaire : quelles références pour quels enjeux ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (2), 53-78. https://doi.org/10.4000/rdst.284

Blavoux, B., & Castany, G. (s. d.). Hydrogéologie. Consulté 8 mars 2015, à l'adresse http://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrogeologie/

Blocher, J.-N., Joffredo-Le Brun, S., Kerneis, J., & Magnen, M. (2013, janvier 9). Systèmes hybrides et annotation réciproque mise à disposition... mise en disposition [Colloques et conférences]. Consulté 13 février 2016, à l'adresse http://www.rechercheisidore.fr/search/resource/?uri=10670/1.xnndnn

Boilevin, J.-M. (2013a). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. In M. Grangeat (Éd.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation: des formations et des pratiques de classe* (p. 27-53). Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.

Boilevin, J.-M. (2013b). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles: De Boeck.

Bonn, D. (2005a). *Fluid avalanches: from hairgel to quicksand and landslides [Présentation]*. Présenté à Ecole d'été de physique. Consulté à l'adresse http://e2phy.in2p3.fr/2005/documents/apres_ecole/Presentations/Bonn_expose.pdf

Bonn, D. (2005b). *Les sables mouvants [conférence filmée]*. Consulté à l'adresse http://archives.diffusion.ens.fr/index.php?res=conf&idconf=983#

Bourdieu, P. (1987). *Choses dites*. Paris: Editions de Minuit.

BRGM. (1994). *Surveillance de la qualité des eaux souterraines, Mise en place de piézomètres de contrôle* (No. BRGM R 38182). Rennes. Consulté à l'adresse

http://rme.ac-rouen.fr/piezometre.pdf
BRGM. (s. d.-a). Qu'est-ce que la piézométrie ? Consulté 31 juillet 2016, à l'adresse http://sigesbre.brgm.fr/Qu-est-ce-que-la-piezometrie.html
BRGM. (s. d.-b). Qu'est-ce qu'un aquifère ? Consulté 3 août 2016, à l'adresse http://sigesbre.brgm.fr/Qu-est-ce-qu-un-aquifere.html
Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques, La pensée sauvage*, *7*(2).
Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.
Brovelli, O. (2013, octobre 11). A Betton, un village pour fêter la science. Consulté 6 juin 2015, à l'adresse http://metropole.rennes.fr/actualites/culture-sport-loisirs/culture/a-betton-un-village-pour-feter-la-science/
Byrne, J., Adams, A., & Giordano, D. (1987). Skeeter! [Comics]. *Action Comics Annual*, *1*(1). Consulté à l'adresse http://dc.wikia.com/wiki/Action_Comics_Annual_Vol_1_1
Callon, M. (1986). Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique*, (36), 169-208.
Calmettes, B. (Éd.). (2012). *Didactique des sciences et démarches d'investigation: Références, représentations, pratiques et formation*. Paris: L'Harmattan.
Calvez, M. (2006). L'analyse culturelle de Mary Douglas : une contribution à la sociologie des institutions. *SociologieS*. Consulté à l'adresse https://sociologies.revues.org/522
Calvez, M. (2010). Expertise interactionnelle, expérience locale et connaissance tacite : Le cas des signalements de clusters de cancers. In Y. Bérard & R. Crespin (Éd.), *Aux frontières de l'expertise. Dialogues entre savoirs et pouvoirs* (p. 115-129). Rennes: PUR. Consulté à l'adresse https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00524084/document
Cartwright, N. (1999). *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
Caumeil, J.-G., & Gardet, G. (2010). Analyse de pratique lors d'un accompagnement scientifique en classe primaire. Perspectives épistémologiques et formatives. In *Actes du congrès de l'AREF*. Genève.
Caumeil, J.-G., & Gardet, G. (2012). Coopération entre scientifiques et enseignants : libérer par la contrainte, un paradoxe constitutif de la discipline formelle. In *L'éducation scientifique et technologique émancipe-t-elle ?* Rennes.
Chang, K. (2005, octobre 4). The Truth About Quicksand Is Beginning to Sink In. *The New York Times*. Consulté à l'adresse http://www.nytimes.com/2005/10/04/science/04find.html
Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée sauvage.
Chopin, M.-P. (2008). Temps d'enseignement et temps didactique Approche didactique de la question du temps dans l'enseignement des mathématiques au cycle 3 de l'école élémentaire. *Carrefours de l'éducation*, (21), 53-71. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=CDLE_021_0053
Chorley, R. J., & Haggett, P. (Éd.). (1967). *Models in geography*. London: Methuen.
Claudin, P. (1999). La physique des tas de sable. Description phénoménologique de la propagation des contraintes dans les matériaux granulaires. *Annales de Physique*, *24*(2), 1-207. https://doi.org/10.1051/anphys:199902001
CNRS. (2005). *Daniel Bonn, physicien [film documentaire]*. Paris: CNRS. Consulté à l'adresse http://videotheque.cnrs.fr/doc=1741

Collectif. (s. d.). avalanche. *Le trésor de la langue française informatisé*. CNRTL. Consulté à l'adresse http://www.cnrtl.fr/definition/avalanche

Collins, H., & Evans, R. (2002). The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience. *Social Studies of Science*, *32*(2), 235-296. https://doi.org/10.1177/0306312702032002000

Collombat, I. (2009). Prolégomènes à la traduction de la métaphore en vulgarisation scientifique. In P. Dury, F. Maniez, N. Arlin, & C. Rougemont (Éd.), *La métaphore en langues de spécialité* (p. 117-141). Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Comité national d'évaluation. (1999). *La valorisation de la recherche*. Consulté à l'adresse https://www.cne-evaluation.fr/WCNE_pdf/Valorisation.pdf

Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, (26), 109-132.

Coulet, J.-C. (2010). Mobilisation et construction de l'expérience dans un modèle de la compétence. *Travail et apprentissages*, (6), 181-198.

Coussot, P. (2005). *La physique des pâtes [Conférence filmée]*. Canal-u. Consulté à l'adresse https://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/la_physique_des_pates.1452

Culioli, A. (1973). Sur quelques contradictions en linguistique. *Communications*, *20*(1), 83-91. https://doi.org/10.3406/comm.1973.1298

Curation de contenu. (2015, novembre 11). In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Curation_de_contenu&oldid=120394593

Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Paris: Victor Dalmont.

Deviterne, D., Prairat, E., Retornaz, A., & Schmitt, N. (1999). La polyvalence du maître à l'école primaire, archaïsme ou valeur d'actualité ? *Perspectives documentaires en éducation*, (46-47), 87-94. Consulté à l'adresse http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1544626

Devogel, P., & Lechapt (Éd.). (2015). *Le tertre de Brandefer (Plancoët, Côtes d'Armor), grandeur nature...* Rennes: EA 7316 Biodiversité et Gestion des Territoires, Université de Rennes 1. Consulté à l'adresse https://ecm.univ-rennes1.fr/nuxeo/site/esupversions/e7b77ed5-d1e7-4638-aac2-0dc598032ae4

Dewey, J. (1997). *How we think*. New York: Dover Publications.

Diderot, D. (1749). Lettres sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient. In *Oeuvres Philosophiques*. Paris: Garnier Frères.

Dillon, J. (2010). Researching science teaching and learning beyond the classroom. *Esera 2010*. Consulté à l'adresse http://www.fisica.uniud.it/URDF/Esera2010/Lecture4.pdf

Dillon, J., Rickinson, M., Teamey, K., Morris, M., Choi, M. Y., Sanders, D., & Benefield, P. (2006). The value of outdoor learning: evidence from research in the UK and elsewhere. *School Science Review, 87*(320), 107-112. Consulté à l'adresse http://www.outlab.ie/forums/documents/the_value_of_school_science_review_march_2006_87320_141.pdf

Dorfles, G., Pinotti, A., & Ragazzi, M. (1999). *Le arti. Per le Scuole superiori*. Bergamo: Atlas.

Douglas, M. (1986). *How institutions think*. Syracuse: Syracuse University Press.

Douglas, M. (1999). *Comment pensent les institutions*. Paris: La Découverte.

Ducrot, O., & Todorov, T. (1972). *Dictionnaire encyclopédique des sciences du langage.* Paris: Éditions du Seuil.

Dupont, E. (1940). *Les légendes du Mont Saint-Michel, historiettes et anecdotes sur l'abbaye et les prisons*. Paris: Etienne Dupont.

Duran, J. (1997). *Sable, poudres et grains, Introduction à la physique des matériaux granulaires*. Eyrolles. Consulté à l'adresse http://www.espci.fr/usr/jduran/deapl.pdf
Duran, J. (2003). *Sables émouvants : La physique du sable au quotidien*. Paris: Belin.
Duranteau, M. (2013). *Dynamique granulaire à l'approche de l'état critique* (Thèse de doctorat). Institut de Physique de Rennes - Rennes1, Rennes. Consulté à l'adresse http://www.ipr.univ-rennes1.fr/wordpress/?p=4756
E2PHY 2005 - La physique et ses implications : « du fondamental au quotidien ». (2005). Consulté 29 juin 2014, à l'adresse http://e2phy.in2p3.fr/2005/
Eidelman, J., & Jonchery, A. (2011). Sociologie de la démocratisation des musées. *Hermès, la revue*, *61*(3), 52-60.
Encyclopeadie Universalis. (2014, avril 30). In *Encyclopædia Universalis*. Consulté à l'adresse http://www.universalis.fr/encyclopedie/boues-thixotropiques/
Engber, D. (2010, août 23). Terra Infirma, the rise and fall of quicksand. *Slate*. Consulté à l'adresse http://www.slate.com/articles/health_and_science/science/2010/08/terra_infirma.html
ENS. (2008). *Rapport d'activité 2004-2008, LPS de l'ENS*. Paris.
Espace des sciences. (2012). *Rapport d'activité 2012*. Rennes. Consulté à l'adresse http://www.espace-sciences.org/sites/espace-sciences.org/files/documents/nous-connaitre/2013/Espace-des-sciences-Rapport-activite-2012-complet.pdf
Espace des sciences. (2013a). *Bilan 2012 - Lancement 2013. Festival des sciences*. Rennes: Espace des sciences.
Espace des sciences. (2013b). *Bruno Mougin*. Rennes: Village des sciences. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=6ZEjbCeFjqc
Espace des sciences. (2013c). *La circulation des eaux souterraines [vidéo en ligne]*. Rennes: Les Films de l'Autre Côté. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=UmsudGz1UKw&feature=youtube_gdata_player
Espace des sciences. (2014). *Bilan 2013 - Lancement 2014. Festival des sciences 8e édition*. Rennes: Espace des sciences.
Evans, R. (2008). The sociology of expertise: the distribution of social fluency. *Sociology Compass*, *2*(1), 281-298.
Falk, J. H., & Dierking, M. (2000). *Learning from museums: visitor experiences and the making of meaning*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press.
Fall, A., Weber, B., Pakpour, M., Lenoir, N., Shahidzadeh, N., Fiscina, J., … Bonn, D. (2014). Sliding Friction on Wet and Dry Sand. *Physical Review Letters*, *112*(17), 175502. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.175502
Fisher, T. (1959). *The Hound of the Baskervilles [Film d'horreur]*. Hammer Films.
Fleck, L. (1935). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. (N. Jas, Trad.) (première édition en allemand, en 1935). Paris: Les belles lettres.
Florin, A., Guimard, Le Dreff, G., & Walkestein, C. (2004). *Un maître et des intervenants multiples à l'école primaire: analyse psychologique des pratiques et des effets*. Rennes: Presses universitaires de Rennes.
Forest, D. (2006a). *Analyse proxémique d'interactions didactiques* (Thèse de doctorat en SHS). Rennes 2, Rennes. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/revue-carrefours-de-l-education-2006-1-page-73.htm
Forest, D. (2006b). Analyse proxémique d'interactions didactiques. *Carrefours de l'éducation*, *21*(1), 73. https://doi.org/10.3917/cdle.021.0073
Forest, D. (2008). Agencements didactiques : pour une analyse fonctionnelle du comportement non-verbal du professeur. *Revue française de pédagogie*, (165), 77-89.

Consulté à l'adresse http://rfp.revues.org/1108
Forest, D. (2012). L'attention conjointe dans le jeu didactique : une approche proxémique. In B. Gruson, D. Forest, & M. Loquet (Éd.), *Jeux de savoir Études de l'action conjointe en didactique* (p. 279-299). Rennes: PUR.
Gardet, G., & Caumeil, J.-G. (2009). Étude des conversations lors d'un accompagnement scientifique à l'école primaire. *Aster*, *49*, 137-156. Consulté à l'adresse http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/31132/ASTER2009_49_137.pdf?sequence=1
Garnier, P. (2003). *Faire la classe à plusieurs. Maîtres et partenariats à l'école élémentaire*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
Gibson, J. J. (1977). The Theory of Affordances. In R. Shaw & J. Bransford (Éd.), *Perceiving, acting, and knowing: toward an ecological psychology*. Hillsdale, N.J. : New York: Lawrence Erlbaum Associates ; distributed by the Halsted Press Division, Wiley.
Ginzburg, C. (1980). Signes, traces, pistes: Racines d'un paradigme de l'indice. *Le Débat*, *6*(6), 3. https://doi.org/10.3917/deba.006.0003
Ginzburg, C. (1981). *Indagini su Piero*. Turin: Einaudi. Consulté à l'adresse http://www.einaudi.it/libri/libro/carlo-ginzburg/indagini-su-piero/978880615982
Ginzburg, C. (2010, mai 11). Les contraintes invisibles. Consulté à l'adresse http://www.laviedesidees.fr/Les-contraintes-invisibles.html
Goujon, C. (2013). *Action des professeurs dans un travail conjoint entre un médiateur scientifique, une professeure des écoles et ses élèves de CE2. Sortie scolaire au Festival des sciences. Visite d'un stand Os et articulations* (Mémoire de Master). Rennes 2, Rennes.
Griffin, J. (2004). Research on students and museums: Looking more closely at the students in school groups. *Science Education*, *88*(Suppl. 1), 59-70. Consulté à l'adresse http://scdproxy.univ-brest.fr:2156/doi/10.1002/sce.20018/pdf
Groensteen, T. (2008). *La bande dessinée, mode d'emploi*. Bruxelles: Les Impressions Nouvelles.
Groupe ICOR. (2013). Convention ICOR. Consulté 28 septembre 2016, à l'adresse http://icar.univ-lyon2.fr/projets/corinte/documents/2013_Conv_ICOR_250313.pdf
Gruson, B., Forest, D., & Loquet, M. (Éd.). (2012). *Jeux de savoir Études de l'action conjointe en didactique*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. In G. Gueudet & L. Trouche (Éd.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques* (p. 57-74). PUR, INRP.
Guillas, N. (1996). *La science du journaliste* (Mémoire de maitrise). Rennes 2. Consulté à l'adresse http://www.espace-sciences.org/archives/science/12504.html
Guyon, E. (2005). « On ne se noie pas dans des sables mouvants ! ». *La Recherche*, (392), 11. Consulté à l'adresse http://www.larecherche.fr/actualite/matiere/etienne-guyon-on-ne-se-noie-pas-sables-mouvants-01-11-2005-82964
Guyon, E., & Troadec, J.-P. (1994). *Du sac de billes au tas de sable*. Paris: Odile Jacob.
Hacking, I. (1989). *Concevoir et expérimenter : thèmes introductifs à la philosophie des sciences expérimentales*. (B. Ducrest, Trad.). Paris: C. Bourgois.
Hall, E. T. (1971). *La dimension cachée [1966]*. (A. Petita, Trad.). Paris: Seuil.
Hornby, A. S. (2010). *Oxford advanced learner's dictionary of current English*. (J. Turnbull, Éd.). Oxford [England]: Oxford University Press.
Hugo, V. (1890). Les misérables Tome V. In *Wikisource, la bibliothèque libre*. Consulté à l'adresse http://fr.wikisource.org/wiki/Page:Hugo_-_Les_Mis

%C3%A9rables_Tome_V_%281890%29.djvu/223
Huth, J. (2005). *Brice de Nice*. TFM Distribution.
Indexation. (s. d.). [L'association des professionnels de l'information et de la documentation]. Consulté 13 février 2016, à l'adresse http://www.adbs.fr/indexation-1--17361.htm?RH=ACCUEIL
Ingold, T. (2011a). *Being Alive: Essays on Movement, Knowledge and Description*. London ; New York: Routledge.
Ingold, T. (2011b). *Une brève histoire des lignes [2007]*. (S. Renaut, Trad.). Bruxelles: Zones Sensibles Editions.
Ingold, T. (2013). *Marcher avec les dragons*. (P. Madelin, Trad.). Bruxelles: Zones Sensibles Editions.
Isabelle Nédélec-Trohel, Joffredo-Lebrun, S., & Magnen, M. (2012). Étude de pratiques inclusives en classe ordinaire : rôle et place de l'AVS vis-à-vis du professeur. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (57), 155-166.
Janssen, H. A. (1895). Versuche über Getreidedruck in Silozellen. *Zeitschr. d. Verein Deutcher Ingenieure*, *39*, 1045-1049.
Jonchery, A. (2010). Enfants et musées : l'influence du contexte familial dans la construction des rapports aux musées pendant l'enfance. In S. Octobre (Éd.), *Enfance & culture transmission, appropriation et représentation* (p. 59-81). Paris: Ministère de la culture et de la communication, Département des études, de la prospective et des statistiques : diff. la Documentation française.
Khaldoun, A., Eiser, E., Wegdam, G. H., & Bonn, D. (2005). Rheology: Liquefaction of quicksand under stress. *Nature*, *437*(7059), 635-635. https://doi.org/10.1038/437635a
Khaldoun, A., Wegdam, G. H., Eiser, E., & Bonn, D. (2006). Quicksand! *europhysicsnews*, *37*(4), 18-19. Consulté à l'adresse http://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/2006/04/epn06404.pdf
Kuhn, T. (1990). En repensant aux paradigmes. In T. Kuhn (Éd.), M. Biezunski (Trad.), *La Tension essentielle : Tradition et changement dans les sciences* (p. 391-423). Paris: Gallimard.
Labbé, C. (2010). Ike Antkare one of the great stars in the scientific firmament. *International Society for Scientometrics and Informetrics Newsletter*, *6*(2), 48-52. Consulté à l'adresse http://evaluation.hypotheses.org/files/2010/12/pdf_IkeAntkareISSI.pdf
Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
Latour, B. (1985). Visualisation and Cognition: Drawing Things Together. In H. Kuklick (Éd.), *Knowledge and Society Studies in the Sociology of Culture Past and Present* (Vol. 6, p. 1-40). Greenwich, Conn.: Jai Press.
Latour, B. (1991). *Nous n'avons jamais été modernes: essai d'anthropologie symétrique*. Paris: La Découverte.
Latour, B. (2014). Anti-zoom. In *Contact, catalogue de l'exposition d'Olafur Eliasson* (p. 121-124). Paris: Fondation Vuitton.
Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La Vie de laboratoire : la Production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
Le Bouil, A. (2014, décembre 1). *Étude expérimentale de la plasticité et des précurseurs à la rupture de milieux granulaires* (Thèse de doctorat). Rennes 1, Rennes. Consulté à l'adresse http://www.theses.fr/2014REN1S079
Le Deuff, O. (2006). Folksonomies. *Bulletin des bibliothèques de France [en ligne]*, (4), 66-70. Consulté à l'adresse http://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-2006-04-0066-002
Le Deuff, O. (2012). *Du tag au Like: la pratique des folksonomies pour améliorer ses*

méthodes d'organisation de l'information. Limoges: Fyp éditions.
Lean, D. (1962). *Lawrence d'Arabie [Film d'aventure]*. Columbia Pictures Corporation.
Lebeaume, J. (2011). L'investigation pour l'enseignement des sciences : actualité des enjeux. In M. Grangeat (Éd.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 19-34). Lyon: ENS.
Lefeuvre, L. (2012). Travail épistémique du professeur et transposition des savoirs. In B. Gruson, D. Forest, & M. Loquet (Éd.), *Jeux de savoir: études de l'action conjointe en didactique* (p. 335-352). Rennes: Presses universitaires de Rennes.
Lefeuvre, L., Maisonneuve, L., & Sensevy, G. (2016). Écrire pour lire, lire pour écrire au CE1 : l'exemple d'un travail sur « Le loup et l'agneau ». *Repères*, (52), 143-158. https://doi.org/10.4000/reperes.962
Legrand, A., & Archimède. (1891). Le traité des corps flottants d'Archimède. Traduction nouvelle. *Journal de Physique Théorique et Appliquée*, *10*(1), 437-457. https://doi.org/10.1051/jphystap:0189100100043700
Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique, l'enseignement de la mécanique*. Paris: Hachette.
Lemke, J. L. (1998). Teaching All the Languages of science: Words, Symbols, Images, and Actions. Présenté à Conference on Science Education, Barcelone. Consulté à l'adresse http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm
Lemke, J. L. (2004). The Literacies of Science. In W. Saul (Éd.), *Crossing borders in literacy and science instruction: perspectives on theory and practice* (p. 33-47). Newark, DE : Arlington, Va: International Reading Association and Arlington, NSTA Press. Consulté à l'adresse http://www.jaylemke.com/storage/Literacies-of-science-2004.pdf
Lopen over water - maizena [vidéo en ligne]. (2008). Consulté à l'adresse http://www.youtube.com/watch?v=wc1dnQqaypI&feature=youtube_gdata_player
Lycée Bertrand d'Argentré VITRE. (s. d.). Consulté 20 juillet 2016, à l'adresse http://www.lyceebertrandargentrevitre.ac-rennes.fr/spip.php?article122
Martin, M.-A. (2001). Onze millions de francs pour SILURES. *Sciences Ouest, l'actualité scientifique en Bretagne*, (177). Consulté à l'adresse http://www.espace-sciences.org/archives/science/11537.html
Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
Matheron, Y., & Salin, M.-H. (2002). Les pratiques ostensives comme travail de construction d'une mémoire officielle de la classe dans l'action enseignante. *Revue française de pédagogie*, (141), 57-66.
Maupassant (de), G. (1882). La Légende du Mont Saint-Michel. In *Gil Blas*. Kindle.
Méjean, C. (2011). *Vulgarisation scientifique - Expériences sur les granulaires* (Rapport de Licence 3 physique). Rennes: Université de Rennes 1.
Merleau-Ponty, M. (1962). *Éloge de la philosophie: et autres essais*. Paris: Gallimard.
Ministère de l'Éducation Nationale. (1991). *Les cycles à l'école primaire*. Paris: CNDP-Hachette.
Ministère de l'Éducation Nationale. Participation d'intervenants extérieurs aux activités d'enseignement dans les écoles maternelles et élémentaires, Circulaire n°92-196 (1992).
Ministère de l'Éducation Nationale. Organisation des sorties scolaires dans les écoles maternelles et élémentaires publiques, Circulaire n°99-136 (1999).
Ministère de l'Éducation Nationale. Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école (2000). Consulté à l'adresse

http://www.education.gouv.fr/bo/2000/23/ensel.htm
Ministère de l'Éducation Nationale. (2002). Document d'application des programmes, Sciences et technologie (cycle 3). Sceren.
Ministère de l'Éducation Nationale. (2005). Loi d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école. Consulté 2 octobre 2016, à l'adresse http://www.education.gouv.fr/bo/2005/18/MENX0400282L.htm
Ministère de l'Éducation Nationale. Le socle commun de connaissances et compétences (2006). Consulté à l'adresse http://www.education.gouv.fr/bo/2006/29/MENE0601554D.htm
Ministère de l'Éducation Nationale. (2008). Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire. *B.O. HS n°3*.
Ministère de l'Éducation Nationale. Accompagnement en sciences et technologie - Présentation du dispositif et modalités de mise en oeuvre, BO n°24 du 17 juin 2010 (2010). Consulté à l'adresse http://www.education.gouv.fr/cid52100/mene1000474c.html
Ministère de l'Éducation Nationale. (2013). 10 repères pour la mise en oeuvre du dispositif « plus de maîtres que de classes ». Consulté 2 octobre 2016, à l'adresse http://cache.media.eduscol.education.fr/file/ecole/19/0/Dispositif_plus_de_maitres_reperes_de_mise_en_oeuvre_VE_260190.pdf
Modèle de Janssen. (2015, juin 20). In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mod%C3%A8le_de_Janssen&oldid=116144692
Morales Ibarra, G. S. Z. (2014, septembre 26). *L'enseignement et l'apprentissage de la représentation. Une étude de cas en maternelle : le jeu des trésors* (Thèse de doctorat). UBO, Rennes. Consulté à l'adresse http://www.theses.fr/s49437
Mortensen, M. F. (2010). Museographic Transposition: The Development of a Museum Exhibit on Animal Adaptations to Darkness. *Éducation et Didactique*, *4*(1), 115-138. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.763
Mortensen, M. F., & Smart, K. (2007). Free-choice worksheets increase students' exposure to curriculum during museum visits. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(9), 1389-1414. Consulté à l'adresse http://adsabs.harvard.edu/abs/2007JRScT..44.1389M
Mouvement (mécanique). (2015, mars 30). *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Consulté à l'adresse http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mouvement_(m%C3%A9canique)&oldid=113396482
Nédélec-Trohel, I., & Toullec-Théry, M. (2010). Interactions entre un professeur, un AVS et un élève handicapé en classe pour l'inclusion scolaire (CLIS). *Carrefours de l'éducation*, *n° 29*(1), 161-180. https://doi.org/10.3917/cdle.029.0161
Nicot, F., & Charbonnel, O. (2005). Peut-on être englouti par des sables mouvants ? *Science & vie junior*, (195), 60-62.
Nonnon, P. (1998). Intégration du réel et du virtuel en science expérimentale. In *8èmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques* (p. 133-137). Montpellier. Consulté à l'adresse http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Jipsp8/Pdf/Nonnon2.pdf
Nonnon, P., & Laurencelle, L. (1984). L'appariteur robot et la pédagogie des disciplines expérimentales. *SPECTRE, Association des professeurs de sciences du Quebec*, 34-36.
Oddone, I., Re, A., & Briante, G. (2008). *Esperienza operaia, coscienza di classe e psicologia del lavoro*. Torino: OTTO. Consulté à l'adresse http://www.mirafiori-accordielotte.org/wp-content/uploads/2012/05/Oddone_Esperienza_Operaia1.pdf

Ostéoporose. (s. d.). Consulté 18 juillet 2016, à l'adresse http://www.inserm.fr/thematiques/physiopathologie-metabolisme-nutrition/dossiers-d-information/osteoporose

Perrault, C. (1697). Le Petit Poucet. In *Histoires ou contes du temps passé, avec des moralités Les Contes de ma mère l'Oye* (1re éd.). Paris: Claude Barbin.

Philippot, T., & Baillat, G. (2011). Du « maître idéal » au maître ordinaire. *Éducation et didactique*, *5*(3), 117-134. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1145

Piaget, J., & Inhelder, B. (1967). *La psychologie de l'enfant*. Paris: PUF.

Piero della Francesca. (1460). *Flagellazione* [Tempera sur bois].

Planque, F. (1761). *Bibliothèque choisie de médecine, tirée des ouvrages périodiques tant français qu'étrangers* (Vol. 18). Paris: d'Houry. Consulté à l'adresse http://books.google.fr/books?id=_WUjAAAAcAAJ&pg=PA297&lpg=PA297&dq=%22Vert%C3%A8bres+de+poisson%22+m%C3%A9decine&source=bl&ots=AlqekSdz4d&sig=w4MPgQ1mXcIEcFWE3MkHtJ3QMt0&hl=fr&sa=X&ei=S3UHUYli7tjRBbSKgJAM&ved=0CEkQ6AEwBQ#v=onepage&q=%22Vert%C3%A8bres%20de%20poisson%22%20m%C3%A9decine&f=false

Pozzer-Ardenghi, L., & Roth, W.-M. (2007). On performing concepts during science lectures. *Science Education*, *91*(1), 96-114. https://doi.org/10.1002/sce.20172

Pugh, K. J., & Bergin, D. A. (2005). The Effect of Schooling on Students' Out-of-School Experience. *Educational researcher*, *34*(9), 15-23.

Quilio, S. (2013). Des vidéos d'un fonds documentaire pour l'étude de l'action du professeur dans une ingénierie didactique en mathématiques. In A. Tiberghien & L. Veillard (Éd.), *ViSA : Instrumentation de la recherche en éducation*. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.

Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2005). Instruments et systèmes d'instruments. In P. Pastré & P. Rabardel (Éd.), *Modèles du sujet pour la conception: dialectiques, activités, développement* (p. 211-229). Toulouse: Octarès.

Rajchenbach, J. (2002). Development of Grain Avalanches. *Physical Review Letters*, *89*(7), 74301. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.074301

Rey-Debove, J., & Rey, A. (2013). Préface. In *Le nouveau Petit Robert: dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Paris: Le Robert.

Reynolds, O. (1885). On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. With experimental illustrations. *Philosophical magazine*, (127), 469-481.

Reynolds, O. (1886, février). *Experiments showing Dilatancy, a property of Granular Material, possibly connected with Gravitation*. Discours présenté à Friday evening discourses in physical sciences held at the Royal Institution, London.

Ribot, C. (2000). Hormones thyroïdiennes et tissu osseux. *Médecine thérapeutique / Endocrinologie*, *2*(5), 451-7. Consulté à l'adresse http://www.jle.com/fr/revues/mte/e-docs/hormones_thyroidiennes_et_tissu_osseux_190200/article.phtml?tab=texte

Rivier, N. (2013). Dilatance des matériaux granulaires sous cisaillement : vers un empilement plus compact ? In *Résumés des exposés de la 16e Rencontre du Non-Linéaire* (p. 43). Paris. Consulté à l'adresse http://nonlineaire.univ-lille1.fr/SNL/media/2013/resumes/ResumesRNL2013sel.pdf

Robert, P. (2013). *Le nouveau Petit Robert: dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Paris: Le Robert.

Roesslé, S. (2009). *Construction de dispositions didactiques chez le jeune enfant : des pratiques éducatives familiales - bébés nageurs et jeu à la maison - vers l'entrée dans les apprentissages scolaires à l'école maternelle* (Thèse de doctorat). Rennes 2. Consulté à l'adresse https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/472545/filename/theseRoessle.pdf

Sable mouvant. (2014, avril 2). In *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Consulté à l'adresse http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Sable_mouvant&oldid=98337021

Sanchez, E. (2010). Orquestación documentacional : herramienta para la estructuración y el análisis del trabajo documentacional colectivo en línea. *Recherche en didactique des mathématiques*, *30*(3).

Santini, J. (2010). Les systèmes sémiotiques dans l'action conjointe en didactique. Une étude de cas en géologie à l'école élémentaire : la coupe d'un appareil volcanique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, *2*, 159-191.

Santini, J. (2012). Densité, spécificité et distance dans la dialectique jeu d'apprentissage – jeu épistémique et efficacité des pratiques professorales. Une étude de cas en géologie à l'école primaire. In B. Gruson, D. Forest, & M. Loquet (Éd.), *Jeux de savoir : l'action conjointe en didactique.,* (p. 19-45). Rennes: Presses universitaires de Rennes.

Santini, J. (2013). Une étude du système de jeux de savoirs dans la théorie de l'action conjointe en didactique. Le cas de l'usage des modèles concrets en géologie au Cours Moyen. *Éducation et didactique*, *7*(2), 69-94. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1765

Santini, J., & Sensevy, G. (2012). Apprendre et enseigner : une action conjointe. *Les Cahiers pédagogiques*, (500), 100-102.

Schafer, V. (2014). Renouveau de la science et science du renouveau à l'heure du numérique. In *Information et communication scientifiques à l'heure du numérique - Sous la direction de Valérie Schafer.* CNRS Editions. Consulté à l'adresse http://www.cnrseditions.fr/Communication/6884-information-et-communication-scientifique-a-l-heure-du-numerique-sous-la-direction-de-valerie-schafer.html

Schubauer-Leoni, M. L., & Leutenegger, F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/ expérimentale du didactique ordinaire. In M. Saada-Robert & F. Leutenegger (Éd.), *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation* (p. 227-251). De Boeck Supérieur.

Sensevy, G. (2011a). Comprendre l'action didactique : méthode et jeux d'échelle (chapitre 6 en ligne). In G. Sensevy (Éd.), *Le sens du savoir* (De Boeck, p. 217-267 en ligne). Bruxelles. Consulté à l'adresse http://python.espe-bretagne.fr/sensevy/sensdusavoir/LeSensDuSavoirChap6.pdf

Sensevy, G. (2011b). Intentions professorales et construction du jeu (chapitre 5 en ligne). In G. Sensevy (Éd.), *Le sens du savoir.* De Boeck. Consulté à l'adresse http://python.bretagne.iufm.fr/sensevy/sensdusavoir/LeSensDuSavoirChap5.pdf

Sensevy, G. (2011c). *Le Sens du Savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique.* Bruxelles: De Boeck.

Sensevy, G. (2012a). Le jeu comme modèle de l'activité humaine et comme modèle en théorie de l'action conjointe en didactique. Quelques remarques. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, *7*(2), 105-132. https://doi.org/10.7202/1013056ar

Sensevy, G. (2012b). Postface : pourquoi le jeu ? Le jeu comme modèle. Quelques remarques. In B. Gruson, D. Forest, & M. Loquet (Éd.), *Jeux de savoir Études de l'action conjointe en didactique* (p. 363-369). Rennes: PUR.

Sensevy, G. (2013). Filmer la pratique : un point de vue de la théorie de l'action conjointe en

didactique. In A. Tiberghien & L. Veillard (Éd.), *ViSA : Instrumentation de la recherche en éducation*. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
Sensevy, G. (2015). Apprendre : faire apprendre. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (192), 109-120. Consulté à l'adresse http://rfp.revues.org/4846
Sensevy, G., & Mercier, A. (Éd.). (2007). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes: PUR.
Sensevy, G., & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, (43), 163-188.
Simonneaux, L. (2010). Introduction des questions scientifiques socialement vives dans l'enseignement agricole français : implication des recherches en didactique dans la formation des enseignants. In A. Hasni & J. Lebeaume (Éd.), *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique* (p. 81-123). Ottawa: Presse de l'université d'Ottawa.
Smith, E. R. (1946a). Sand. In *Proceedings of the Indiana Academy of Science* (Vol. 55, p. 121–143). Consulté à l'adresse http://journals.iupui.edu/index.php/ias/article/viewFile/5242/5146
Smith, E. R. (1946b). The Lifting Effect of Quicksand. *The Ohio Journal of Science*, *46*(6), 327-328. Consulté à l'adresse http://hdl.handle.net/1811/3571
Spielberg, S. (2008). *Indiana Jones et le royaume du crâne de cristal [Film d'action]*. Paramount Pictures.
Spradley, J. P. (1980). *Participant Observation* (1st edition). New York: Holt, Rinehart and Winston.
Strubberg, J. (2014). Le mystère de la construction des pyramides d'Egypte enfin percé ? [Reportage]. *Newsy*. Consulté à l'adresse http://www.maxisciences.com/pyramide/le-mystere-de-la-construction-des-pyramides-d-039-egypte-enfin-perce_art32521.html
Tapisserie de Bayeux, dite de la Reine Mathilde. (1070). [Broderie, 0.50 m x 68.30 m], Bayeux, France : Musée de la Tapisserie de Bayeux.
Ternay, J.-F. (2003). *Sables mouvants [Vidéo en ligne]*. Paris: Canal-u. Consulté à l'adresse http://www.canal-u.tv/video/science_en_cours/sables_mouvants.100
The Mystery Of Quicksand. (1910, novembre 19). *Oamaru Mail*, p. 3. New Zealand. Consulté à l'adresse http://paperspast.natlib.govt.nz/cgi-bin/paperspast?a=d&d=OAM19101119.2.53.17&zto=1
Thixotrope. (2013). *Le Petit Robert* (p. 2552). Paris: Le Robert.
Thomazet, S., & Merini, C. (2015). L'école inclusive comme objet frontière. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, *2*(70-71), 137-148. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=NRAS_070_0137
Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Education et didactiques*, *1*(1).
Tiberghien, A., & Veillard, L. (2013a). Le cas de ViSA dans l'instrumentation en sciences humaines et sociales. In *ViSA : Instrumentation de la recherche en éducation*. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
Tiberghien, A., & Veillard, L. (Éd.). (2013b). *ViSA : Instrumentation de la recherche en éducation*. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
Tiberghien, A., & Vince, J. (2005). Etude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, *10*, 153-176. Consulté à l'adresse https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00376702
Tissot, S. (2014). Entre soi et les autres. *Actes de la recherche en sciences sociales*, *204*(4), 4-9. https://doi.org/10.3917/arss.204.0004

Toullec-Théry, M., & Marlot, C. (2016, août 30). Premiers éléments d'analyse de deux dispositifs contrastés « plus de maîtres que de classes ». Consulté 4 octobre 2016, à l'adresse http://centre-alain-savary.ens-lyon.fr/CAS/nouvelles-professionnalites/maitres-surnumeraires/premiers-elements-d2019analyse-de-deux-dispositifs-contrastes-ab-plus-de-maitres-que-de-classes-bb

Tricot, A., & Comtat, P. (2012). La recherche d'information comme dialogue. *Les Cahiers du numérique*, *8*(1), 15-38. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=LCN_081_0015

Triquet, E. (2005). *Note de synthèse, volume 1* (Habilitation à diriger des recherches). Université de Bourgogne, Dijon.

Trouche, L. (2005). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en didactique des mathématiques*, *25*(1), 91-138.

UNESCO : passé et présent. (2010). Consulté 28 juin 2016, à l'adresse http://www.unesco.org/archives/new2010/fr/histoire_unesco.html

Unisciel. (2015, juin 10). Comment sortir d'un sable mouvant ? [EAP]. Consulté 2 mai 2016, à l'adresse http://cursus.edu/institutions-formations-ressources/formation/25663/comment-sortir-sable-mouvant/

Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*, (180), 95-120. https://doi.org/10.4000/rfp.3810

Vergnaud, G. (2001). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, *33*, 107-123.

Vergnaud-Ayraud, V., & Devogel, P. (2015). Sous le tertre il y a la roche. In P. Devogel & Lechapt (Éd.), *Le tertre de Brandefer (Plancoët, Côtes d'Armor), grandeur nature* (p. 2-3). Rennes: EA 7316 Biodiversité et Gestion des Territoires, Université de Rennes 1. Consulté à l'adresse https://ecm.univ-rennes1.fr/nuxeo/site/esupversions/e7b77ed5-d1e7-4638-aac2-0dc598032ae4

Voldman, D. (1992). Définitions et usages. *Les cahiers de l'Institut d'histoire du temps présent*, *La bouche de la Vérité ? La recherche historique et les sources orales*(21). Consulté à l'adresse http://www.ihtp.cnrs.fr/spip.php%3Farticle211.html

Voragine, J. de. (1999). *La Légende dorée [1261-1266]* (Vol. 1–2). Paris: Editions Flammarion.

Vygotski, L.-S. (1934). *Pensée et langage*. (L. Sève & Y. Clot, Éd., F. Sève, Trad.) (4e édition). Paris: La Dispute.

Walking on water explained [vidéo en ligne]. (2008). Consulté à l'adresse http://www.youtube.com/watch?v=XBy48_U-OXw&feature=youtube_gdata_player

Weil-Barais, A. (1997). De la recherche sur la modélisation physique à la formation des professeurs de physique: comment s'opère la transition, préambule. *Sholê*, (7), 141-155.

Wittgenstein, L. (2004). *Recherches philosophiques*. (F. Dastur & E. Rigal, Trad.). Paris: Gallimard.

ABRÉVIATIONS UTILISÉES

A – B – C – D – E – F – G – H – I – J – K – L – M – N – O – P – Q – R – S – T – U – U – W – X – Y – Z

Pour une raison de lisibilité, nous avons listé ensemble, par ordre alphabétique, toutes les abréviations, les abréviations institutionnelles ou partagées (en caractère normal) et *les abréviations de l'auteure* (en caractère italique).

A

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ASTEP : Accompagnement en Science et Technologie à l'École Primaire

ATSEM : Agents Territoriaux Spécialisés des Écoles Maternelles

AVS : Auxiliaires de Vie Scolaire

B

BD : Bande dessinée

BRGM : Bureau de Recherche Géologique Minière

BTS : Brevet de Technicien Supérieur

C

CAREN : Centre Armoricain de Recherches sur l'ENvironnement

CCSTI : Centre Culturel Scientifique, Technique et Industriel

CE1 : Cours Élémentaire 1e année

CE2 : Cours Élémentaire 2e année

CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

CFC : chlorofluorocarbone (composé chimique tracé et analysé pour dater l'eau)

CIES : Centres d'Initiation à l'Enseignement Supérieur

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CNTRL : Centre national de Ressources Textuelles et Lexicales

CNU : Conseil national des universités

CP : Cours Préparatoire

CSL : Citation Style Language

D

DAAC : Délégation Académique aux Arts et à la Culture

DGESCO : Direction Générale de l'Enseignement SCOlaire

DGRST : Délégation générale à la recherche scientifique et technique

D : Dilatance (thème de dispositifs exposés)

Dir. γ : Directeur de thèse géologue

Dir. φ : Directeur de thèse physicien

DRRT : Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie

E

E, Es : Élève, Élèves

EC : Enseignant chercheur

EDS : Espace Des Sciences

ENS : École Normale Supérieure

ENT : Environnement Numérique de travail

EXAO : EXpérimentation Assistée par Ordinateur

F

F : Redirection des forces (thème de dispositifs exposés)

FDS : Fête De la Science

FIAT : Fabbrica Italiana Automobili Torino

G

GDR : Groupement de recherche

GREM : Groupe de recherche sur l'éducation et les musées

H

HAL : Hyper Articles en Ligne

HD : Haute Définition

I

IEN : Inspecteur de l'Éducation Nationale

INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale

IPR : Institut de Physique de Rennes

J

JA : Jeu d'apprentissage

K

L

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LiDAR : Light Detection And Ranging

LPS : Laboratoire de Physique Statistique (ENS Paris)

M

M1, M2, M3 : Maquette 1, Maquette 2, Maquette 3 (dispositifs exposés)

MED : Médiateur, médiatrice

Miam : Milieux aléatoires macroscopiques

MPLS : Maison pour la science au service des professeurs

N

O

OSUR : Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes

P

PC : *Personal Computer*, ordinateur personnel

PE : Professeur des Écoles

PEMF : Professeur des Écoles Maître Formateur

PRESTE : Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l 'école

Q

R

R : Rides de sable (thème d'un dispositif exposé)

S

S : Ségrégation granulaire (thème de dispositifs exposés)

SF6 : hexafluorure de soufre (composé chimique tracé et analysé pour dater l'eau)

SIGES Bretagne : Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines en Bretagne

SILURES : Système d'information pour la localisation et l'utilisation des ressources en eau souterraine

SM : Sable Mouvant (thème d'un dispositif exposé)

ST : Stagiaire

SHTIS : Systèmes Hybrides Textes-Images-Son

T

TACD : Théorie de l'Action Conjointe en Didactique

tc : time code

tdp : tour de parole

U

UFR : Unité de Formation et de Recherche

UMR : Unité Mixte de Recherche

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UniScieL : Université des sciences en ligne

V

V : Effets de voûte (thème de dispositifs exposés)

VDS : Village Des Sciences

W

X

Y

Z

ZPD : Zone proximale de Développement

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Illustrations

Illustration 1: Extrait d'un article paru dans la rubrique d'actualité culturelle du site de Rennes Métropole (Brovelli, 2013)..... 15
Illustration 2: Contexte partenarial du Village des sciences sur un territoire, et autres dispositifs apparentés..... 18
Illustration 3: Transaction préparatoire entre les institutions scientifiques et l'institution organisatrice (M – 8 à M – 3)..... 20
Illustration 4: Transaction préparatoire entre l'institution organisatrice et les institutions scolaires (M – 3 à M – 1)..... 21
Illustration 5: Transaction préparatoire entre l'institution organisatrice et les institutions scientifiques (J – 15 à J)..... 22
Illustration 6: Première orientation du regard du chercheur..... 26
Illustration 7: Orientation « Diffuser une culture scientifique dans un musée »..... 26
Illustration 8: Orientation « Enseignement des sciences à l'école »..... 30
Illustration 9: Orientation « Faire des sciences dans un laboratoire »..... 34
Illustration 10: Panorama de nos principales références dans le paysage de nos terrains d'enquête..36
Illustration 11: Un modèle de la transaction didactique..... 41
Illustration 12: La transaction sur l'arrière-plan commun..... 42
Illustration 13: Représentation schématique de la genèse d'un document (Gueudet & Trouche, 2010, p. 59)..... 45
Illustration 14: synchronisation de l'extrait vidéo et de l'extrait de transcription, dans Transana.....55
Illustration 15: Découpage de la transcription dans Transana..... 56
Illustration 16: Stand 15- Os et articulations, extrait du programme du village des sciences 2012.....60
Illustration 17: Matériel de captation sur le stand « Os et articulations »..... 66
Illustration 18: Matériel de captation initial, sur le stand « Le sable dans tous ses états »..... 68
Illustration 19: Matériel de captation sur le stand « L'eau du robinet… » entre les maquettes M1 et M2 70
Illustration 20: Homme qui marche (Marey, 1891)..... 72
Illustration 21: Gestuelle du bras (p. 141)..... 72
Illustration 22: La flagellation, gestes et regards..... 74
Illustration 23: Tempera sur bois, La flagellation, Piero della Francesca (1460)..... 76
Illustration 24: Reconstitution du plan de la scène peinte..... 76
Illustration 25: Tressage de deux images de sauvetages dans des sables mouvants..... 80
Illustration 26: Explications devant les posters..... 81
Illustration 27: Comparaison entre portrait de Jean VIII Paléologue dessiné par Pisanello et les traits et coiffure du Ponce Pilate de Piero della Francesca (Berger J.-E., 2012, 01 :32 :08)..... 85
Illustration 28: Dispositifs expérimentaux (1946) et de démonstration (2005, 2011 et 2013) de l'enlisement dans un sable mouvant..... 86
Illustration 29: Dispositif du stand pour montrer le phénomène décrit par Janssen..... 87
Illustration 30: Fig. 1, Janssen (1895)..... 87
Illustration 31: Planche X, fig. 1 et fig. 2 d'un article de Reynolds (1885)..... 88
Illustration 32: Modèle explicatif exposé sur le stand..... 88
Illustration 33: Annonce du stand « Os et articulations » dans le programme scolaire du village des

sciences 2012.....95
Illustration 34: Dessins réalisés pendant la séance d'APS – un dessin avec le corps « raide », et un dessin avec des parties pliées, demandés -.....98
Illustration 35: Os et articulations.....99
Illustration 36: Les grands groupes d'os.....99
Illustration 37: Écrit produit à partir de la lecture des radiographies et des recherches documentaires associées.....100
Illustration 38: Deux types d'articulations (pivot et charnière).....100
Illustration 39: Radiographies exposées, numérotées et observées en classe.....100
Illustration 40: Résumé collé dans le classeur des élèves.....101
Illustration 41: Pantin glissé dans une pochette en plastique de classeur.....101
Illustration 42: Programme (annoté pour notre étude) de la classe d'Émilie, village des sciences 2012 102
Illustration 43: Affiche où l'on parle des os et des articulations.....103
Illustration 44: Extraits du carnet de croquis d'élèves.....104
Illustration 45: Premier texte de Damien, avec intervention de la PE (flèche dans le texte et axe du temps).....105
Illustration 46: Premier texte de Maëlle, avec l'illustration de la ronde et des planètes.....106
Illustration 47: Stand « Os et articulations » de l'Antenne Inserm-Jeunes de Bretagne.....109
Illustration 48: Affichage sur le stand « os et articulations ».....109
Illustration 49: L'atèle de la stagiaire, une ressource nouvelle pour le médiateur.....111
Illustration 50: Matériel à portée de main des élèves.....111
Illustration 51: Nombre total d'épisodes en fonction des initiateurs.....114
Illustration 52: Durée totale des épisodes en fonction des initiateurs.....114
Illustration 53: Représentation du crâne du modèle de squelette (extraits de carnets de croquis).....116
Illustration 54: Le « gel bleu » dans le carnet de croquis de Ronan.....117
Illustration 55: Passation des consignes pendant la pause.....121
Illustration 56: Sollicitation individuelle avec l'aide des voisins.....122
Illustration 57: Sollicitation personnelle.....122
Illustration 58: traduction de la consigne en acte, l'élève légende son dessin (montage).....122
Illustration 59: Le groupe classe en dehors de l'école, et dans l'école (extraits du cahier de Damien) 125
Illustration 60: Vertèbres réparées avec une arthrodèse.....131
Illustration 61: Vertèbres montrées par la PE.....132
Illustration 62: Vertèbre montrée par le médiateur.....132
Illustration 63: Coupe des vertèbres.....143
Illustration 64: Construction d'un arrière-plan commun au fil des transactions sur le stand.....145
Illustration 65: Extrait du carnet de croquis de Bruno.....146
Illustration 66: Face du modèle montrée dans le catalogue à destination de connaisseurs.....148
Illustration 67: Face du modèle montrée aux visiteurs du stand.....148
Illustration 68: Description du modèle de vertèbres dans le catalogue spécialisé.....149
Illustration 69: Trois énoncés en relation paraphrastique avec le modèle de vertèbres malades.....151
Illustration 70: Extrait de la Bibliothèque choisie de médecine de Planque (1761).....153
Illustration 71: Position topogénétique haute du médiateur.....154
Illustration 72: Position topogénétique haute de la PE.....156
Illustration 73: Basculements entre les positions topogénétiques hautes et basses.....156
Illustration 74: Aparté d'élèves ou décrochages pendant la transaction avec le médiateur.....157
Illustration 75: Transaction différenciée de la PE, régulation ponctuelle.....158
Illustration 76: Aparté et transactions parallèles différenciées.....158
Illustration 77: Action synchrone de la PE et du médiateur.....159
Illustration 78: Recul de la PE.....159
Illustration 79: Annonce du stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » dans le programme scolaire du village des sciences 2013.....163
Illustration 80: Piézomètre (extrait du site du SIDES).....168
Illustration 81: Présentation du stand, extrait du programme général du village des sciences 2013. .170
Illustration 82: Maquette 1 légendée (italiques sur fond gris), avec l'équivalent sur le terrain.....175
Illustration 83: Maquette 2, coupe d'un milieu fracturé.....176
Illustration 84: Injection de colorant par les piézomètres.....178

Illustration 85 : Maquette 3....183
Illustration 86: Planning de la classe 1 (Véro), anonymé et annoté pour la recherche....193
Illustration 87: Planning du stand 15 (extrait anonymé et annoté pour la recherche)....194
Illustration 88: Arrière de la maquette 1....194
Illustration 89 : Stand « L'eau du robinet, ça coule de source ! » avant l'arrivée des groupes....195
Illustration 90 : Comparaison de l'eau limpide avec de l'eau colorée/polluée (samedi)....214
Illustration 91: Position haute du médiateur et observation des élèves en situation d'apprentissage. 219
Illustration 92: Transactions parallèles avec savoir ciblé commun....220
Illustration 93: Annonce du stand « Le sable dans tous ses états » dans le programme scolaire du village des sciences 2013....225
Illustration 94: La manip de Mickaël, un banc de précurseurs d'avalanches....229
Illustration 95: Banc de mesure acoustique (photographies de l'IPR)....231
Illustration 96: Extrait du poster de Mickaël, comparaison des résultats pour quatre qualités de grains différents....231
Illustration 97: Lunettes cognitives (Nonnon et Laurencelle, 1984)....242
Illustration 98: Mise en relation des mondes et des deux systèmes de ressources....244
Illustration 99: Dessin associé au commentaire de Cartwright (ci-dessous)....246
Illustration 100: Rides de sable dans le « grand chenal »....253
Illustration 101: Le grand chenal....253
Illustration 102: Modèle théorique utilisé par Lucie dans la première partie de sa thèse....254
Illustration 103: Dispositif expérimental de Lucie (extrait légendé d'un de ses posters)....255
Illustration 104: Le petit chenal (vers la gauche)....255
Illustration 105: Le petit chenal (vers la droite)....255
Illustration 106: Mécanisme pour casser les turbulences liées au changement de section des tuyaux 256
Illustration 107: Dans le « micro-chenal », les turbulences du courant généré par la roue sont cassées par des pailles....257
Illustration 108: Un poster de Lucie, structure et langage sémiotiques....257
Illustration 109: Dispositif expérimental de Thao, avant (1a) et après(1b) expérience....258
Illustration 110: Photo du dispositif expérimental (Le Bouil, 2014, p.45)....259
Illustration 111: Extrait d'un poster d'Antoine – Diffusion multiple de la lumière ; carte et fonction de corrélation....260
Illustration 112: Expérience de Janssen (1895, p. 1046)....269
Illustration 113: Extrait de la fiche sur les chemins de forces (modifié en « redirection » de forces sur l'affiche)....270
Illustration 114: Stand IPR, zone « sable humide » (vendredi)....273
Illustration 115: Stand IPR, zone « sable sec »....273
Illustration 116: Zone du « sable sec »....274
Illustration 117: Zone du « sable humide », samedi et dimanche, pour le « grand public »....276
Illustration 118: Modèle analogique des sables mouvants....277
Illustration 119: Schéma 1, poster « Sable humide »....279
Illustration 120: Schéma 2, poster « Sable humide »....279
Illustration 121: Schéma 3, poster « Sable humide »....280
Illustration 122: Dispositif VDS édition 2011, avec une figurine, analogue à celui de Bonn en 2005. .282
Illustration 123: Dispositif VDS édition 2013, avec deux figurines....283
Illustration 124: Batman disparait dans des sables mouvants (Byrne, 1987, planche26)....284
Illustration 125: Batman prend à contre-pied le stéréotype des sables mouvants véhiculé par la littérature....286
Illustration 126: Extrait de l'étude de Engber pour le magazine Slate, Les films avec des sables mouvants....287
Illustration 127: Tapisserie de Bayeux (1070, scènes 16 et 17) dans la baie du Mont Saint-Michel…288
Illustration 128: Danger....290
Illustration 129: Sauvetages....290
Illustration 130: Dispositif expérimental de Jenkins décrit par Smith (1946)....293
Illustration 131: Comparaison de la ligne de flottaison du « bonhomme » dans de l'eau, du bromuréthylène et des sables mouvants (Smith, 1946b, p. 327)....293
Illustration 132: Danger, sables mouvants....295
Illustration 133: Vue générale de l'article de Khaldoun et Al. dans Nature....298

Illustration 134: Mise en évidence des images qui illustrent un article scientifique dans Europhysicsnews....298
Illustration 135: « Sinking test », versions cartoon et expérimentale....302
Illustration 136: Photographies aux niveaux d'interprétation différents....302
Illustration 137: Citation du Science et vie junior pour expliquer la séparation des phases....302
Illustration 138: Bonn cite et utilise l'illustration de SVJ (2005)....303
Illustration 139: Extrait de Science & Vie Junior (n°195) utilisé par Bonn en conférence....303
Illustration 140: Extrait du poster – la structure en château de cartes....343
Illustration 141: Schéma d'une transaction didactique, du point de vue de la topogenèse....371
Illustration 142: Double sémiose du point de vue du professeur....376
Illustration 143: Double sémiose du point de vue de l'élève....377
Illustration 144: Sémiose réciproque du point de vue de l'action conjointe....377
Illustration 145: Sémiose réciproque du point de vue du professeur....378
Illustration 146: Sémiose réciproque du point de vue de l'élève....378
Illustration 147: Les institutions en jeu sur les stands....384
Illustration 148: Point de vue du visiteur sur le stand : un milieu élargi avec les transactions....387
Illustration 149: Les métiers dans un laboratoire de physique (IPR)....441
Illustration 150: Page web du New York Times du 4 octobre 2005....469
Illustration 151: Programme (annoté) de la classe de Véro, village des sciences 2013....525
Illustration 152: Programme (annoté) de la classe de Brigitte, village des sciences 2013....525
Illustration 153: IPR* – Poster « Le sable sec »....553
Illustration 154: IPR* – Poster « Le sable humide »....555
Illustration 155: Dispositif expérimental de Mickaël....577
Illustration 156: Visite des salles de manip et exposés devant les posters (Billet de blog sur le site de l'IPR https://ipr.univ-rennes1.fr/archives/8684)....581

Photogrammes

Photogramme 1: Stand « Os et articulations »....66
Photogramme 2: Pause entre les ateliers....67
Photogramme 3: Plan resserré sur les transactions inter-individuelles....67
Photogramme 4: Stand « le sable dans tous ses états »....68
Photogramme 5: Plan pris du côté de M2....70
Photogramme 6: Plan pris du côté de M1....70
Photogramme 7: Extrait de la médiation sur les os, gestes et regards....75
Photogramme 8: Relations produites par Lucie dans son espace personnel....77
Photogramme 9: Extrait du clip « Take on me » du groupe A-Ha (1985)....79
Photogramme 10: Confusions à l'issue du jeu d'identification des os....127
Photogramme 11: La PE isole Mateo....131
Photogramme 12: La PE prend une photo....131
Photogramme 13: La PE demande une précision....132
Photogramme 14: La PE pointe un modèle de vertèbres. Tous les regards convergent....132
Photogramme 15: Le médiateur brandit une vertèbre et attire l'attention de tous....132
Photogramme 16: Synchronisation entre la PE, le médiateur et les élèves....133
Photogramme 17: Le coup du lapin....140
Photogramme 18: Aparté de quatre élèves qui découvrent la « face cachée » du modèle....141
Photogramme 19: Attention difficile à maintenir....141
Photogramme 20: Le public suit les explications avec le modèle 3D....142
Photogramme 21: Pichenette....142
Photogramme 22: Les élèves décrochent dès que le médiateur pose le modèle....143
Photogramme 23: Geste « casser »....143
Photogramme 24: Brice de Nice....143
Photogramme 25: Geste « s'affaisser »....143
Photogramme 26: L'arrière-plan "prothèse" partagé par les transactants....144
Photogramme 27: Tous les regards suivent le geste déictique du doigt et le regard du médiateur....147

Photogramme 28: Le sol....148
Photogramme 29: Accélération des images entre le début et la fin du plan 14....172
Photogramme 30: Fondu de deux images (raccord des plans 20 et 21)....172
Photogramme 31: Plan rapproché, centré sur la locutrice (plan 2)....173
Photogramme 32: plan américain (plan 3)....173
Photogramme 33: Insert sur la tache de colorant (plan 14)....173
Photogramme 34: Geste déictique sur un insert (plan 6)....173
Photogramme 35: Gros plan sur les mains qui modifient le milieu (plan 9)....173
Photogramme 36: Mise en eau de la maquette et stabilisation de la rivière, contrôles et réglages....177
Photogramme 37: Déplacement du traceur (préparation de l'atelier)....179
Photogramme 38: Proposition de trucage rejetée....180
Photogramme 39: Présentation de photos, un drain du Coglais....185
Photogramme 40: Extrait de l'introduction de Med1, premiers éléments nécessaires à la compréhension de la maquette....200
Photogramme 41: Extrait de l'introduction du médiateur 2, nécessité d'une maquette pour voir l'eau souterraine invisible....201
Photogramme 42: Injection du colorant dans les deux nappes et début de déplacement de la tache 205
Photogramme 43: Pointage de deux positions du colorant et de l'espace qui les sépare (dans la couche inférieure)....207
Photogramme 44: Resserrement de l'attention sur les deux positions et la translation....208
Photogramme 45: Pointage de la position du colorant à deux instants, dans la couche supérieure...209
Photogramme 46: Migration du colorant dans la nappe (préparation du stand)....210
Photogramme 47: Le chercheur (M) et la visiteuse (C), la manip et le poster....228
Photogramme 48: Un mouvement de la main....229
Photogramme 49: Des grains sont partis....229
Photogramme 50: La caméra filme les mouvements en surface....230
Photogramme 51: Les grains se détachent régulièrement....230
Photogramme 52: Les transducteurs, émetteurs-récepteurs d'ondes acoustiques....230
Photogramme 53: La relation entre les données optiques et les données acoustiques....230
Photogramme 54: L'angle d'inclinaison en abscisse....232
Photogramme 55: La fraction de surface qui bouge en ordonnée....232
Photogramme 56: Les grandes variations correspondent aux signes précurseurs....232
Photogramme 57: L'angle d'inclinaison mimé devant la boîte est représenté graphiquement....234
Photogramme 58: La fraction de surface qui bouge fait référence aux grains partis....235
Photogramme 59: Des précurseurs périodiques....236
Photogramme 60: La courbe des mesures acoustiques....236
Photogramme 61: La corrélation entre les courbes....237
Photogramme 62: Les savoirs institués devant la manip sont dans le contrat devant le poster....238
Photogramme 63: Lucie et son chenal....252
Photogramme 64: Thao dans sa salle de manip....258
Photogramme 65: Antoine dans son bureau....259
Photogramme 66: Extrait de « Daniel Bonn, physicien », Vidéothèque du CNRS....280
Photogramme 67: Dispositif de didactisation de l'équipe de Bonn en 2005....281
Photogramme 68: L'assistant ingénieur présente l'expérience aux doctorants....283
Photogramme 69: Danger, un cheval enlisé attend l'arrivée des secours....291
Photogramme 70: Sauvetage....291
Photogramme 71: Bonn dans l'émission « On n'est pas que des cobayes » (2012)....308
Photogramme 72: Lucie plante le décor et présente les personnages....312
Photogramme 73: Lucie pose les bonshommes sur le sable....313
Photogramme 74: Les bonhommes tiennent sur le sable mouvant....313
Photogramme 75: La figurine en plomb a coulé....314
Photogramme 76: Mime de la différence de volumes, pour expliquer la différence de densités....314
Photogramme 77: Le bonhomme analogue à l'homme s'enfonce mais ne coule pas....314
Photogramme 78: Lucie pointe le schéma n°1....315
Photogramme 79: Lucie pointe le schéma n°1 et le pot de sable mouvant....315
Photogramme 80: Stabilité du corps....315
Photogramme 81: Lucie pointe le schéma n°2....316
Photogramme 82: Gesticulation du corps de Lucie....316

Photogramme 83: Lucie fait le lien entre le schéma n°2 et l'événement observé précédemment dans le pot....316
Photogramme 84: Charlotte et le chenal....316
Photogramme 85: On ne peut pas s'enliser jusque-là....317
Photogramme 86: Deux doigts levés pour indiquer la densité du sable mouvant....317
Photogramme 87: Lucie pointe le schéma n°3....317
Photogramme 88: Suspens final....318
Photogramme 89: Dénouement....318
Photogramme 90: Référence à Indiana Jones....324
Photogramme 91: Analogie entre la gestuelle de Lucie et d'Alain....325
Photogramme 92: Alain rappelle un élément du contrat dans le milieu actualisé....325
Photogramme 93: Lucie rappelle un élément du contrat dans le milieu actualisé....326
Photogramme 94: Arrivée des garçons à la table du stand....328
Photogramme 95: Phase d'expérimentation avec le modèle analogique....328
Photogramme 96: Yvan désigne son frère....329
Photogramme 97: Eric montre sa cheville, Yvan joue avec le modèle....329
Photogramme 98: Pendant les explications théoriques, Yvan joue avec le modèle....330
Photogramme 99: Ouais mais celui-là il a coulé !....331
Photogramme 100: Phase de référence à la marée....331
Photogramme 101: Ben attend son tour....342
Photogramme 102: Ben se sépare de son père....342
Photogramme 103: Question de Ben....342
Photogramme 104: Déception de Ben....343
Photogramme 105: Lucie mime la sortie des sables mouvants....343
Photogramme 106: Ben, muet et impassible....344
Photogramme 107: « Il veut essayer »....344
Photogramme 108: Le sable mouvant, avec Mickaël, vendredi....345
Photogramme 109: Rody agit sur le modèle....348
Photogramme 110: « on a le temps de s'échapper »....350
Photogramme 111: Sortie du cadre....362
Photogramme 112: Regard....364
Photogramme 113: Entre le réel et la fiction....364
Photogramme 114: Sémiose....365
Photogramme 115: Séquence continue....365
Photogramme 116: Production phénoménotechnique....366
Photogramme 117: Évolution du milieu entre le moment clé 1 et le moment clé 7....373

Plateaux de jeu

Plateau_de_jeu 1: Stand « Os et articulations »....67
Plateau_de_jeu 2: Stand « Le sable dans tous ses états », vendredi (configuration initiale)....69
Plateau_de_jeu 3: Stand « L'eau du robinet, ça coule de source !", vendredi, caméra vers M1 puis M2 71
Plateau_de_jeu 4: Reconstitution de la scène didactique, l'espace dans le champ et hors champ de la caméra....77
Plateau_de_jeu 5: Stand « Os et articulations »....108
Plateau_de_jeu 6: Le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? »....195
Plateau_de_jeu 7: Les trois scènes principales....196
Plateau_de_jeu 8: Scène 1 avec la maquette 1....218
Plateau_de_jeu 9: Scène 3 avec le schéma....220
Plateau_de_jeu 10: Espaces de travail de Mickaël....228
Plateau_de_jeu 11 : Système de ressources du stand « Le sable dans tous ses états » (aménagement des samedi et dimanche)....273
Plateau_de_jeu 12: Déplacement du groupe familial de Charlotte sur la zone humide du stand....311
Plateau_de_jeu 13: Reconstitution de la scène didactique, l'espace dans le champ et hors champ de

la caméra....326
Plateau_de_jeu 14: Déplacement du groupe familial d'Eric et Yvan sur la zone humide du stand....333
Plateau_de_jeu 15: Différences des configurations du stand entre vendredi et samedi....341

Tableaux

Tableau 1: Extrait de notre pré-sélection de stands pour nos enquêtes futures (tableur)....63
Tableau 2: Trois phases de médiation communes en référence aux intentions exprimées lors de la préparation....198
Tableau 3: Modèle analogique des sables mouvants et ce qui est représenté (un document de travail est présenté en annexe 11)....278
Tableau 4: Trois exemples de décomposition des unités sémantiques....334

Textes complémentaires : développements et concepts

Texte 1: Vertèbres de poissons....153
Texte 2: Développement d'un schème d'utilisation de la maquette 1 par Virginie....190
Texte 3: Le concept d'auto-organisation critique....230
Texte 4: Le concept d'avalanche....247
Texte 5: Le concept de sable....265

Vues synoptiques

Vue_synoptique 1: Proposition d'utilisation des musées pour les enseignants (Allard, 1999, p.29)....31
Vue_synoptique 2: Bande audio de Transana départ de nombreuses vues synoptiques de notre étude....57
Vue_synoptique 3: Séance en classe : mise en évidence des apartés hors temps didactique....57
Vue_synoptique 4: Synopsis comparés de quatre séances sur le stand des eaux souterraines....58
Vue_synoptique 5: Illustration de la rédaction de Damien, où il parle de la sortie ds élèves au village des sciences (extrait du cahier de Damien, CE2)....105
Vue_synoptique 6: Durées comparées des temps de parole....113
Vue_synoptique 7: Seize épisodes de la séance sur le stand « os et articulations »....114
Vue_synoptique 8: Frise chronologique et topologique de la séance (du point de vue de l'initiateur de l'épisode)....119
Vue_synoptique 9: Durée de parole par locuteur et par épisode, associée au transactant initiateur du jeu d'enseignement apprentissage....120
Vue_synoptique 10 : Descriptions synoptiques du modèle par le fabricant et par le médiateur....150
Vue_synoptique 11: Responsabilités enchâssées des transactants....160
Vue_synoptique 12: Rotation des groupes de CE1 sur le stand de l'eau du robinet, et utilisation des ressources....197
Vue_synoptique 13: Comparaison des phases de la séance des médiateurs 1, 2 et 3 avec la maquette 1....198
Vue_synoptique 14: Genèses lors de la visite du labo de Mickaël (Tableau du triplet)....239
Vue_synoptique 15: Comparaison du résumé de la thèse avec l'explication orale devant la manip (partie 1/2)....249
Vue_synoptique 16: Texte Paraphrase Commentaire, d'après les tableaux PTC (Lefeuvre & al., 2016)....250
Vue_synoptique 17: Comparaison du résumé de la thèse avec l'explication orale devant la manip (partie 2/2)....251
Vue_synoptique 18: Trois phases principales de l'épisode entre Lucie et la famille de Charlotte....311

Vue_synoptique 19: Moments de formalisation d'éléments de savoirs par Lucie.....320
Vue_synoptique 20: Ressources et introduction d'éléments de savoirs dans le milieu (tableau du triplet).....337
Vue_synoptique 21: Réduction du tableau « Ressources et introduction d'éléments de savoirs dans le milieu ».....338
Vue_synoptique 22: Éléments mis en jeu dans le milieu et contrat implicite au début de la présentation 339
Vue_synoptique 23: Ressources et introduction d'éléments de savoirs dans le milieu vendredi et samedi (tableau du triplet).....347
Vue_synoptique 24: Représentation graphique de notre méthodologie de recherche.....367
Vue_synoptique 25: Comparaison du savoir de référence avec le savoir présenté.....579
Vue_synoptique 26: Séance de la famille d'Yvan avec Lucie et les sables mouvants.....593

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....11

PARTIE 1 : Contextes.....13

Chapitre 1 - Le Village des sciences et son contexte institutionnel.....15

1.1 Un événement ponctuel mais durable.....16
1.2 À la croisée de plusieurs institutions.....17
1.3 Préparation et mise en œuvre annuelle.....19
1.4 Le village des sciences, un événement sur fond de partenariat.....22
1.5 Médiateurs, scientifiques ou professeurs.....23

Chapitre 2 - Contexte scientifique et axes de la problématique.....25

2.1 Émergence de problématiques dans les sphères de recherche et leurs limites.....25
2.1.1 Diffuser une culture scientifique dans un musée.....26
2.1.2 Transformer des savoirs pour les communiquer.....28
2.1.3 Enseigner les sciences à l'école.....29
2.1.3.1 Proposer une démarche d'investigation.....30
2.1.3.2 Sortir de la classe.....31
2.1.3.3 Enseigner à plusieurs.....32
2.1.4 Produire des savoirs scientifiques.....34
2.2 À grands traits, notre paysage de références scientifiques.....35

PARTIE 2 : Principes directeurs et questions de recherche.....37

Chapitre 3 - Cadre théorique et positionnement scientifique.....39

3.1 La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD).....39
3.1.1 La notion de jeu.....39
3.1.1.1 Des formes symboliques pour jouer.....40
3.1.1.2 Les sémioses comme jeux de signes.....40
3.1.1.3 Le professeur maître du jeu.....40

3.1.2 Transactions didactiques....41
3.1.3 Contrat et milieu didactiques....41
3.1.3.1 Le contrat didactique....42
3.1.3.2 Le milieu didactique....43
3.1.3.3 La dialectique réticence-expression....43
3.1.3.4 Le triplet des genèses....43
3.2 L'approche documentaire....43
3.2.1 De l'artefact à la ressource....44
3.2.2 Des ressources au document....44
3.2.2.1 Mobilisation des schèmes en situation....45
3.2.2.2 Orchestration documentaire....46
3.2.3 Évolution de l'activité des professeurs....46
Chapitre 4 - Questions de recherche....49
4.1 Jeux didactiques sur les stands....49
4.1.1 Milieu didactique et environnement de la situation....49
4.1.2 Médiateurs professeurs....50
4.1.3 Un professeur bicéphale....50
4.2 L'utilisation et le rôle des ressources....50
4.3 Pratiques de savoirs et leur didactisation....51
4.4 Questions de méthode pour rendre compte de situations didactiques....51
Chapitre 5 - Méthodologie : des études de cas....53
5.1 Principes méthodologiques....53
5.2 Le film d'étude et ses traitements....54
5.2.1 Le film d'étude, un analogon de la pratique....55
5.2.2 Transcription et traitement des données audio et vidéo avec Transana....55
5.2.2.1 Un outil de traitement qualitatif des données audio et vidéo....56
5.2.2.2 Mises en formes synoptiques et textuelles....58
A. Vues synoptiques....58
B. Transcripts....58
5.3 Le choix des enquêtés....60
5.3.1 En 2012, une entrée par la classe....60
5.3.2 En 2013, une entrée par des laboratoires de recherche....61
5.3.2.1 Les critères de sélection....61
5.3.2.2 Les stands sélectionnés....62
5.3.2.3 Les contacts et collaborations effectives....64
A. La responsable de l'organisation de la Fête de la science....64
B. Les laboratoires....64
C. Les classes....64
5.4 Le recueil de données pendant les médiations sur les stands....65
5.4.1 Pendant les médiations sur les stands....65
5.4.2 L'expérience de 2012 sur le stand « Os et articulations »....66
5.4.3 Deux stands à filmer en 2013....67
5.4.3.1 « Le sable dans tous ses états »....68
5.4.3.2 « L'eau du robinet, ça coule de source ? »....69
5.4.4 En résumé....71
5.5 De la dépiction à la description....71
5.5.1 Chronophotographie et la représentation du mouvement....71
5.5.2 De la fresque aux photogrammes....72
5.5.2.1 Annotation des images....73
A. Étude des regards....73

B. Étude de l'occupation de l'espace....75
5.5.2.2 Système d'annotations réciproques, système hybride texte-image....77
5.5.3 La bande dessinée....78
5.6 La présence in situ et l'ouverture de pistes....80
5.6.1 L'attention in situ ouvre des pistes....81
5.6.2 Collectes auprès des acteurs au cœur de l'action....83
5.6.3 Mémoire d'une communauté comme base de l'enquête....84
5.6.3.1 Recherche d'indices....84
5.6.3.2 Enquêtes sur des dispositifs exposés....85
A. Le modèle analogique des sables mouvants....86
B. L'effet Janssen....86
C. La dilatance de Reynolds....87
5.6.4 Investigations documentaires....88
5.6.4.1 Pratiques numériques de recherche de documents....89
Encyclopédies en ligne....89
Robots généralistes....89
Robots spécialistes....90
Le portail de notre université....90
Réseaux sociaux....90
5.6.4.2 De la curation des contenus à leur communication....91
5.7 Le chapitre de méthodologie en bref....92

PARTIE 3 : Enquêtes et analyses – Les stands et leur institution 93

Chapitre 6 - Os et articulations....95

6.1 Présentation des transactants : le village des sciences, un événement dans leur activité ordinaire....96
6.1.1 La visite au village des sciences dans la vie de la classe....96
6.1.1.1 Le projet de la professeure....96
6.1.1.2 Avant la visite, en classe....97
A. Une séquence sur les mouvements corporels....97
B. Une séquence de mise en projet des élèves, riche en interdisciplinarité..101
6.1.1.3 Après la visite, en classe....102
A. Une affiche « pêle-mêle » pour clore la séquence en sciences....103
B. Une séquence sur la chronologie dans les récits en français....104
6.1.1.4 La classe, en bref....106
6.1.2 Le stand « Os et articulation » dans la vie du médiateur....107
6.1.2.1 Le médiateur était un professeur....107
6.1.2.2 L'aménagement du stand....108
A. La délimitation de l'espace du plateau pour jouer ensemble....108
B. Un stand attrayant et explicite....109
6.1.2.3 Les savoirs en jeu....110
A. L'objet du stand....110
B. Les os, une thématique en or....111
6.1.2.4 Le médiateur, en bref....112
6.2 De l'observation de la séance in situ aux analyses quantitatives et qualitatives menées sur le film....112
6.2.1 Observations en direct puis en différé....112
6.2.2 Découpage du film en épisodes thématiques....113
6.2.3 Description des épisodes....114
6.2.3.1 La PE installe le groupe, rappelle les règles aux élèves et laisse la main

au médiateur.....*115*
6.2.3.2 Le médiateur mène le jeu.....*115*
6.2.3.3 Le médiateur donne la main aux élèves.....*116*
6.2.3.4 La partie touche à sa fin.....*117*
6.2.3.5 La PE clôt la partie avec le médiateur.....*118*
6.2.4 Une chronologie des événements selon les initiateurs des épisodes.....118
6.2.5 Vers une synthèse synoptique fondée sur de multiples descripteurs.....119
6.3 Un point en aparté : pause et carnet de croquis.....121
6.3.1 Description de la pause croquis.....121
6.3.1.1 Définition des attentes.....*121*
6.3.1.2 Coopération rapide des élèves.....*122*
6.3.1.3 Des aides variées.....*122*
6.3.2 Analyse didactique : un repli réflexif.....123
6.3.2.1 Un écrit intermédiaire.....*123*
6.3.2.2 Le prolongement du contrat de classe hors de la classe.....*124*
A. La classe vue comme une institution.....124
B. Un entre-soi dans l'institution.....125
6.4 Zooms sur les vertèbres.....126
6.4.1 Où les élèves jouent à identifier les os.....126
6.4.1.1 Description en langage familier d'un jeu introductif « pour voir ».....*126*
6.4.1.2 Analyse : où la PE, le médiateur et les élèves tissent un arrière-plan commun.....*128*
A. Un contrat de classe rappelé par la PE et partagé avec le médiateur.....128
B. La PE régule le comportement mais reste très attentive aux transactions didactiques.....129
C. Systèmes de ressources du médiateur.....129
6.4.2 Où la PE saisit l'occasion de faire observer une vertèbre.....130
6.4.2.1 Description en langage familier, d'un jeu détourné.....*130*
6.4.2.2 Analyse didactique de l'évolution du milieu dans le travail conjoint.....*134*
A. L'interprétation de la radiographie.....136
B. Observation de vertèbres isolées.....136
Un modèle de trois vertèbres empilées.....136
Une vertèbre toute seule.....138
C. La perception des vertèbres réelles.....138
La PE fait voir où elles se trouvent.....138
Les élèves touchent les petites bosses.....138
6.4.3 Où les élèves réinvestissent des éléments de savoir très récemment acquis 139
6.4.3.1 Descriptions en langage familier.....*139*
A. Un coup bien tenté qui en amène un autre.....139
B. Où ça se complique.....141
6.4.3.2 Analyse didactique de cette fin de séance.....*144*
A. Où un arrière-plan commun se dessine.....144
B. Un projet de jeu trop long pour le temps institutionnel.....145
C. Un jeu de perceptions.....145
D. Un milieu riche en éléments nouveaux.....146
6.4.3.3 Analyse épistémique et épistémologique de l'action du médiateur.....*147*
A. Un langage non verbal combiné au discours verbal.....147
B. Langage verbal et paraphrase.....148
6.5 Os et articulations : éléments de discussion à propos des positions topogénétiques des transactants.....153

6.5.1 Une dissymétrie des positions topogénétiques des deux professeurs.....154
6.5.2 La PE, entre élève idéale et professeure.....155
6.5.3 Des basculements entre les positions topogénétiques hautes et basses.....155
6.5.4 Des décrochages ponctuels d'élèves.....157
6.5.5 Des transactions parallèles différenciées.....158
6.5.6 Actions synchrones des transactants.....158
6.5.7 Recul de la PE.....159
Dé-zoom : une vue topogénétique macroscopique.....159
6.6 Le chapitre sur les os en bref.....160
Chapitre 7 - L'eau du robinet, ça coule de source ?.....163
7.1 Présentation des transactants : le village des sciences, un événement dans leur activité ordinaire.....164
7.1.1 Le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » et ses acteurs.....164
7.1.1.1 Deux institutions pour un stand.....164
Le BRGM.....164
L'OSUR.....164
7.1.1.2 Les médiateurs sont des ingénieurs de recherche.....165
A. Virginie date l'eau.....165
B. Bruno et Flora mesurent la profondeur des eaux souterraines.....167
7.1.2 Les classes en visite sur le stand.....169
7.2 La participation au village des sciences, une action préparée par le collectif 169
7.2.1 L'annonce du stand.....170
7.2.2 Une maquette du stand dévoilée en vidéo.....171
7.2.3 Préparation du collectif à l'utilisation des maquettes.....174
7.2.3.1 Des maquettes issues du laboratoire de recherche.....174
La maquette 1 : la coupe d'un aquifère en milieu poreux.....174
La maquette 2 : la coupe d'un aquifère de socle.....176
7.2.3.2 Une situation de formation : Virginie forme ses pairs.....177
A. Mise en eau et réglages.....177
B. De la maquette aux savoirs visés.....178
C. Un modèle de la circulation des eaux souterraines et de leur relation avec les rivières.....181
7.2.3.3 Où d'autres ressources didactiques s'avèrent nécessaires.....182
A. Une troisième maquette « trait-d'union ».....182
B. Des savoirs situés dans le contexte local.....183
a. L'eau du robinet en Bretagne.....183
b. Les sourciers.....184
c. Les drains maçonnés du bassin de Rennes.....184
C. Jeux de langages.....185
7.2.4 Analyse de la préparation du stand.....188
7.2.4.1 Le document développé par Virginie.....188
7.2.4.2 Vers une genèse documentaire pour les futurs médiateurs.....190
7.2.4.3 Des jeux épistémiques source en arrière plan.....192
7.3 Le stand, un jeu et un plateau de jeu organisés.....193
7.3.1 Planning et rotations.....193
7.3.2 Des tables d'exposition agencées avec les ressources du collectif de chercheurs.....194
7.3.3 Du mouvement.....196
7.4 Étude comparative des médiations de trois hydrogéologues.....197

7.4.1 Des similarités au niveau mésoscopique....197
7.4.2 L'analyse microscopique révélatrice de stratégies didactiques différentes....199
7.4.2.1 L'introduction de l'atelier avec ou sans maquette....199
A. Le cochon et les taupes....199
B. Une maquette pour voir ce qu'on a sous nos pieds....201
7.4.2.2 L'eau souterraine circule....202
A. Des questions pour mettre l'esprit en marche....202
B. Bouge ou ne bouge pas ?....204
a. Où le mouvement est nié....205
b. Une question d'espace mathématique....206
c. Une question de dynamique (cinématique ?)....207
d. Réinvestissement....208
e. Vers la modélisation....209
7.4.2.3 Une question clé pour introduire la relation entre la nappe et la rivière. 210
7.4.2.4 Le pompage de l'eau pour son utilisation domestique....211
7.4.2.5 Une conclusion de séance sur la pollution....213
A. Une évocation éphémère pendant le pompage....213
B. Un problème majeur soulevé en fin d'épisode....213
C. Genèse d'un nouveau document....214
7.5 Eaux souterraines : éléments de discussion sur les situations analysées.215
7.5.1 Un système sémiotique complexe....215
7.5.2 Expression ou réticence comme stratégies didactiques....217
7.5.3 Positions topogénétiques des médiateurs et des PE....218
7.5.3.1 Une situation propice à l'observation....218
7.5.3.2 Des transactions parallèles avec un savoir ciblé commun....220
7.5.4 Genèse documentaire....220
7.6 Eaux souterraines en bref....222
Chapitre 8 - Le sable dans tous ses états....225
8.1 Les médiateurs du stand, leur contexte habituel de travail et un exercice de communication....225
8.1.1 Mickaël déclenche des avalanches (étude de cas)....227
8.1.1.1 Description de la situation....227
A. Le dispositif expérimental, la manip....228
B. Le poster....231
8.1.1.2 Analyse didactique mésoscopique....232
A. La manip et le phénomène....233
B. Le poster et la théorie....234
C. Hic et nunc, proprio motu....236
D. Un jeu ex situ....237
E. En bref....238
8.1.1.3 Analyse du milieu et de son évolution....238
A. Mesogenèse....239
B. Chronogenèse....240
C. Topogenèse....241
D. Éléments implicites et explicites du contrat....241
8.1.1.4 Analyse épistémologique : phénomènes et modèles....242
A. Lunettes cognitives....242
B. Dispositif expérimental et poster, deux mondes ?....243
8.1.1.5 Analyse discursive, comparaison de versions....245
A. En deux mots : Les précurseurs d'avalanche ou la dynamique granulaire à l'approche de l'état critique....245
B. En quelques phrases, les paraphrases....247

a. Avalanches et séismes, incompréhension et ajustement....248
b. Des registres différents pour un contenu presque équivalent....250
8.1.2 Lucie crée des dunes....252
8.1.3 Thao expérimente l'érosion et la déposition de sédiments....258
8.1.4 Antoine provoque des bandes de cisaillement....259
8.1.5 Les doctorants et leur expérience en médiation scientifique....260
8.1.6 En bref, l'activité des doctorants chercheurs en physique des milieux granulaires....261
8.2 La préparation du stand pour le village des sciences....261
8.2.1 La physique du sable, c'est sérieux ?....262
8.2.2 Structuration d'un système de ressources et genèse d'un projet d'experimentarium....264
8.2.3 Genèse du choix des dispositifs pour l'édition 2013 du village des sciences 267
8.2.4 En bref : le stand....272
8.2.4.1 Dans la zone du sable sec,....274
8.2.4.2 Dans la zone du sable humide,....275
8.3 Des sables mouvants : zoom sur une thématique du stand....276
8.3.1 Deux artefacts clés pour les médiateurs....276
8.3.1.1 Le modèle analogique de sable mouvant....276
8.3.1.2 Le poster sur le sable humide....279
Schéma 1 – Qu'est-ce qu'un sable mouvant ?....279
Schéma 2 – Pourquoi s'enlise-t-on ?....279
Schéma 3 – Pourquoi est-il impossible de se noyer ?....280
8.3.2 Origine et évolution du modèle analogique....280
8.3.3 Le cas des sables mouvants, des praxéologies hybrides....283
8.3.3.1 Des sables mouvants mortels dans les récits de fiction....284
8.3.3.2 Le discernement des riverains, des savoirs empiriques....288
8.3.3.3 Les savoirs scientifiques sur le(s) sable(s) mouvant(s)....291
A. Au XXe siècle....291
a. Un nom qui recouvre des effets ou des morphologies similaires, mais des phénomènes différents....291
b. Les sables mouvants en géologie et génie civil avant les travaux de l'équipe de Bonn....292
B. Dans les années 2000, la naissance de nouveaux savoirs en physique. .294
a. Mise en doute de praxéologies diverses par des physiciens....294
b. Une situation pratique à la croisée de deux chemins (arrière-plans)....294
c. Intégration du sujet d'étude dans le laboratoire....295
d. Les productions scientifiques....296
Le rapport d'activité du laboratoire (LPS)....297
Les communications scientifiques au-delà du couloir de l'équipe de Bonn....297
La valorisation de la recherche, à la porte du laboratoire....299
e. La didactisation par leurs producteurs, des pratiques de savoirs scientifiques à destination des non-connaisseurs de ces pratiques....300
Transpositions : jeux d'apprentissage pour didactiser les résultats de la recherche auprès de différents publics....300
Exemple d'une conférence publique, filmée et en ligne....301
f. La didactisation des praxéologies scientifiques par d'autres institutions....305
Les encyclopédies rassemblent des savoirs actualisés pour les rendre accessibles au public....305
Des journaux, relais de la production récente de savoirs, à d'autres médias qui traitent de savoirs plus stabilisés....306
8.3.4 En bref : des praxéologies aux jeux épistémiques sur les sables mouvants. 309
8.4 Jeux d'apprentissage : Lucie et les sables mouvants....310

8.4.1 La visite de Charlotte et sa grand-mère....310
8.4.1.1 Présentation de l'épisode : Lucie, Charlotte et sa grand-mère....311
A. Une expérimentation sur le modèle analogique....312
B. Une explication près du poster....315
C. Une conclusion en tête à tête....317
8.4.1.2 Analyse didactique de l'épisode avec Charlotte....318
A. Une succession de jeux d'apprentissages....319
B. Les systèmes de ressources des transactants....321
a. La simulation avec le modèle analogique....322
b. Une explication près du poster entre inscriptions iconiques et expressions corporelles....323
c. Les références : la baie du Mont-Saint-Michel et Indiana Jones....324
C. Un système de ressources acquis pendant la préparation du stand....325
D. Sémiose du milieu et sémioses réciproques des transactants....327
8.4.2 La visite d'Eric, de Yvan et de leurs parents....327
8.4.2.1 Présentation de l'épisode : Lucie et la famille d'Eric et Yvan....327
8.4.2.2 Analyse didactique de l'épisode avec Eric et Yvan....332
A. Analyse du jeu de relations dans l'institution « stand »....332
B. Description et analyse du milieu sur lequel se fondent les transactions...333
Construction d'un outil d'analyse : tableau du triplet topo – méso – chrono – genétique....333
Analyse du milieu et de son évolution....334
Un contrat fragile....337
C. Familiarisation pratique....340
8.4.3 La visite de Ben....340
8.4.3.1 Présentation des épisodes avec Ben....340
A. Un truc à voir (samedi)....341
B. Flash-back (vendredi)....344
8.4.3.2 Analyse didactique des épisodes avec Ben....345
A. Mise en questionnement....345
B. Rupture de contrat....346
8.4.4 Une succession de jeux d'apprentissage....348
8.4.4.1 La visite de Rody, une dernière situation pour alimenter notre propos...348
8.4.4.2 Des processus sémiotiques plus ou moins « heureux »....349
8.4.4.3 Le développement des schèmes d'utilisation des ressources....351
8.4.5 En bref : jeux d'apprentissages, sémioses et expérience....353
8.5 Le chapitre sur le sable, synthèse....355

PARTIE 4 : Synthèse et perspectives....359

Chapitre 9 - Synthèse des résultats....361

9.1 Éléments méthodologiques....362
9.1.1 Des systèmes sémiotiques issus des photogrammes pour rendre compte des jeux d'apprentissages....362
9.1.1.1 Incrustations....363
9.1.1.2 Du film à l'image fixe....363
9.1.1.3 Effets spéciaux et codes graphiques....364
9.1.1.4 Les images fixes séquentielles....364
9.1.1.5 Des productions phénoménotechniques....365
9.1.1.6 Maillage....366
9.1.2 Description de notre méthodologie de recherche....366
9.1.2.1 Clés de lecture de la représentation synoptique....367

9.1.2.2 Données révélées et produites.....368
A. Empirie, réalité [1].....368
B. Espaces d'accès à des données déjà éditorialisées [2].....368
C. Données (obtenues) empiriques ou bibliographiques [3].....368
D. Données augmentées [4] de métadonnées [4'].....369
E. Données réduites, re-présentées, ré-agencées, croisées [5].....370
F. Nos productions scientifiques [6].....370
9.1.3 Systèmes sémiotiques, outils de lecture, de description et d'analyse des jeux d'apprentissage.....370
9.1.3.1 Un modèle pour décrire la topogenèse.....371
9.1.3.2 Un modèle pour décrire la mésogenèse.....372
A. Moment clé 1.....373
B. Moment clé 7.....374
9.1.3.3 Un modèle pour décrire les sémioses.....376
A. Double sémiose.....376
a. Double sémiose du point de vue du professeur.....376
b. Double sémiose du point de vue de l'élève.....377
B. La sémiose réciproque.....377
a. La sémiose réciproque du point de vue du professeur.....378
b. La sémiose réciproque du point de vue de l'élève.....378
9.2 Genèse documentaire des chercheurs médiateurs.....379
Dispositif de monstration, artefact, ressource et document.....379
L'origine des dispositifs de monstration conception et évolution.....380
Transposition et didactisation des savoirs.....381
9.3 Pratiques de savoirs en jeu sur les stands : des objets familiers aux objets scientifiques.....382
9.4 Genèse et évolution d'un contrat didactique sur les stands : des responsabilités institutionnelles.....383
Le village des sciences, un événement annuel associé à la Fête de la science, une institution.....383
L'organisateur garant de la mise en œuvre du principe fondateur.....384
Des visiteurs aux stratégies diverses.....384
L'institution scientifique didactise ses pratiques de savoir.....385
Le stand vu comme l'environnement de l'action avec un ou des médiateur(s) et des visiteurs transactants.....386
Chapitre 10 - Perspectives.....389
Séances flash et effet loupe.....389
Expérience des professeurs.....390
Concilier les approches.....390
Lire et créer des images.....390
Sur les pas des visiteurs.....391
Le monde des modèles.....392

Références bibliographiques.....393

Abréviations utilisées.....407

Tables des illustrations.....411

Table des matières.....419

Annexes.....429

ANNEXES

Quelques outils pour la recherche

Annexe 1 - Web-journal pour la recherche, page « Un blog pour le chercheur » 1/2.....433
Annexe 2 - Schématisation de notre méthodologie de recherche.....435
Annexe 3 - Artefacts obtenus en relation avec le village des sciences – édition 2013.....437
Annexe 4 - Rétro-planning du Festival des sciences.....441
Annexe 5 - Les métiers dans un laboratoire de physique – Poster affiché dans le stand de l'IPR « Voyage au cœur de la matière : le monde à l'échelle nano ».....443
Annexe 6 - Identification des partenaires selon le point de vue.....445
Annexe 7 - Frise chronologique de la séance sur le stand « Os et articulations » (2012)…447
Annexe 8 - Vidéo « la circulation des eaux souterraines » – Frise chronologique.....449
Annexe 9 - Vidéo « la circulation des eaux souterraines » – Découpage par plan.....451
Annexe 10 - Première analyse des dispositifs du stand « Le sable dans tous ses états » par le chercheur.....453
Annexe 11 - Tableau synoptique : traduction du phénomène des sables mouvants 1/2.….455
Annexe 12 - Un exemple-exemplaire – La dilatance de Reynolds.....457
Annexe 13 - Sables mouvants – Extrait du journal Oamaru Mail (Nouvelle Zélande).....463
Annexe 14 - Sables mouvants – Extrait d'un manuel américain de génie civil.....465
Annexe 15 - Sables mouvants – Extrait de Les légendes du Mont-Saint-Michel.....467
Annexe 16 - Sables mouvants – Extrait de Les misérables Tome V.....469
Annexe 17 - Sables mouvants, article du New York Times.....471

Stand « Os et articulations »

Annexe 18 - Émilie – Entretien préalable.....473
Annexe 19 - Émilie – Entretien rétrospectif – Bureau.....483
Annexe 20 - Stand « Os et articulations » – Ensemble des ressources.....491

Stand "L'eau du robinet, ça coule de source ?"

Annexe 21 - Datation des eaux souterraines.....493
Annexe 22 - Alain-Hervé et Virginie – Bureau de Alain-Hervé (OSUR)– 20/09/2013.....495
Annexe 23 - Les films de l'autre côté, les expériences des scientifiques – La circulation des eaux souterraines.....509
Annexe 24 - Studio Village – Bruno Mougin, hydrogéologue au BRGM.....511
Annexe 25 - Stand OSUR-BRGM – Préparation de l'atelier "L'eau du robinet, ça coule de source ?".....513
Annexe 26 - Stand OSUR-BRGM – Schéma distribué aux élèves.....523
Annexe 27 - Programmes des stands édités par l'organisateur, EDS, (édition 2013).....525
Annexe 28 - Programmes des classes en visite le matin sur le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » (2013), annotés pour la recherche.....527
Annexe 29 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 1 – Med1 – Présentation 1 (12 :21).....529
Annexe 30 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 2 – Med2 – Présentation 1 (13 :31).....535
Annexe 31 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 3 – Med3 – Présentation 1 (09 :21).....543
Annexe 32 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 4 – Med1 – Présentation 2 547
Annexe 33 - Virginie – Entretien rétrospectif (extrait) – Laboratoire GéoSciences.....551

Stand « Le sable dans tous ses états »

Annexe 34 - Stand IPR – Préparation de l'atelier "Le sable dans tous ses états".....553
Annexe 35 - Stand IPR – Poster « Le sable sec ».....555
Annexe 36 - Stand IPR – Poster « Le sable humide ».....557
Annexe 37 - Lucie, Entretien préalable 1/3 – Salle de manip.....559
Annexe 38 - Lucie, Entretien préalable 2/3 – Bureau et posters.....563
Annexe 39 - Lucie, Entretien préalable 3/3 (extrait) – Salle de réunion.....567
Annexe 40 - Thao, Entretien préalable – Bureau.....569
Annexe 41 - Mickaël – Entretien préalable – Bureau, salle de manip et poster.....571
Annexe 42 - Mickaël : Dispositif expérimental pour sa recherche.....579
Annexe 43 - Mickaël – Comparaison du savoir de référence avec le savoir présenté (pendant la visite de la salle de manip).....581
Annexe 44 - Communication de l'IPR autour de la visite d'un potentiel partenariat.....583
Annexe 45 - Un enseignant chercheur sur le stand « Milieux divisés » Extraits 1.....585
Annexe 46 - Un enseignant chercheur sur le stand « Milieu divisé » Extraits 2.....589
Annexe 47 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 3 : Famille d'Yvan et Eric.....591
Annexe 48 - Tableau synoptique de l'épisode des sables mouvants entre Lucie et la famille d'Yvan.....595
Annexe 49 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 4 : Ben (02:45).....597
Annexe 50 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 5 : Charlotte et sa grand-mère. 599
Annexe 51 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 11 : Rody.....601
Annexe 52 - 19Mickaël – Sables mouvants – Scolaires : CP 2B (groupe de Ben).....605
Annexe 53 - Mickaël et Antoine – entretien rétrospectif (1/2) le 14 février 2014.....607
Annexe 54 - Mickaël et Antoine – Entretien retrospectif -2/2 : titre de la thèse.....611

Journal de thèse

TU CROIS QUE TON PANIER EST PLEIN LORSQUE TU L'AS REMPLI AVEC DES ORANGES. EN RÉALITÉ, IL EST PLEIN DE VIDE CAR TU PEUX ENCORE Y METTRE DES NOIX, PUIS DES POIS CHICHES – MAXIME ARABE

Un blog pour le chercheur

Ce blog est pour moi un outil d'écriture. Il n'est méthodologique que pour mon travail personnel de sélection de ressources et de rédaction ; il s'apparente à une espèce d'orchestration documentaire pour moi-même. Je ne sais pas s'il apportera quelque chose au processus de recherche. Il permet de conserver des textes provisoires, des idées, des intuitions, des ressources, sans avoir à les classer définitivement (et quelquefois hasardeusement) dans une seule catégorie. Il permet plutôt d'indexer ce que je produis, de *tagger* chaque texte, en l'associant à plusieurs catégories, et du coup à d'autres ressources. La folksonomie me parait adaptée à un chercheur en herbe qui ne sait pas bien où il va. Au bout d'un mois, je vois mes catégories s'affiner. Je sais aussi que d'autres vont apparaitre. Les textes sont plus présents que s'ils étaient rangés dans un classeur ou dans une arborescence. Leur brassage presque continuel organise aussi ma pensée.

De façon générale, les blogs permettent des indexations et donc des lectures de différentes manières :

Le champ de recherche *(Search)*, va chercher le mot ou l'expression demandée dans les textes du blog. Il ne se réfère pas à une indexation organisée.

La mise en exergue des **derniers articles écrits (articles récents)** est une entrée (anté)chronologique. Situer mes pensées dans le temps, en lien avec d'autres préoccupations inscrites dans la même période, a du sens. Pour mes directeurs de thèse, cette entrée peut permettre une compréhension rapide de mon activité. C'est aussi l'intérêt du *widget* **Archives**, qui donne à voir les articles d'une période donnée.

Les mots clés sont introduits par le rédacteur des articles (*posts*). Il associe à chaque article un ou des mots clés qui permettent de retrouver le texte ensuite. Ces mots-clés apparaissent sous la forme d'un nuage, plus ou moins gros en fonction de leur fréquence dans le blog.

To search, type and hit ente

Search

Articles récents

- L'eau qui est sous nos pieds bouge-t-elle ?
- Extraits filmés : Lucie et Charlotte, sables mouvants
- Daniel Bonn
- vulgarisation, didactisation, elementation : Sensevy
- Codage des transcripts et des tours de parole
- Sables mouvants

Mots-clés

audio avalanche balance biblio billes BO BRGM CHAT concept

Les catégories peuvent être hiérarchisées en catégories et sous-catégories. Chaque article peut être associé à plusieurs catégories.

Les articles (*posts*) sont la base du journal (*blog*). Ils apparaissent du plus récent au plus ancien. Ils sont pour moi l'équivalent des quelques mots écrits sur mon carnet, ou quelquefois, une idée un peu plus construite, ou encore un témoignage dont je ne sais pas que faire, mais que je veux garder en mémoire. Les articles sont datés et je ne les remanie peu ; je les complète. Ils sont la mémoire de ce que je pense à un moment donné, complété par des éléments nouveaux, le temps de cette réflexion. Ils évolueront vers des pages, plus construites, certainement remaniées par rapport aux premiers jets des articles.

Les pages sont un concept finalement plus complexe dans un blog. Elles ne sont pas indexées avec des mots clés ; elles ne sont pas liées à des catégories ; elles ne sont pas datées. Elles sont intemporelles. Pour y accéder, ils faut les introduire directement dans les menus. Dans mon blog, les pages pourraient devenir des parties de ma thèse. Ce sont des textes structurés, achevés ou en construction. Pour le moment, ce sont des textes issus de mon mémoire et des articles de recherche que j'ai proposés à des colloques (Ardist et Théodile), ou alors des pages qui doivent exister pour introduire un sujet, que je construis et que je ferai évoluer avec le temps. Cette page à propos du blog est vouée à être remaniée.

L'apparence du blog et sa structure sont décidées par son gestionnaire (moi). Il existe de très nombreux **thèmes** de blog WordPress (le format utilisé à l'ESPE de Bretagne). Ils contiennent des structures prédéfinies permettant de simplifier le paramétrage d'un blog de recettes de cuisines, ou d'un blog de photos, ou alors un blog d'économie ou de gestion… Ensuite, beaucoup de ses éléments sont paramétrables : le nombre de colonnes, la page initiale, la couleur, les **menus** ou les ***widgets*** que l'on utilise (ou pas)…

> **Le tableau de bord** du blog permet de rédiger les pages et les articles. Il contient de nombreux outils de paramétrage pour donner l'accès à certains utilisateurs, pour permettre à ceux-ci d'y laisser ou pas des commentaires, pour régler l'apparence du site…
>
> Les ***widgets*** sont des blocs permettant de faire apparaitre différents types d'informations : Ainsi, le bloc « *Search*« , le bloc « Articles récents » et le bloc « Mots clés » sont des *widgets*.
>
> **Les menus** (exemple : le sommaire dans la barre du titre de ce blog) évoluent très vite en ce début de vie du blog, dans cette phase de recueils de données et de ressources. Je pense que le menu principal évoluera toujours avec mes nouvelles préoccupations et tâches. Les étapes du doctorat devraient s'y retrouver et apporter des transformations aux menus pour aboutir, en fin de thèse, à un ensemble cohérent. Les boutons du menu peuvent appeler
>
> - *des pages,*
> - *des articles (à l'appel d'une catégorie, tous les articles inclus dans la catégorie apparaissent)*
> - *des liens vers des ressources extérieures au blog, ou incluses dans le blog*

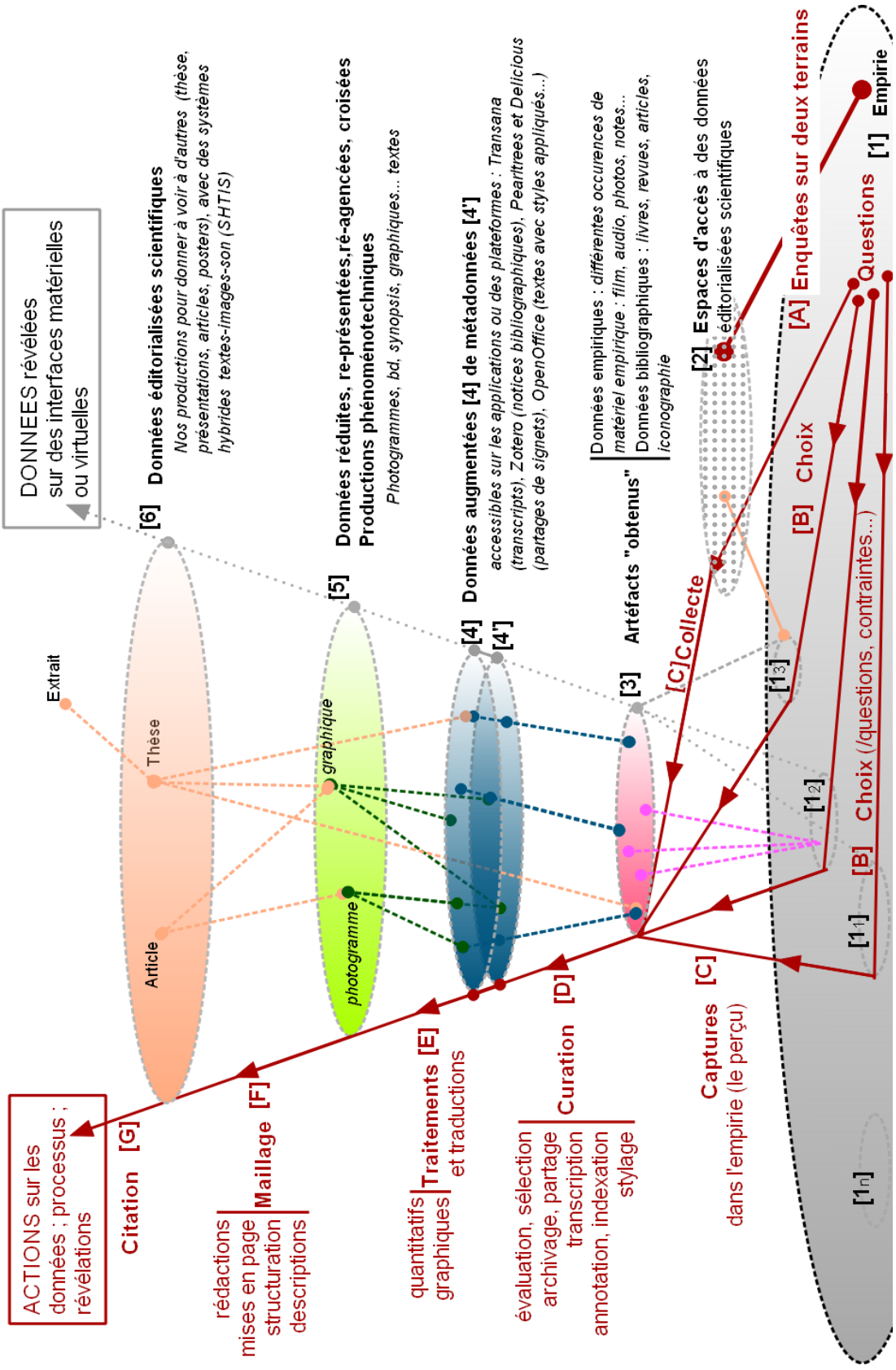
dilatance directeurs dispositif eau Engeström entretien extrait FDS Gennes granulaire Guyon hydrogéologie IPR Janssen labo manip Mickaël médiation métier OSUR permanent peser phénomène plan poster sable sable_mouvant sablier sitographie son ségrégation transaction transcript transposition vidéo vulgarisation

Mon Pearltree « recherche »

Archives

- mars 2015
- septembre 2014
- mai 2014
- mars 2014
- février 2014
- janvier 2014
- décembre 2013
- novembre 2013
- octobre 2013
- septembre 2013

Annexe 2 - Schématisation de notre méthodologie de recherche



Date	Origine	Nature et support des données			Contenus	Durée
		Ressources publiques	Dons au chercheur	Captures images et son		
21/06/13	Espace des sciences (EDS)		Fichier xls	.	Tableau des participants FDS	.
		Livret papier et numérique sur Internet	.	.	Programme officiel	.
18/09/13	IPR Milieux divisés	Site Internet	.	.		
		.	.	vidéos	Présentation des maquettes utilisées à la FDS aux doctorants par l'assistant ingénieur Deux des manips	1h45 » 10 »
		.	.	audio	Présentation des maquettes utilisées à la FDS aux doctorants par l'assistant ingénieur	1h45'
		.	.	photos	Maquettes présentées	15
		.	Fichiers numériques, et versions papier	.	**Rapports de stage réalisés dans le labo :** Rapport de stage d'une Licence 3 STS : la vulgarisation scientifique et les expériences sur les granulaires (en vue de la FDS 2011) Rapport d'une élève de seconde : mode d'emploi des dispositifs présentés à la FDS 2011 https://ipr.univ-rennes1.fr/archives/1680	.
		.	Fiches descriptives	.	Les manips présentées et expliquées	.
20/09/13	OSUR	Site Internet et ressources publiées	Mention de ressources	.		.
		.	plaquette	.	Présentation de l'OSUR	.
		.	CDrom	.	La carte d'identité de l'eau	.
		.	.	audio	Entretien avec Alain-Hervé et Virginie	58'48 »
		.	.	photos	Bureau d'Alain-Hervé	2
23/09/13	EDS	.	Mail + pj		fiche des classes inscrites par atelier	
26/09/13	IPR	.	Mail + PJ		Guide d'entretien complété par AlainF	
27/09/13	IPR	.	.	audio	Entretien avec Antoine	45'51
		.	.	video	Entretien avec Antoine (x3 moments)	01'14 12'23 05'16
		.	Fichier PDF		Poster numérisé d'Antoine	1
		.	.	audio	Entretien avec Mickael	41'04
		.	.	video	Entretien avec Mickael	16'56
		.	.	Audio	Entretien avec Lucie	53'44

Date	Origine	Nature et support des données			Contenus	Durée
		Ressources publiques	Dons au chercheur	Captures images et son		
		.	.	video	Entretien avec Lucie	09'24
		.	.	photos	Bureaux, couloirs, posters	24
30/09/13	École 1	.	.	Audio + notes	Entretien avec Aline Classe CP(A)	41'59'
		.	.	notes	Entretien avec Betty Classe CE1 (B)	00'00 »
30/09/13	IPR	.	.	audio	Entretien avec Thao	33'39 »
		.	.	video	Entretien avec Thao	33'34
		.	vidéos		6 Vidéos de l'expérience	6
		.	photos		2 photos du dispositif de Thao	2
		.	Fichier.docx		Graphique : un résultat illustrant l'expérience de Thao	
		.	.	Audio	Entretien avec AlainF, assistant ingénieur	52'11 »
		.	.	video	Entretien avec AlainF dans son atelier	02'15 »
		.	.	photos	Photos des posters de Lucie (même bureau que Thao)	2
			.	audio	Réunion des 4 équipes de l'IPR qui participent à la FDS : présentation mutuelle des stands respectifs	55'39 »
04/10/13	EDS	Newsletter + site internet	.		Actualité avec les vidéos des stands en avant-première	2
08/10/13	OSUR et BRGM	.	.	Audio	Préparation de la FDS, et apartés	1h00'58 » 00'58 »
		.	.	vidéo	Préparation des médiateurs : fonctionnement des deux maquettes	45'35 »
09/10/13	OSUR	.	Fichiers PDF	.	Posters utilisés pour la FDS	4
vendredi 11/10/13	EDS			audio	Micro-trottoir : Contact avec Danièle Z. et Michel C. (Dir.)...	
scolaires	IPR	Fiches pour les classes		Vidéo audio audio Photos	Film en continu de la journée sur le stand : caméra + 1 micro sur table (matin) ; 2 micros l'ap-midi Stand : 1 Micro supplémentaire sur table (matin) Entretiens divers (micro-trottoir) : profs, Hervé... Fiches Sable sec / sable humide = récapitulatives des manips réalisées sur le stand (réductions des posters)	matin 3 :22 :44 v 3 :22 :19 a ap-midi 2 :35 :23 Hervé 00 :25 :43 2 18

Date	Origine	Nature et support des données			Contenus	Durée
		Ressources publiques	Dons au chercheur	Captures images et son		
	OSUR-BRGM	Fiche élèves		Video audio audio	Film en continu de la journée sur le stand Animation sur le stand (micro baladeur) Micro-trottoir : Virginie, Bruno, Flora, Olivier, Antoine… Schéma à compléter	**matin** 3 :27 :28 v 2 :34 :16 a 0 :03 :04 a 0 :36 :30 a **ap-midi** 2 :29 :54 v 1 :09 :35 a 1 :21 :12 a
samedi 12/10/13 **grand public**	EDS			audio	Micro-trottoir : Éléments de réponses sur les choix de réservation des stands ; problèmes avec le manque d'accompagnateurs de certaines classes	
	IPR	Plaquette de l'IPR Quiz		Vidéo audio brochure cartes à jouer	Film en continu de la partie sable mouillé avec 2 micros sur table Micro-trottoir Présentation de l'IPR Quiz de la physique	4 :55 :43 v
	OSUR-BRGM	Plaquettes du BRGM		Vidéos audio	Extraits d'animations Micro-trottoir SIGES Bretagne : système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Bretagne BRGM en bref	
dimanche 13/10/13 **grand public**	Espace des sciences (EDS)			audio	Entretien avec Gaëlle qui a fait les réservations des scolaires (difficultés et choix stratégiques)	
	IPR			Vidéos audio	Film fixe de la partie Sable sec avec 2 micros sur table Micro-trottoir : Renaud…	
	IPR Nano particules		Contact	photos	Poster sur les métiers du labo de physique Contact pour récupérer le poster en PDF	
	OSUR-BRGM			Vidéos Audio audio	Extraits d'animations doublage audio Micro-trottoir : Virginie…	
15/10/13	EDS	Newsletter		.	Actualité : futures vidéos de la FDS en ligne	

Date	Origine	Nature et support des données			Contenus	Durée
		Ressources publiques	Dons au chercheur	Captures images et son		
15/10/13	IPR – nano		pdf		Poster sur les métiers dans le laboratoire de physique Sophie G.	
17/10/13	OSUR	.	Fichier PDF Fichier PPT	.	Poster ClimaWat Fiche donnée aux élèves à la FDS	
22/10/13	EDS Mail Gaelle		pdf		Public visé par stand	
			pdf		Plan village des sciences vendredi	
			pdf		Plan village des sciences samedi & dimanche	
23/10/13	EDS		Copie mail		Message d'invitation aux enseignants prioritaires	
07/02/14	IPR			Audio	Antoine – Entretien	01 :02 :00
				video	Antoine – salle de manip en cours + posters	00 :04 :46
				Photos x9	Posters d'Antoine + plan bâtiment IPR	
11/02/14	OSUR			video	Virginie – visite labo + collègue	00 :56 :50
				audio	Virginie fin entretien	00 :01 :45
			pdf		Derniers posters (affiches 7 et 8)	
				Photos x2	Plan du bâtiment de l'OSUR	
13/02/14	BRGM			video	Flora et Jean-Michel entretiens	01 :32 :04
		2 brochures			BRGM et SIGES	
		Site SIGES			entretien	
14/02/14	IPR			video	Lucie et Thao – entretien	00 :43 :19
			pdf		Lucie – Affiche séminaire des non-permanents	
				video	Mickaël et Antoine – entretien	01 :07 :40
			pdf		Mickaël – Poster -	
			pdf		Mickaël – Thèse -	
			pdf		Mickaël – article Janssen en anglais	
26/11/14	EDS		pdf		Bilan régional 20e FDS Rhone-Alpes 2011	79p
			pdf		Étude FDS 2008 Portait d'un événement culturel à propos des sciences : Côté public, côté coulisses	30 p
			pdf		Rapport Évaluation FDS 2008 Projet tutoré 1	46p
			pdf		Rapport Évaluation FDS 2008 Projet tutoré 2	55p
			doc		Extrait bilan FDS Loire-Atlantique 2006	13p

Annexe 4 - Rétro-planning du Festival des sciences

Prévisions dates	Objet
22/01/13	**Réunion bilan 2012 / lancement FDS 2013 en présence des communes et chercheurs intéressés**
FIN JANVIER	Aux chercheurs et communes : 1- Envoyer le compte-rendu de la réunion du 22/01 2- Leur demander de nous envoyer leurs souhaits (*cf.* le tableau à compléter)
27 FEVRIER	**Dernier délai transmissions des 1ères propositions de conférences, animation et expositions par les chercheurs et des choix des communes**
MARS	**Réalisation du Programme n°1 par l'EDS** Répartir les propositions d'expositions, d'animations, et de conférences entre les choix des communes
FIN MARS	**Réunion Village des Sciences**
FIN MARS	1-Envoyer le 1er projet de planning aux communes et aux chercheurs 2-Demander aux chercheurs de nous envoyer des propositions de titres et textes
DEBUT AVRIL	**Dernier délai correction 1er planning et des envois texte + titre de la part des chercheurs**
DEBUT AVRIL	Etablir un programme 2 en fonction des remarques des lieux et chercheurs
AVRIL	Établir les fiches récapitulatives par manifestation par l'EDS et la transmettre aux acteurs du Festival des sciences
MI MAI	**Dernier délai correction fiche récapitulative de la part des chercheurs et lieux accueil**
JUIN	Envoyer la plaquette programme aux communes + chercheurs pour validation
JUIN	**Dernier délai correction chercheurs + lieux de la plaquette**
JUIN	Rencontre communes / chercheurs – **Les communes organisent ce RDV**
FIN JUIN	BAT programme du Festival des sciences
FIN AOUT	Distribuer les supports de communication aux communes participantes
Du lundi 7 au 20 oct.	**FESTIVAL DES SCIENCES**
OCTOBRE	Retour questionnaires communes + chercheurs

(Espace des sciences, 2013a, p. 21)

Annexe 5 - Les métiers dans un laboratoire de physique – Poster affiché dans le stand de l'IPR « Voyage au cœur de la matière : le monde à l'échelle nano »

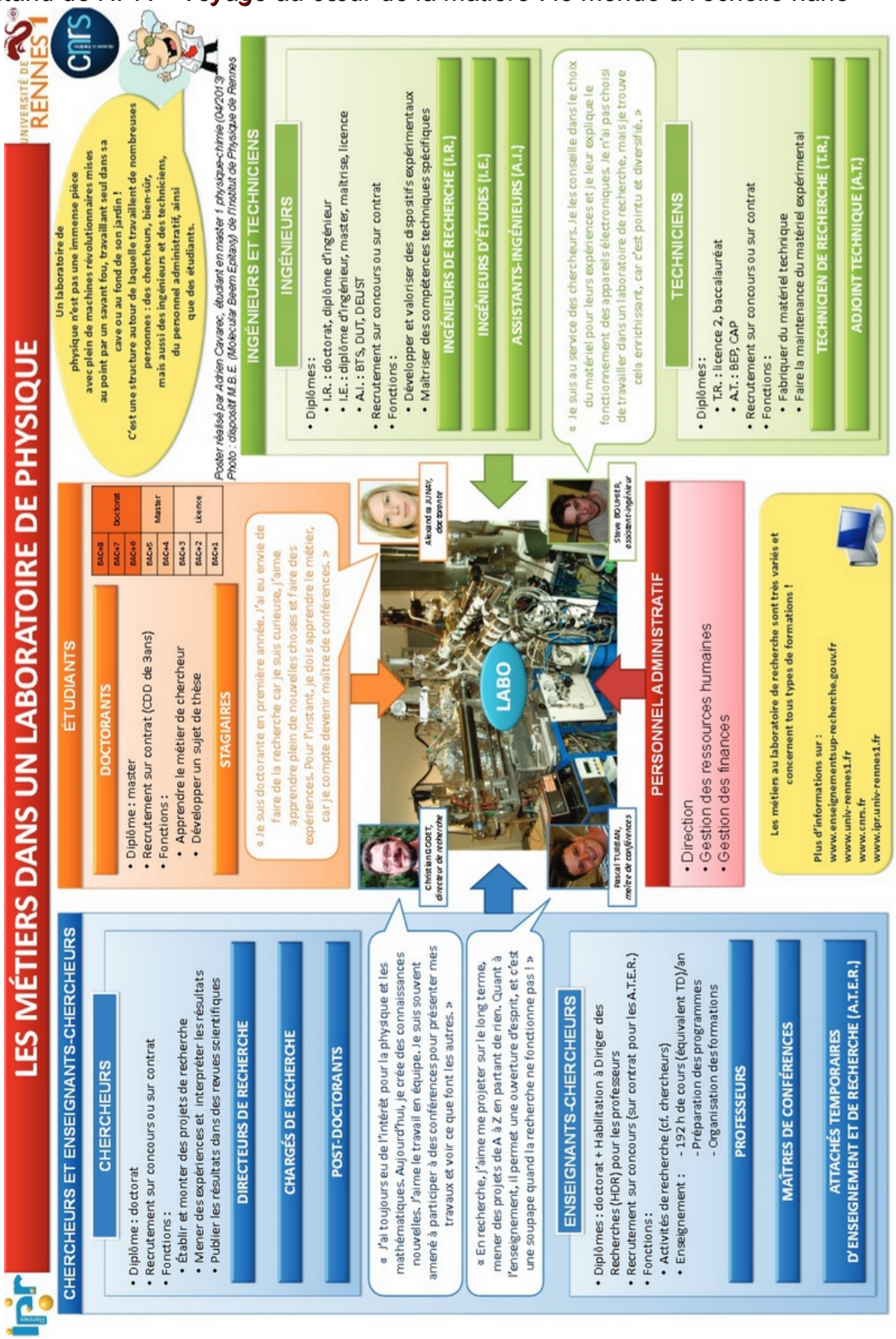
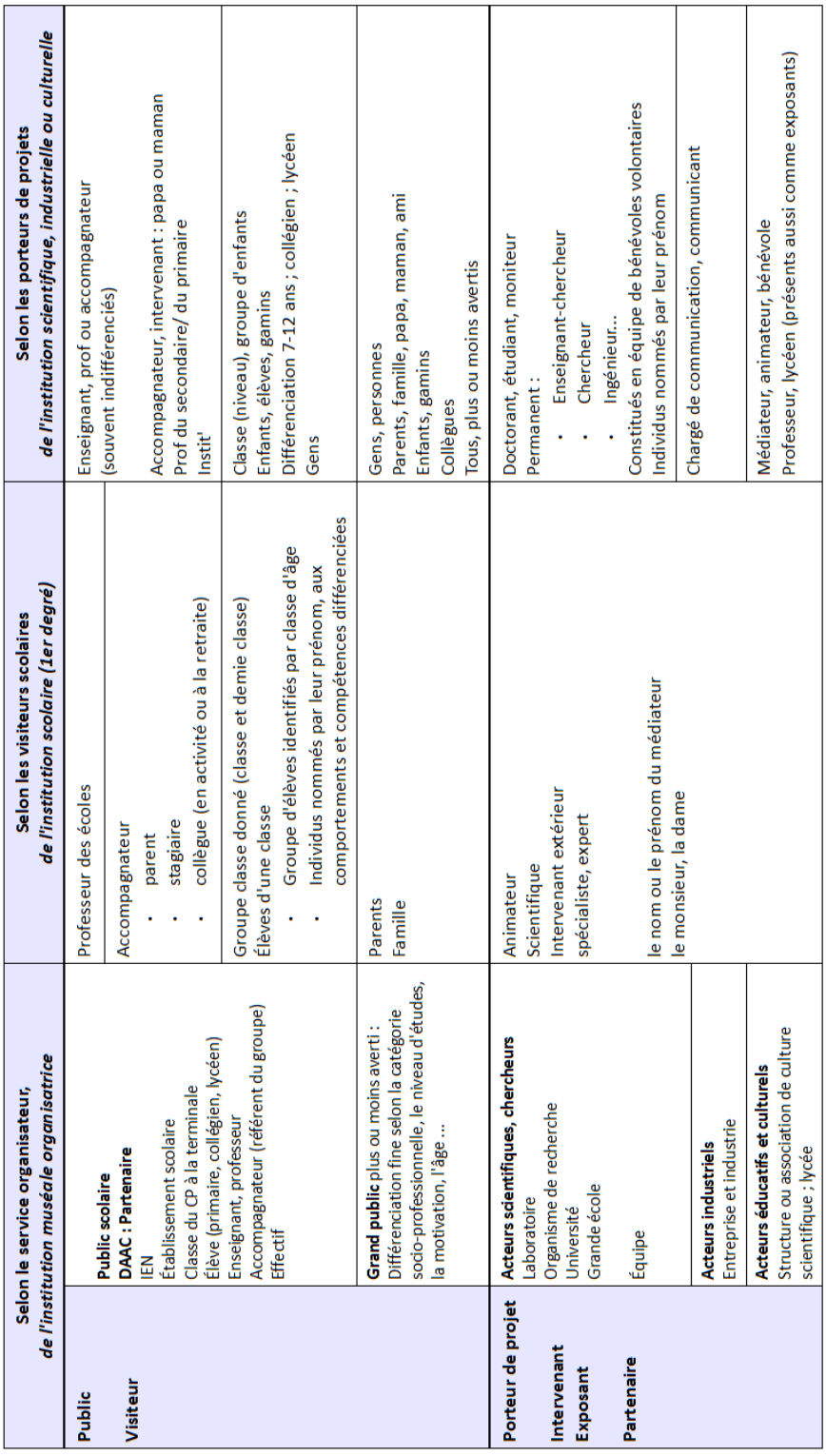


Illustration 149: Les métiers dans un laboratoire de physique (IPR)

Annexe 6 - Identification des partenaires selon le point de vue

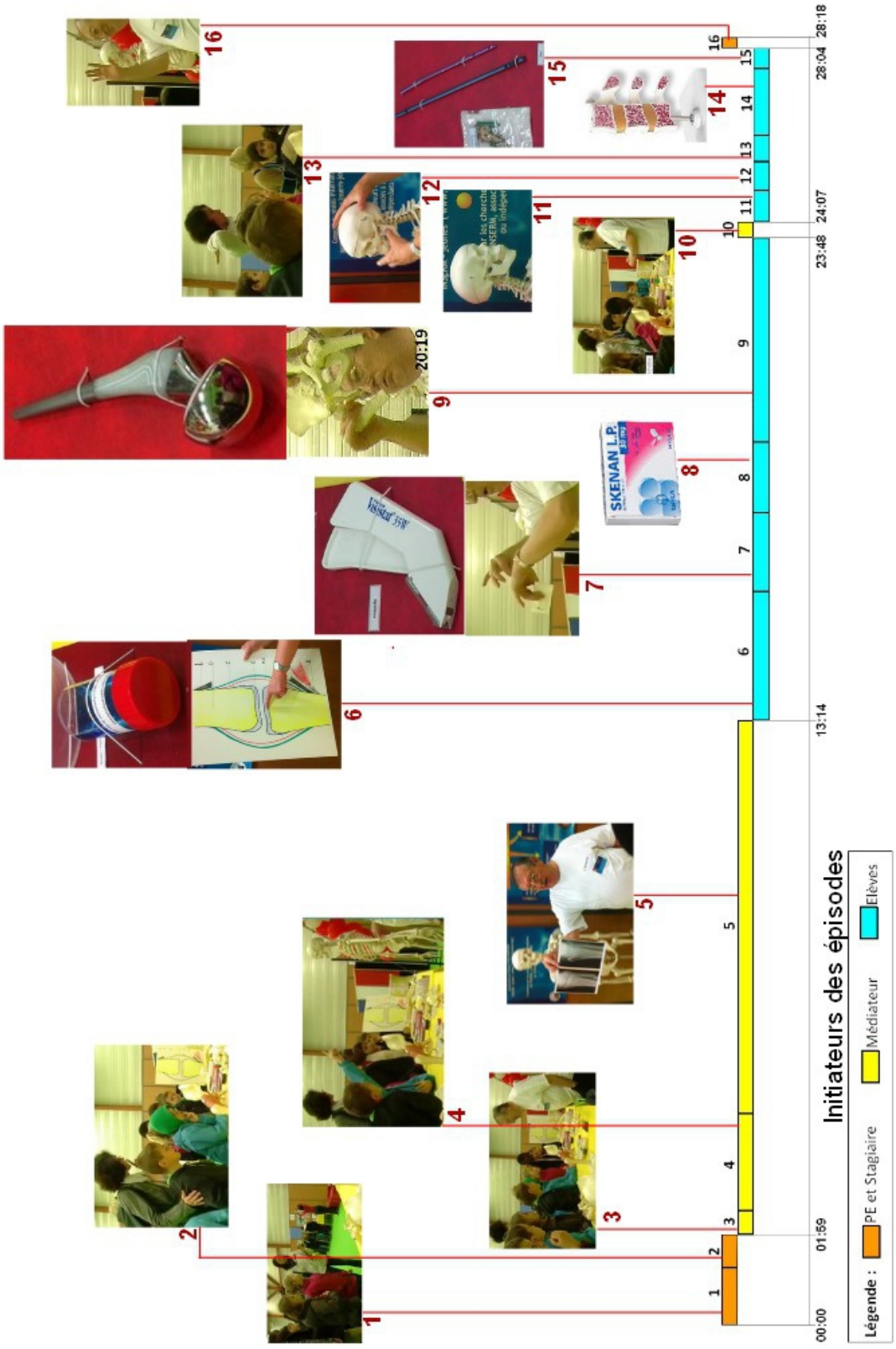
Les informations qui renseignent ce tableau sont issues d'une analyse sémantique de textes : bilans et préparation de la FDS, issus de l'institution organisatrice ; transcripts des préparations du stand des exposants ; transcripts des entretiens avec les acteurs scolaires. Nous avons utilisé le logiciel d'analyse sémantique de textes TROPES[172] pour le repérage du lexique utilisé pour désigner les acteurs partenaires et les propres acteurs (étude qualitative).



Selon le service organisateur, *de l'institution muséale organisatrice*		Selon les visiteurs scolaires *de l'institution scolaire (1er degré)*		Selon les porteurs de projets *de l'institution scientifique, industrielle ou culturelle*
Public **Visiteur**	**Public scolaire** **DAAC : Partenaire** IEN Établissement scolaire Classe du CP à la terminale Élève (primaire, collégien, lycéen) Enseignant, professeur Accompagnateur (référent du groupe) Effectif	Professeur des écoles		Enseignant, prof ou accompagnateur (souvent indifférenciés)
		Accompagnateur · parent · stagiaire · collègue (en activité ou à la retraite)		Accompagnateur, intervenant : papa ou maman Prof du secondaire/ du primaire Instit'
		Groupe classe donné (classe et demie classe) Élèves d'une classe · Groupe d'élèves identifiés par classe d'âge · Individus nommés par leur prénom, aux comportements et compétences différenciées		Classe (niveau), groupe d'enfants Enfants, élèves, gamins Différenciation 7-12 ans ; collégien ; lycéen Gens
	Grand public plus ou moins averti : Différenciation fine selon la catégorie socio-professionnelle, le niveau d'études, la motivation, l'âge ...	Parents Famille		Gens, personnes Parents, famille, papa, maman, ami Enfants, gamins Collègues Tous, plus ou moins avertis
Porteur de projet **Intervenant** **Exposant** **Partenaire**	**Acteurs scientifiques, chercheurs** Laboratoire Organisme de recherche Université Grande école Équipe	Animateur Scientifique Intervenant extérieur spécialiste, expert le nom ou le prénom du médiateur le monsieur, la dame		Doctorant, étudiant, moniteur Permanent : · Enseignant-chercheur · Chercheur · Ingénieur... Constitués en équipe de bénévoles volontaires Individus nommés par leur prénom
	Acteurs industriels Entreprise et industrie			Chargé de communication, communicant
	Acteurs éducatifs et culturels Structure ou association de culture scientifique ; lycée			Médiateur, animateur, bénévole Professeur, lycéen (présents aussi comme exposants)

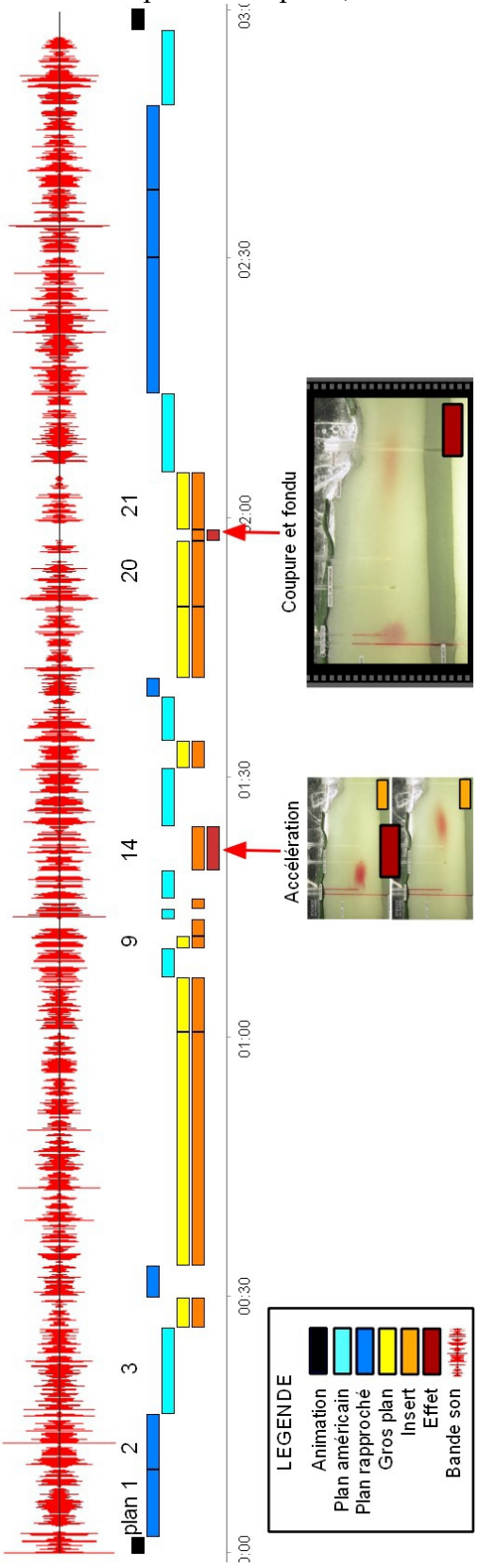
172http://www.tropes.fr/index.htm

Annexe 7 - Frise chronologique de la séance sur le stand « Os et articulations » (2012)



Annexe 8 - Vidéo « la circulation des eaux souterraines » – Frise chronologique

Montage (*Open-Sankoré*) de la frise des descripteurs de plans, de la bande son et de photogrammes (*Transana*)



Annexe 9 - Vidéo « la circulation des eaux souterraines » – Découpage par plan

(Espace des sciences, 2013c)

n°	Plan [Effets]	Transcript	Temps	Durée [réelle]
	animation	Titre sur générique : La circulation des eaux souterraines	00:00-00:02	00 :20
1	plan rapproché	Bonjour, xxx je suis hydrogéologue à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes et mon sujet d'étude c'est les eaux souterraines.	00:02-00:10	00 :08
2	plan rapproché	Il faut savoir que 80 % de l'eau du robinet provient des eaux souterraines captées à partir des sources ou des puits.	00:10-00:16	00 :06
3	plan américain	Pour vous montrer l'objet sur lequel je travaille, comment on étudie les eaux souterraines, voici une petite maquette pédagogique qui permet de vous montrer les différentes nappes	00:16-00:26	00 :10
4	Insert + gros-plan	la nappe libre qui est en connexion avec la surface	00:26-00:30	00 :04
5	plan rapproché	qui est séparée souvent des autres nappes par une couche imperméable	00:30-00:34	00 :04
6	Insert + gros-plan	composée de roches plus ou moins compactes, puis, en dessous, il y a des nappes qu'on dit "captives" qui peuvent aller jusqu'à 100 ou 500 mètres de profondeur. Donc, vous avez aussi sur cette maquette les piézomètres qui nous permettent d'aller échantillonner l'eau dans la nappe libre ou dans la nappe captive, un puits de pompage qui permet d'alimenter en eau potable les villes ou les industriels en eau potable, et vous avez enfin la rivière qui est représentée ici sur cette maquette	00:33-01:00	00 :27
7	Insert + gros-plan	Pour étudier la vitesse à laquelle circule l'eau et comment elle se comporte dans le milieu souterrain, ce qu'on utilise souvent c'est des traceurs	01:00-01:07	00 :07
8	plan américain	qui peuvent être des colorants et on les injecte	01:07-01:10	00 :03
9	Gros-plan Insert	directement	01:10-01:11	00 :01
10	Insert + gros-plan	dans le milieu souterrain	01:11-01:14	00 :03
11	plan américain	dans les nappes	01:14-01:15	00 :01
12	Insert	que l'on veut étudier	01:15-01:16	00 :01
13	plan américain	et on regarde comment ces colorants	01:16-01:19	00 :03
14	Insert **[Accélération]**	se déplacent dans le milieu, à quelle vitesse, comment ils se diffusent	01:19-01:24	00 :05 **[durée réelle :**

				2 min]
15	plan américain	et regardez bien le colorant qu'on a mis dans la nappe libre, il vient rejoindre directement la rivière	01:24-01:31	00 :07
16	Insert + gros-plan	preuve que les rivières sont en connexion directe avec les nappes	01:31-01:34	00 :03
17	plan américain	alors que dans la nappe captive, le colorant ne remonte pas du tout, il poursuit son cheminement.	01:34-01:39	00 :05
18	plan rapproché	Quand on met le puits de pompage en route, ce qu'on peut voir,	01:39-01:41	00 :02
19	Insert + gros-plan	c'est la baisse du niveau de la nappe, associée également à la baisse du niveau de la rivière si ce pompage est trop fort	01:41-01:50	00 :09
20	Insert + gros-plan	Quand la rivière est à sec, ce qu'on peut voir c'est que si on réinjecte notre colorant,	01:50-01:58	00 :07
	Insert **[Fondu]**		01:57-01:58	00 :01 **[durée réelle : 2 min]**
21	Insert + gros-plan	on voit cette fois-ci que la nappe n'alimente plus la rivière mais poursuit son cheminement.	01:57-02:05	00 :08
22	plan américain	Donc voilà, sur cette maquette, je vous ai présenté un certain nombre de principes, d'objets d'études que nous réalisons	02:05-02:14	00 :09
23	plan rapproché	Alors forcément dans la nature on n'utilise pas des colorants rouges comme ceux-ci mais plutôt des traceurs en toute petite quantité, voire, certains chercheurs utilisent, la température, font des pulses d'eau chaude pour essayer de comprendre comment l'eau circule à l'intérieur des roches et d'un puits à un autre.	02:14-02:30	00 :16
24	plan rapproché	On a aussi un certain nombre d'études qui sont faites sur le temps que met l'eau pour circuler, sur la vitesse à laquelle l'eau circule,	02:30-02:38	00 :08
25	plan rapproché	de façon à mieux comprendre, dans le cas d'une pollution, pendant combien de temps cette pollution va rester dans le milieu souterrain et dans combien de temps on va récupérer une meilleure qualité de l'eau.	02:38-02:48	00 :10
26	plan américain	Toutes ces études que nous réalisons sont faites pour préserver la qualité de notre eau souterraine et bien sûr, du coup, la qualité de notre eau du robinet.	02:48-02:56	00 :08
	Animation	Références sur le générique	02:56-03:00	00 :03

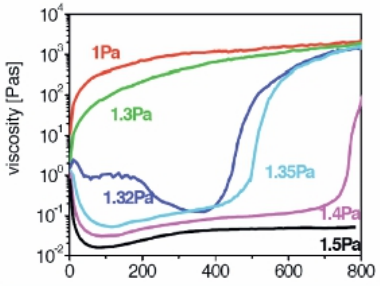
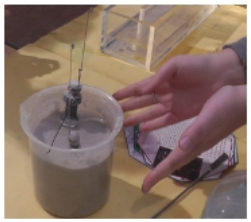
Annexe 10 - Première analyse des dispositifs du stand « Le sable dans tous ses états » par le chercheur

phénomène	dispositif	faits partagés ou non partagé	formalisation mathématique ? ou en cours	Attribution du dispositif exposé
blocage des grains dans les tuyaux ou récipients éclatement des silos à grains	la colonne de pois chiche bâton collé	Chemins de forces Redirection des forces	Janssen (1895) Dispositif expérimental non instrumenté	
l'empreinte de pied dans le sable mouillé	Bassin de sable mouillé bouteille arrangement de cylindres	La dilatance	Reynolds (1885) Exemples donnés par Reynolds	
Un sablier où le sable s'écoule par intermittence (dysfonctionnement)	sablier intermittent	Effet de voûte	Équipe de l'IPR (1993) Dispositif expérimental non instrumenté	
Ségrégation granulaire Séparation des grains de tailles différentes (dé-mélange)	Sablier à ségrégation Tambour à ségrégation Pot et vibrations (Noix du Brésil)	Écoulement de particules Déstabilisation des milieux granulaires	*En cours* Équipe de l'IPR dont Mickaël et (Félix, 2002)	sabliers, plans inclinés et tambours utilisés dans les collectifs sur les granulaires
Sables mouvants	modèle analogique	Thixotropie Poussée d'Archimède	*En cours*	Equipe de Daniel Bonn (2005)
Rides de sables	micro-chenal	Transports granulaires Formation des dunes	*En cours* Équipe dont Lucie	Sir Bagnold Équipe de l'IPR (2011)

Annexe 11 - Tableau synoptique : traduction du phénomène des sables mouvants 1/2

Vie quotidienne, réalité localisée	Simulations en laboratoire « *sinking test* »	Simulation avec le modèle version « *cartoon* »	Simulation avec le modèle « grand public » de l'IPR
Pratique : rencontre (fortuite ou pas) avec des sables mouvants	Pratique : recherche sur la variation de la viscosité de matières thixotropiques en fonction du stress Recherche sur le rôle de chaque composant (particulièrement l'argile et le sel)	Pratique : didactisation du phénomène des sables mouvants, en relation avec une pratique humaine : la rencontre de sables mouvants Explication, dans un second temps : rôle de l'argile, impact de la densité sur l'enfoncement (poussée d'Archimède)	Pratique : didactisation du phénomène des sables mouvants, en relation avec une pratique humaine : la rencontre de sables mouvants Explication, dans un second temps : rôle de l'argile, impact de la densité sur l'enfoncement (poussée d'Archimède)
Sables mouvants de la baie du Mont-Saint-Michel, ou du lac de Qom (Iran)	Sable mouvant réel et Sable mouvant de laboratoire : mélange eau + sel + sable + argile Variables : proportion des composants	Sable mouvant de laboratoire Densité non communiquée	Modèle analogique de sable mouvant Mélange eau + sel + sable + argile (Densité proche de 3)
Humain ou animal	L'équipe de Bonn simule l'enfoncement d'une personne dans un sable mouvant, avec une bille (densité proche de 1) posée sur un sable mouvant (de laboratoire).	Figurine Taz à la densité proche de 1	Figurine (Ω) avec une densité proche de l'homme (densité proche de 1)
Objet ayant une densité beaucoup plus forte que celle de l'homme et du sable mouvant	?	0	Figurine (Pb) de plomb (densité proche de 11)
Déplacement sur les sables mouvants Action 1 : Station immobile possible sur les sables mouvants Action 2 : Piétinements humains plus ou moins forts	Mouvement imposé à la matière (stress), avec un pot vibrant Amplitudes variées mesurées	Mouvement imposé au système (stress) : Amplitudes croissantes	Action 1- Dépôt des figurines (Ω et Pb) sur les sables mouvants Action 2- Agitation ou vibration du sable mouvant autour des figurines

Didactisation de pratiques de savoir scientifiques, transactions avec des publics scolaires et non scolaires

Phénomène observé Effet 1 : l'humain ou l'animal qui ne s'agite pas ne s'enfonce pas. Effet 2 : l'humain qui s'agite s'enfonce, mais ne coule pas. Photogramme extrait du documentaire (« Est-il possible de se sortir des sables mouvants ? », 2012, tc 13:46)	 ▲ Fig. 1: Liquefaction of quicksand under stress: viscosity measurements show that there can be almost a factor of 1 million difference between quicksand in its normal 'solid' state, and quicksand that has been liquefied because it was disturbed too much (a too large stress was applied to the system). La viscosité varie avec l'augmentation de l'amplitude appliquée. Selon la viscosité » de la matière testée, plus l'amplitude augmente, plus la viscosité augmente ou au contraire, la viscosité diminue . Il y a une liquéfaction de la matière (cas des sables mouvants)	Enfoncement de la figurine Taz jusqu'à un certain point, et flottaison, quelle que soit l'amplitude des mouvements appliqués au système. Taz ne coule pas. 	Effet 1- les figurines (Ω et Pb) ne s'enfoncent pas  Effet 2- Ω surnage et ne coule pas quel que soit le temps de l'agitation - Pb coule complètement et rapidement
Échappée (sauvetage) des sables mouvants : difficulté d'extraire ses jambes emprisonnées ; nécessité d'une technique.	Calcul de la force nécessaire pour retirer un pied d'un sable mouvant (caractéristiques données) à une vitesse de 1cm/s : 10^4N.		Retrait des figurines des sables mouvants : résistance ressentie au toucher

Démonstration de Bonn (lors d'une émission de télévision) plus proche de ses travaux de laboratoire sur la viscosité : l'agitation d'un sable mouvant de laboratoire. Au repos, il est solide. Agité il devient liquide, comme le yaourt. Le sable mouvant solide et le sable mouvant liquéfié, après agitation du flacon. (« Est-il possible de se sortir des sables mouvants ? », 2012, *tc 02:43 et 02:50*)

Annexe 12 - Un exemple-exemplaire – La dilatance de Reynolds

Présentation au séminaire action[173], le 14-04-2014

L'empreinte de pied mouillée dans le sable, un *exemple exemplaire*

J'avais l'ambition d'extraire de mon travail un *exemple exemplaire* (Kuhn, 1977) et de vous le présenter, mais la tâche s'est avérée plus complexe que ça, aussi je vous expose l'état de ma réflexion autour des concepts d'*exemple-exemplaire* et de *matrice disciplinaire*.

La découverte et l'explication d'un phénomène physique familier

Dans le cadre de ma thèse, j'enquête dans un labo de physique de Rennes 1, auprès de doctorants qui ont animé un atelier à la Fête de la science, pour des scolaires. Le stand encadré par l'équipe de doctorants s'intitulait "le sable dans tous ses états" ; la thématique est celle du sable, sec ou humide, et plus généralement des granulaires, des matières en grains : du sac de billes au paquet de café, en passant par le sable sur la plage…
Je vous propose de découvrir ce dont nous allons parler, avec un petit film (1 min 20 sec). Il s'agit, dans un premier temps d'évoquer un phénomène physique qui devrait vous être familier, s'il vous arrive de marcher pieds nus au bord de l'eau.

Wet sand effect : http://www.youtube.com/watch ? v=B_qRh5Y-hO8

La vidéo se décompose en 3 épisodes :

- Le phénomène naturel :
  1- Une expérience (de vie) partagée par beaucoup d'entre nous. Ces quelques secondes de film parlent à tous ceux qui se sont promenés au bord de l'eau et qui ont observé le sable s'assécher autour de leurs pieds.
- Deux expériences (dans les deux cas, pour mettre en évidence le phénomène, l'eau a été colorée) :
  2- Le "modèle analogique" de l'empreinte de pied mouillée dans le sable [sable + eau + pression sur la surface]. Le modèle analogique propose une expérience analogique au phénomène naturel : Le doigt est l'analogue du pied. La plage artificielle est l'analogue de la plage, le contenant n'ayant pas d'influence sur le résultat de l'expérience.
  3- Une seconde expérience (bouteille de sable et d'eau) contre intuitive, celle-là, où l'analogie n'est pas immédiate. La pression est exercée sur le volume de sable, et non pas en surface.

Nous pouvons observer que

- autour du pied posé (1), et de la pression du doigt (2), le sable s'assèche.
- en exerçant une pression sur un mélange de sable et d'eau (3), l'eau n'est pas expulsée comme elle le ferait si l'on pressait sur une éponge. Le niveau d'eau descend dans le tube.

173 Séminaire *Action et geste du professeur*, organisé au sein de l'IUFM puis de l'ESPE de Bretagne.

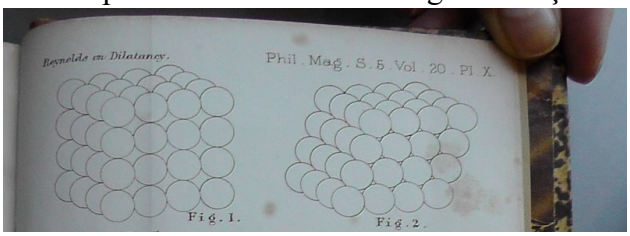
De l'exemple exemplaire au modèle explicatif

Osborne Reynolds

Cette propriété des matières granulaires a été appelée ***dilatance*** par Reynolds, physicien irlandais (1842-1912). Il illustre le phénomène de dilatance avec plusieurs artefacts dont l'évocation de l'empreinte de pied mouillée dans le sable et la manipulation d'un ballon de caoutchouc plein de sable et d'eau que l'on presse. C'est quand il a eu l'intuition du phénomène, qu'il a conçu ce montage avec le sac de caoutchouc pour sa propre satisfaction (Extrait n°2, p.459). Il mentionne ces deux expériences parmi d'autres, dans son article initial du *Philosophical magazine* (1885) et dans son discours à l'Institut Royal de Londres (1886).

La dilatance peut s'expliquer ainsi : Une même masse de granulaire, suivant comment elle est organisée (arrangée), n'a pas le même volume. Reynolds a proposé un modèle explicatif en annexe de son article.

L'illustration montre deux empilements de billes arrangés de façons différentes : il y a plus



Extrait de la planche X de l'article de Reynolds (1885).

d'espaces entre les billes de la figure 1 qu'entre les billes de la figure 2.

Au repos, le sable est tassé comme sur la figure 2. Quand le pied exerce une pression sur le sable, le sable se désorganise, les grains roulent les uns sur les autres et créent des espaces entre eux (fig.1). Le milieu granulaire augmente de volume et absorbe l'eau.

"*Les modèles fournissent au groupe les analogies qu'il préfère." (Kuhn, 1990, p. 397)* Celui-ci est ici un modèle heuristique.

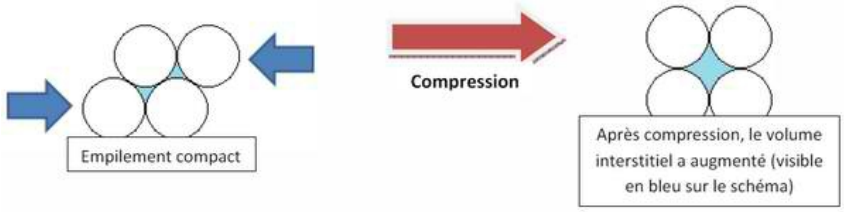
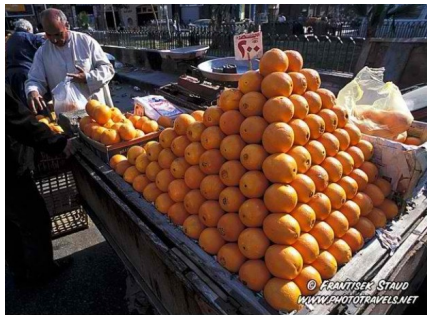


Schéma explicatif de la dilatance, sur un poster de la Fête de la Science

- Notons que ce modèle présente des billes sphériques, régulières et de même taille. Les physiciens du sable utilisent encore ce modèle pour expliquer la dilatance.

- Les posters de la FDS pour le grand public expliquent la dilatance avec un schéma en 2D ;
- les doctorants, médiateurs à la FDS ont adopté le modèle proposé par leur assistant ingénieur, un modèle "3D" basé sur le modèle 2D (vidéo).
- Dans la littérature scientifique pour grand public ce modèle est illustré par l'arrangement des tas d'oranges sur l'étal des maraîchers : optimisation de l'espace avec l'arrangement le plus dense possible.



Tas d'oranges, selon l'arrangement le plus dense

Un système "exemple exemplaire – modèle" pour le grand public

Dans tous les documents rencontrés sur la dilatance, l'empreinte de pied mouillée dans le sable apparaît. L'empreinte de pied mouillée dans le sable me parait être un **exemple exemplaire de la dilatance** véhiculé par la communauté scientifique de la physique des granulaires, pour un public plus large. Reynolds dit qu'il espère que ces expériences rendront intelligible le phénomène de la dilatance, même si elles ne sont pas à l'origine de sa découverte. Il accompagne cet exemple exemplaire d'un **modèle.** La communauté scientifique l'adopte pour expliquer le phénomène de la dilatance au grand public. Il me semble que la communauté scientifique partage avec un public plus large, le système "exemple exemplaire – modèle".

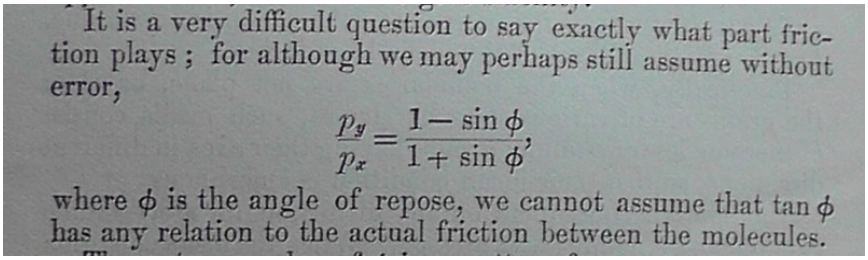
La dilatance dans la communauté scientifique de la physique des granulaires

Cet exemple exemplaire de l'empreinte de pied dans le sable et ce modèle de la dilatance ne sont pas les seuls utilisés par la communauté des physiciens des matières granulaires.
Le modèle avec l'empilement des billes sphériques est encore utilisé, par exemple en cristallographie, ou dans des expériences de laboratoire sur les granulaires. En effet, les matériaux utilisés sont le plus souvent des billes de verre ou des petits disques bien calibrés.
Le modèle et ses limites : dans la nature les granulaires se présentent sous des aspects plus complexes : les grains ne sont pas forcément sphériques, ne sont pas forcément tous de la même nature et de la même forme, et ne sont pas forcément tous de la même taille. *Tu crois que ton panier est plein lorsque tu l'as rempli avec des oranges. En réalité, il est plein de vide car tu peux encore y mettre des noix, puis des pois chiches (maxime arabe).*
L'exemple récurrent (exemplaire ?) utilisé dans la communauté des physiciens des granulaires est plus difficile d'accès pour le grand public que celui de l'empreinte. Reynolds a donné d'autres exemples qui permettent l'observation de la dilatance et qui sont aujourd'hui préférés à l'intérieur de la communauté. Cependant, ils n'ont pas eu le même succès auprès du grand public, car ils ne sont pas tous accessibles au public qui n'a pas un background scientifique suffisant. En effet, les expériences proposées précédemment mettent en jeu des éléments solides et de l'eau qui vient combler les interstices. L'autre fluide en jeu dans la dilatance et évoqué par Reynolds est l'air. Or, les expériences avec de l'eau sont plus visuelles, et donc plus intelligibles, que les expériences avec de l'air, qui est une matière invisible.
Pour faciliter la compréhension de la suite, je vous propose une interprétation moderne d'un exemple donné par Reynolds. Un bel effet de dilatance est celui que l'on peut observer avec un paquet de café sous vide (ou un paquet de cacahuettes sous vide). Tant qu'il est sous vide, il n'est pas déformable. Pour changer de forme, le milieu granulaire doit créer des espaces

entre les grains. Sous vide, par définition, il n'y a pas d'air, les grains ne peuvent donc pas bouger. Par contre, si l'on perce l'enveloppe, l'air entre dedans, et les grains peuvent rouler les uns sur les autres. Le paquet devient déformable.
Les scientifiques évoquent peu cette expérience au grand public, mais elle est fondamentale dans leur communauté. Le paquet de café sous vide est une interprétation moderne d'une expérience citée par Reynolds : "*Un matériau granulaire fortement compacté et placé dans une enveloppe flexible, voit invariablement son volume augmenter lorsque cette enveloppe est déformée. Si cette enveloppe est inextensible mais déformable, aucune déformation n'est possible jusqu'à ce que les forces appliquées brisent l'enveloppe ou fractionnent le matériau granulaire.*" ***Cette observation est demeurée jusqu'à présent l'un des grands principes de la physique des matériaux granulaires. Elle constitue ce qui est maintenant connu sous le nom de "principe de dilatance" de Reynolds***. *(Duran, 1997, p. 84)*
Cet exemple n'a pas eu le même impact que "l'empreinte de pied" sur le grand public, cependant, quand les chercheurs sur les granulaires mentionnent la dilatance aujourd'hui, ils évoquent plutôt les grains compactés sous vide, comme le café ou les cacahuettes.

La généralisation symbolique

Une dimension manque à la représentation de la dilatance dans la communauté scientifique : c'est la généralisation symbolique. Pour s'adresser à sa communauté, Reynolds doit s'appuyer sur un background commun, celui de la gravitation et des propriétés physiques de la matière, et celui du raisonnement mathématique. Dans son article de 1885, Reynolds indique que les expériences citées servent à rendre intelligible la dilatance, mais que cette propriété ne peut être déduite que par un raisonnement mathématique. Aussi, il propose à la communauté des formalisations mathématiques de la dilatance.


It is a very difficult question to say exactly what part friction plays ; for although we may perhaps still assume without error,

$$\frac{p_y}{p_x} = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi},$$

where ϕ is the angle of repose, we cannot assume that $\tan\phi$ has any relation to the actual friction between the molecules.

Extrait de démonstration mathématique (Reynolds, 1885, p. 472)

Encore aujourd'hui, la communauté des scientifiques des matières granulaires utilise les lois de Reynolds applicables pour ses problèmes de recherche. Le concept de dilatance et les formules proposées par Reynolds font encore autorité de nos jours.

Un collectif de pensée

Antoine, l'un des doctorants sur lequel j'enquête, étudie les failles de cisaillements, les ruptures qui se produisent dans un granulaire préalablement compacté et soumis à une forte pression. Alors que je parcourais avec lui l'article de Reynolds (1885), il s'est arrêté sur une formule et m'a montré que son directeur venait de lui demander d'en refaire une démonstration, le matin même. La page était encore sur son bureau. J'en déduis que le principe de dilatance, sous cette forme, dans cette représentation, doit faire partie de son métier et le directeur forme son doctorant dans ce sens. Selon Kuhn, *"une communauté scientifique consiste en praticiens d'une discipline scientifique. Ces praticiens, liés par des éléments communs de leur formation et de leur apprentissage, se voient – et ils sont vus ainsi par les autres – comme des hommes responsables de la poursuite d'un ensemble de buts communs dont la formation de leurs successeurs."* (Kuhn, 1990, p. 394) Dans les *"objets d'adhésion du groupe", "la matrice*

disciplinaire" de cette communauté scientifique du tas de sable, on peut identifier *"la généralisation symbolique"* formalisée dans cette équation de Reynolds. On peut raisonnablement admettre que les exemples de Reynolds font aussi partie de la matrice disciplinaire des chercheurs sur les milieux granulaires. Antoine et son directeur ont un background commun autour de la manip sur laquelle travaille le doctorant, en lien direct avec l'exemple exemplaire du *milieu granulaire fortement compacté dans une enveloppe et qui subit une forte pression*. Avec Kuhn, nous appelons "*exemples exemplaires"*, les *"solutions de problèmes concrets, acceptés par le groupe comme paradigmatiques"* (ibid., p. 397)

Un système "exemple exemplaire – modèle – généralisation symbolique" pour la communauté des physiciens des milieux granulaires

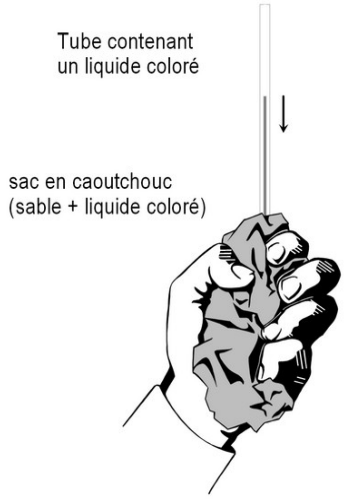
La communauté a son exemple exemplaire, celui des grains fortement compactés sous vide, un modèle, même minimal, et des lois symboliques, trois éléments de la matrice disciplinaire selon Kuhn, pour représenter le principe de la dilatance, le transmettre aux doctorants et l'utiliser dans les recherches.

La matrice disciplinaire que l'on trouve dans la communauté des physiciens est plus large (plus complète ?) que le système exemple-exemplaire associé au modèle véhiculé auprès du grand public. Ce dernier n'a pas le background nécessaire pour la compréhension totale du phénomène, et surtout, il n'a pas l'utilité des lois symboliques dans son quotidien.

Quelques extraits

Extrait n°1 : This newly recognised property of granular masses which I have called dilatancy will, it may be hoped, be rendered intelligible by the experiments, but it was not by these experiments that it was discovered. (Reynolds, 1886, p.350)

Extrait n°2 : This experiment, which you see is on a very small scale, was not designed to show to an audience ; it was the original experiment which was made for my own satisfaction, when the idea of dilatancy first presented itself. The result but for the knowledge of dilatancy would appear paradoxical, not to say magical. When we squeeze a sponge between two planes, water is squeezed out ; when we squeeze sand, shot, or granular material, water is drawn in. (ibid., p. 354)



Expérience pour illustrer la dilatance décrite par Reynolds dès 1885 (Duran, 1997)

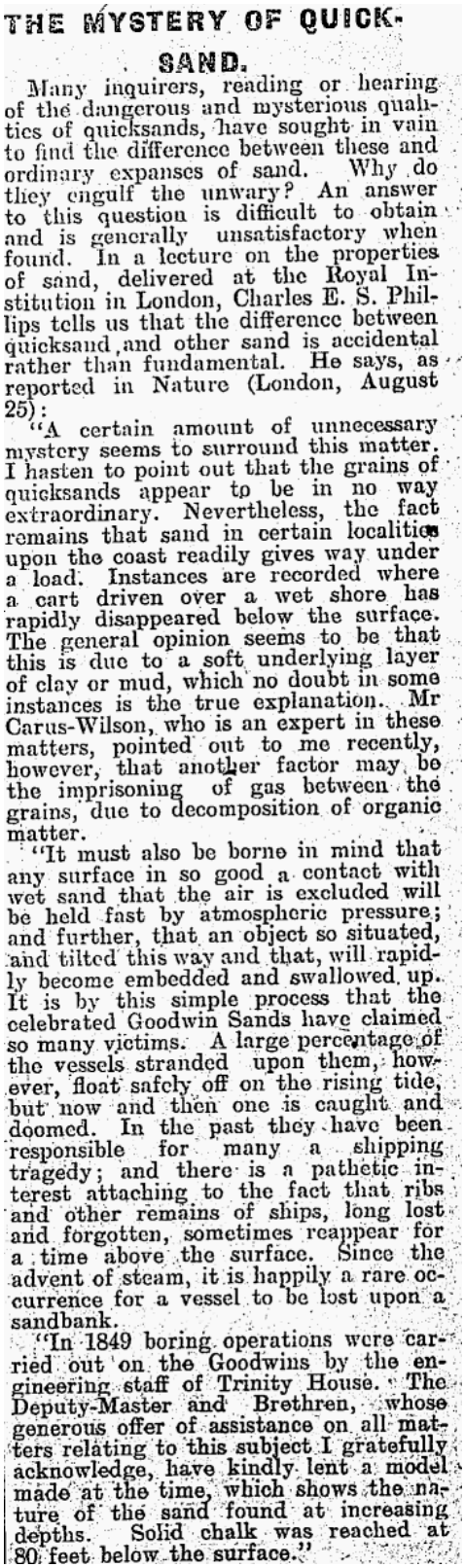
Extrait n°3 : I have now shown as fully as time will allow, the experiments which afford evidence of the existence of the property of dilatancy, and how it explains natural phenomena hitherto but little noticed. Beyond affording evidence of the existence of the property of dilatancy, these experiments have no direct connection with gravitation or the physical properties of matter. These properties cannot be deduced by direct experiment on granular material, for the simple reason that the grains of the medium which constitutes the æther must be free from friction, while the grains with which we work are subject to friction. These properties can only be deduced by mathematical reasoning, into which I will not drag you to-night. (ibid, p. 358)

Cette propriété, récemment reconnue des masses granulaires que j'ai appelée dilatance sera, on peut l'espérer, être rendue intelligible par ces expériences, mais ce n'est pas par ces expériences qu'elle a

été découverte. (Reynolds, 1886, p. 350)

La dilatance (empreinte de pied mouillée sur le sable) n'a été identifiée comme un paradoxe apparent qu'en 1885 par O. Reynolds. On l'explique simplement par un modèle minimal du sable constitué de sphères dures avec friction tangentielle infinie, empilées en tétraèdres et constituant un graphe (Delone). La poussée verticale du pied, une contrainte uniaxiale, cisaille le sable, force les grains à rouler les uns sur les autres, et les circuits impairs à s'ouvrir. Sous le pied, chaque tétraèdre se déforme pour ouvrir ses circuits triangulaires, augmente son volume et absorbe l'eau, qui est expulsée dans l'empreinte laissée par le pied. (Rivier, 2013)

Annexe 13 - Sables mouvants – Extrait du journal Oamaru Mail (Nouvelle Zélande)



THE MYSTERY OF QUICK-SAND.

Many inquirers, reading or hearing of the dangerous and mysterious qualities of quicksands, have sought in vain to find the difference between these and ordinary expanses of sand. Why do they engulf the unwary? An answer to this question is difficult to obtain and is generally unsatisfactory when found. In a lecture on the properties of sand, delivered at the Royal Institution in London, Charles E. S. Phillips tells us that the difference between quicksand and other sand is accidental rather than fundamental. He says, as reported in Nature (London, August 25):

"A certain amount of unnecessary mystery seems to surround this matter. I hasten to point out that the grains of quicksands appear to be in no way extraordinary. Nevertheless, the fact remains that sand in certain localities upon the coast readily gives way under a load. Instances are recorded where a cart driven over a wet shore has rapidly disappeared below the surface. The general opinion seems to be that this is due to a soft underlying layer of clay or mud, which no doubt in some instances is the true explanation. Mr Carus-Wilson, who is an expert in these matters, pointed out to me recently, however, that another factor may be the imprisoning of gas between the grains, due to decomposition of organic matter.

"It must also be borne in mind that any surface in so good a contact with wet sand that the air is excluded will be held fast by atmospheric pressure; and further, that an object so situated, and tilted this way and that, will rapidly become embedded and swallowed up. It is by this simple process that the celebrated Goodwin Sands have claimed so many victims. A large percentage of the vessels stranded upon them, however, float safely off on the rising tide, but now and then one is caught and doomed. In the past they have been responsible for many a shipping tragedy; and there is a pathetic interest attaching to the fact that ribs and other remains of ships, long lost and forgotten, sometimes reappear for a time above the surface. Since the advent of steam, it is happily a rare occurrence for a vessel to be lost upon a sandbank.

"In 1849 boring operations were carried out on the Goodwins by the engineering staff of Trinity House. The Deputy-Master and Brethren, whose generous offer of assistance on all matters relating to this subject I gratefully acknowledge, have kindly lent a model made at the time, which shows the nature of the sand found at increasing depths. Solid chalk was reached at 80 feet below the surface."

(« The Mystery O03f Quicksand. », 1910, p. 3)

Annexe 14 - Sables mouvants – Extrait d'un manuel américain de génie civil

the force applied to the supporting screen by the soil sample in Fig. 17.12 is computed first from total soil weight plus boundary water forces, and then by submerged soil weight plus seepage force (it is assumed no force is transferred to the tube by friction between the soil and tube). As can be seen, the two methods give exactly the same answer as, in fact, they must. If boundary water forces are used to compute the equilibrium forces on an element of soil, then the seepage force *must not* be added. To do so means that the effect of flowing water is included twice.

When using boundary water forces plus total weight, we are in effect considering the equilibrium of the entire soil. The seepage force is an internal drag force by water against skeleton and reaction by skeleton against water. This force between phases has no effect on the equilibrium of the overall soil. When using seepage force plus submerged unit weight, we are in effect working with the equilibrium of the mineral skeleton.

In this section we have analyzed a simple flow situation in considerable detail. A number of important and useful principles have been presented for this case; these principles hold for the most complex flow situations. A restatement of these important principles follows.

1. The *boundary water* forces acting on a soil element equal the *buoyancy* force plus the *seepage* force.
2. To analyze the forces acting on an element we can use either *boundary water* forces with *total* weights or *seepage* forces with *submerged* weights. (Although the two methods give exactly the same answer, the use of boundary forces and total weights is nearly always the more convenient method.)
3. The seepage force per unit soil volume j is equal to the total head gradient i times the unit weight of permeant γ. In an isotropic soil the seepage force always acts in the direction of flow.

17.9 QUICK CONDITION

As discussed in Chapter 11, the shear strength of cohesionless soil is directly proportional to the effective stress. When a cohesionless soil is subjected to a water condition that results in zero effective stress, the strength of the soil becomes zero; a *quick condition* then exists. A quick condition is, in other words, one where the shear strength of a soil is zero due to the absence of effective stress. Because cohesive soils can have strength even at zero effective stress, they do not necessarily become quick at zero effective stress.

The effective stress obviously is zero when the pore pressure equals the total stress. There are two common situations in soil mechanics where this equality arises:

1. An upward fluid flow of such magnitude that the total upward water force equals the total soil weight (for an unloaded soil element), i.e., the seepage force equals the submerged soil weight.
2. A shock on certain loose soils which causes a volume decrease in the soil skeleton with the result that the effective stress is transferred to pore pressure (see Part V).

As we saw in Fig. 17.12, the effective stress at the bottom of the soil element was almost zero. As a matter of fact, from the information in Fig. 17.16, we can determine the upward gradient necessary to make the effective stress at the bottom of the soil sample equal to zero. For $\bar{\sigma}$ to be zero,

$$LA\gamma_b - hA\gamma_w = 0$$

or

$$\frac{h}{L} = i = \frac{\gamma_b}{\gamma_w}$$

or

$$i_{\text{critical}} = i_c = \frac{\gamma_b}{\gamma_w} \tag{17.5}$$

The gradient required to cause a quick condition, termed critical gradient i_c, is equal to buoyant weight/unit weight of water. Since the ratio γ_b/γ_w is usually close to unity, the critical gradient is approximately equal to 1. Note that the flow must be vertically upward—opposite in action to the soil unit weight—for Eq. 17.5 to hold; also, Eq. 17.5 requires that the soil element be unloaded—the vertical effective stress in the element with no flow must depend only on the buoyant unit weight. In any soil where strength is proportional to effective stress, an upward gradient of γ_b/γ_w will cause zero strength, or a quick condition.

A more general way to determine the likelihood of a quick condition is to work with the effective stress equation. Consider, for example, the situation shown in Fig. 17.17. The effective stress at point A is

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u = (a\gamma_w + b\gamma_t + \Delta q_s) - h\gamma_w$$

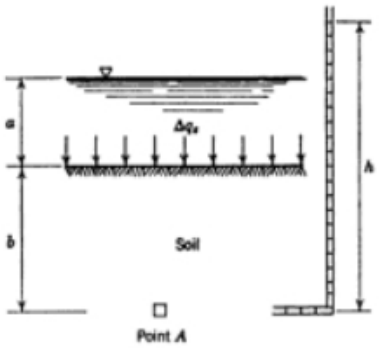


Fig. 17.17 Upward flow in soil.

(Lambe & Whitman, 1969, p. 264)

If the soil is cohesionless, the strength becomes zero when $\bar{\sigma}_v$ becomes zero. For the special case of $\Delta q_t = 0$ and $a = 0$, our equation reduces to

$$\bar{\sigma}_v = b\gamma_t - h\gamma_w$$

and

$$i = \frac{\Delta h_t}{b} = \frac{h - b}{b} \quad \text{or} \quad h = b(i + 1)$$

and

$$\bar{\sigma}_v = b\gamma_t - b(i + 1)\gamma_w$$

For quick condition, $\bar{\sigma}_v = 0$ and $i = i_c$, so that

$$\gamma_t = \gamma_w + i_c\gamma_w$$

and

$$i_c = \frac{\gamma_t - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{\gamma_b}{\gamma_w}$$

This expression is the same as Eq. 17.5.

The nontechnical literature[3] abounds with stories of "quicksand" sucking victims beneath the surface of the soil and drowning them. In fact, quicksand is a liquid of unit weight twice that of water. There is therefore no suction and a person would float with about half of his body out of quicksand.

In summary, we can note:

1. "Quick" refers to a condition and not a material.
2. Two factors are required for a soil to become quick: strength must be proportional to effective stress and the effective stress must be equal to zero.
3. The upward gradient needed to cause a quick condition in unloaded cohesionless soil is equal to γ_b/γ_w and is approximately equal to 1.
4. The amount of flow required to maintain a quick condition increases as the permeability of the soil increases.

17.10 THE VALIDITY OF DARCY'S LAW

The material in this chapter is based on Darcy's law. Let us now consider the conditions wherein this expression is valid.

Studying flow through pipes, Reynolds found a critical velocity, v_c, which he expressed in terms of the Reynolds number R, where

$$R = \frac{v_c D\gamma_w}{\mu g}$$

where

D = pipe diameter
γ_w = unit weight of water
μ = viscosity of water
g = acceleration of gravity

[3] See, for example, "Quicksand—Nature's Terrifying Death Trap," *Reader's Digest*, p. 140 (Dec. 1964).

Many experimenters have attempted to use Reynolds' concept to determine the upper limit of the validity of Darcy's law. This work is described and discussed by Muskat (1946) and Scheidegger (1957). In soils, D is taken as the average particle diameter or the average pore diameter. The values of R for which the flow in porous media become turbulent have been measured as low as 0.1 and as high as 75 (see Scheidegger, 1957). Scheidegger feels the main reason that porous media do not exhibit a definite critical Reynolds number is probably because soil cannot accurately be represented as a bundle of straight tubes.

The value of D corresponding to a Reynolds number of 1 is approximately $\frac{1}{2}$ mm, which is in the coarse sand range. At any rate, coarse sand appears to be the most pervious soil through which laminar flows occurs.

There is some experimental evidence to suggest that in soils of very low permeability a threshold gradient of as much as 20 to 30 may be required to initiate flow. However, much of these data have been questioned. Scheidegger (1957) discusses several reasons why flow through very small openings may not follow Darcy's law.

There is an overwhelming mass of undisputed evidence which shows that Darcy's law holds in silts through medium sands. The same can be said for steady-state flow through clays. For soils more pervious than a medium sand, the actual relationship between gradient and velocity should be determined experimentally for the particular soil and void ratio under study.

17.11 SUMMARY OF MAIN POINTS

1. In soils finer than coarse sands $v = ki$.
2. There are three heads of importance to flow through porous media: elevation head, pressure head, and total head.
3. Flow depends on differences in total head.
4. The seepage force per volume of soil is $i\gamma_w$ and (for isotropic soil) acts in the direction of flow.
5. The equilibrium of a soil element can be evaluated on the basis of boundary water forces and total weights *or* of seepage forces and submerged weights.
6. "Quick" refers to a condition wherein a cohesionless soil loses its strength because the upward flow of water makes the effective stress become zero.

PROBLEMS

17.1 For the flow situation shown in Fig. 17.9, compute the vertical effective stress in the sand at elevation +4 ft. $G = 2.60$ and $S = 100\%$.

17.2 In a certain sand deposit the water table is at the ground surface. Compute the total stress, pore pressure, and effective stress on a horizontal plane at a depth of 15 ft for each of the following cases:

Annexe 15 - Sables mouvants – Extrait de Les légendes *du Mont-Saint-Michel*

Les dangers de la mer, du brouillard et des grèves

Il faut reconnaître que beaucoup de noyés et d'enlisés ont été victimes de leur témérité ou de leur insouciance. Le péril n'est pas nouveau. Les anciennes chroniques du Mont Saint-Michel et plus particulièrement l'Obituaire (manuscrit n° 215 de la Bibliothèque de la Ville d'Avranches), nous rapportent les accidents de tout genre qui survinrent au moyen-âge et dont plusieurs furent, à l'époque des grands pèlerinages, de véritables catastrophes. Les dévots de Saint-Michel du Péril, inconscients du danger, s'aventuraient, souvent sans guide, sur les grèves entourant le sanctuaire de l'Archange ; aussi l'Obituaire mentionne-t-il sur ses feuillets jaunis de nombreuses messes fondées pour le salut de ces âmes dont la dépouille mortelle est demeurée dans les sables ou au sein des flots.

Contre le brouillard, le seul remède paraît être le son ; aussi la cloche de brume, dont j'ai donné un petit historique dans l'Illustration (n° du 20 novembre 1915), a-t-elle rendu naguère de grands services aux pèlerins. Les dangers de l'enlisement sont moins grands ; il est rare qu'une personne, mettant le pied sur la tangue mouvante, n'ait pas le temps de se dégager, de revenir sur ses pas et de contourner le passage dangereux. L'enlisement, « la terre noyant l'homme », selon l'expression de Victor Hugo, est, plutôt rare. La mer est autrement redoutable. Elle ne monte pas sur les grèves avec la vitesse d'un cheval au galop ? c'est une légende ; c'est beaucoup moins sa rapidité que sa manière d'emplir la. baie qui est à craindre. Sillonnée par trois rivières, la Sée, la Sélune et le Couesnon, la baie reçoit aussi d'autres : petits ruisseaux, qui creusent, dans le sable, des lits capricieux. La mer, en remontant le cours des rivières et des rivulets et en rassemblant ses bras par des filandres, forme des îles qu'elle submerge peu à peu ; de tous les côtés, le flot s'avance et monte ; l'homme, qui s'est engagé sur cette partie : des grèves, qu'il croyait libre, revient en arrière et se dirige d'un autre côté ; il trouve bientôt la mer et est vite englouti. (Dupont, 1940, p. 172-173)

Annexe 16 - Sables mouvants – Extrait de Les misérables Tome V

V – POUR LE SABLE COMME POUR LA FEMME IL Y A UNE FINESSE QUI EST PERFIDIE

Il sentit qu'il entrait dans l'eau, et qu'il avait sous ses pieds, non plus du pavé, mais de la vase.

Il arrive parfois, sur de certaines côtes de Bretagne ou d'Écosse, qu'un homme, un voyageur ou un pêcheur, cheminant à marée basse sur la grève loin du rivage, s'aperçoit soudainement que depuis plusieurs minutes il marche avec quelque peine. La plage est sous ses pieds comme de la poix ; la semelle s'y attache ; ce n'est plus du sable, c'est de la glu. La grève est parfaitement sèche, mais à chaque pas qu'on fait, dès qu'on a levé le pied, l'empreinte qu'il laisse se remplit d'eau. L'œil, du reste, ne s'est aperçu d'aucun changement ; l'immense plage est unie et tranquille, tout le sable a le même aspect, rien ne distingue le sol qui est solide du sol qui ne l'est plus ; la petite nuée joyeuse des pucerons de mer continue de sauter tumultueusement sur les pieds du passant. L'homme suit sa route, va devant lui, appuie vers la terre, tâche de se rapprocher de la côte. Il n'est pas inquiet. Inquiet de quoi ? Seulement il sent quelque chose comme si la lourdeur de ses pieds croissait à chaque pas qu'il fait. Brusquement il enfonce. Il enfonce de deux ou trois pouces. Décidément il n'est pas dans la bonne route ; il s'arrête pour s'orienter. Tout à coup il regarde à ses pieds. Ses pieds ont disparu. Le sable les couvre. Il retire ses pieds du sable, il veut revenir sur ses pas, il retourne en arrière, il enfonce plus profondément. Le sable lui vient à la cheville, il s'en arrache et se jette à gauche, le sable lui vient à mi-jambe, il se jette à droite, le sable lui vient aux jarrets. Alors il reconnaît avec une indicible terreur qu'il est engagé dans de la grève mouvante, et qu'il a sous lui le milieu effroyable où l'homme ne peut pas plus marcher que le poisson n'y peut nager. Il jette son fardeau s'il en a un, il s'allège comme un navire en détresse ; il n'est déjà plus temps, le sable est au-dessus de ses genoux.

Il appelle, il agite son chapeau ou son mouchoir, le sable le gagne de plus en plus ; si la grève est déserte, si la terre est trop loin, si le banc de sable est trop mal famé, s'il n'y a pas de héros dans les environs, c'est fini, il est condamné à l'enlisement. Il est condamné à cet épouvantable enterrement long, infaillible, implacable, impossible à retarder ni à hâter, qui dure des heures, qui n'en finit pas, qui vous prend debout, libre et en pleine santé, qui vous tire par les pieds, qui, à chaque effort que vous tentez, à chaque clameur que vous poussez, vous entraîne un peu plus bas, qui a l'air de vous punir de votre résistance par un redoublement d'étreinte, qui fait rentrer lentement l'homme dans la terre en lui laissant tout le temps de regarder l'horizon, les arbres, les campagnes vertes, les fumées des villages dans la plaine, les voiles des navires sur la mer, les oiseaux qui volent et qui chantent, le soleil, le ciel. L'enlisement, c'est le sépulcre qui se fait marée et qui monte du fond de la terre vers un vivant. Chaque minute est une ensevelisseuse inexorable. Le misérable essaye de s'asseoir, de se coucher, de ramper ; tous les mouvements qu'il fait l'enterrent ; il se redresse, il enfonce ; il se sent engloutir ; il hurle, implore, crie aux nuées, se tord les bras, désespère. Le voilà dans le sable jusqu'au ventre ; le sable atteint la poitrine, il n'est plus qu'un buste. Il élève les mains, jette des gémissements furieux, crispe ses ongles sur la grève, veut se retenir à cette cendre, s'appuie sur les coudes pour s'arracher à cette gaine molle, sanglote frénétiquement ; le sable monte. Le sable atteint les épaules, le sable atteint le cou ; la face seule est visible maintenant. La bouche crie, le sable l'emplit ; silence. Les yeux regardent encore, le sable les ferme ; nuit. Puis le front décroît, un peu de chevelure frissonne au-dessus du sable ; une main sort, troue la surface de la grève, remue et s'agite, et disparaît. Sinistre effacement d'un homme.

Quelquefois le cavalier s'enlise avec le cheval ; quelquefois le charretier s'enlise avec la charrette ; tout sombre sous la grève. C'est le naufrage ailleurs que dans l'eau. C'est la terre noyant l'homme. La terre, pénétrée d'océan, devient piège. Elle s'offre comme une plaine et s'ouvre comme une onde. L'abîme a de ces trahisons. (Hugo, 1890, p. 217-219)

Annexe 17 - Sables mouvants, article du New York Times

FINDINGS

The Truth About Quicksand Is Beginning to Sink In

By KENNETH CHANG
Published: October 4, 2005

Sign In to E-Mail This
Printer-Friendly
Reprints
Save Article

BELLE
GET TICKETS

Real quicksand, the kind that is almost impossible to extricate yourself from, is not just water and sand. Salt and clay are also major ingredients in this B-movie plot device, scientists report in the current issue of Nature.

Enlarge This Image

"The Hound of the Baskervilles" (1959)/Photofest

Their study began when Dr. Daniel Bonn, a professor of physics at the University of Amsterdam, was in Iran a few years ago and saw signs warning of quicksand. Naturally, the warning prompted him to collect samples and he sank in to his ankles.

He quickly escaped, but even shallow quicksand can be hard to step out of. Back home, Dr. Bonn and his colleagues found out why. Sand grains in quicksand are usually loosely packed, with the clay acting as a fragile gel holding the grains together.

Hit with sudden force from, say, a hapless victim, the quicksand gel turns to liquid. Then salt causes clay particles to stick to one another instead of the sand grains, with the result that a victim ends up surrounded by densely packed sand.

The force needed to pull out a person immersed in quicksand is about the same needed to lift a car, Dr. Bonn said. The trick for escaping is to slowly wiggle the feet and legs, allowing water to flow in. People float in quicksand so it is also impossible to sink all the way in, but quicksand usually forms at river estuaries, so a captive could drown at high tide.

Illustration 150: Page web du New York Times du 4 octobre 2005

Annexe 18 - Émilie – Entretien préalable

Entretien avec Émilie dans mon bureau (27/09/2012) Durée 37 :06

tdp	loc.	Productions verbales ((et non-verbales))
1	C	**Tu m'as dit que tu participais à des activités au village des sciences qui a lieu à Cesson cette année/ voilà j'aimerais bien que tu me parles de la genèse du projet**
2	É	Au départ/ donc/ moi j'aime bien les sciences j'essaie d'en faire le plus possible dans ma classe et du coup du fait-là que j'avais un peu de temps je m'étais dit qu'y-avait certains ateliers qui m'intéressaient par rapport à ce que j'ai commencé à faire dans ma classe et notamment os et articulations y-avait un atelier sur os et articulations puisque je travaillais sur le corps humain les mouvements et puis je vais commencer un projet après les vacances euh normalement justement avec Rennes 1 on en reparlera je pense et avec les champs libres autour de la Terre la Lune et les planètes donc tout en faisant le lien entre/ différencier avec mes CE1 et mes CE2 c'est pas toujours évident mais quand j'ai vu les deux ateliers La ronde des planètes et Os et articulations à la fête de la science j'ai téléphoné voilà pour que ça fasse un complément de ce qu'on fait en classe puisque j'aime bien avec mes élèves que ce soit d'ailleurs en sciences ou en arts plastiques qu'ils aient aussi une approche autre que celle de la maîtresse sur ces domaines-là quoi par rapport aux apprentissages qui sont visés
3	C	**C'est quoi une approche autre/**
4	É	Ben justement d'avoir un intervenant extérieur alors moi là comme j'te disais j'vais je ne vais pas maîtriser car je n'ai pas pu assister à l'atelier et je ne sais pas DU TOUT ce qu'il va s'y présenter je vais découvrir en même temps que mes élèves
5	C	**Y-avait une possibilité de voir avant/**
6	É	Non je ne crois pas\ en tout cas quand j'ai téléphoné pour réserver/ c'est assez compliqué/ j'ai demandé/ et elle m'a dit qu'il n'y avait pas de visite enseignants prévue avant\ donc du coup voilà l'origine de cette visite\ et puis après/ l'idée c'est d'essayer de de/ et c'est aussi dans le cadre de mes fonctions de maître formateur puisque j'ai actuellement des PES ((professeurs des écoles stagiaires))/ et je voulais aussi leur montrer comment on peut exploiter une visite\ c'est aussi pour mes élèves mais aussi dans le cadre de cette formation-là/ à partir d'une sortie\ alors là c'est les sciences ça tombe bien parce qu'on est dedans/ mais comment on peut faire le lien avec un intervenant/ et quelle exploitation on peut en faire pour les élèves/ pour que ça reste intéressant pour eux et toujours dans le cadre des objectifs\ on en est toujours là\
7	C	**Et là tu auras des étudiants avec toi vendredi matin/**
8	É	Oui le truc c'est que/ en plus/ comme je participe au dispositif ASTEP j'aurai en plus 2 L3 ((étudiants en Licence troisième année))avec moi/mais c'est un pur hasard\
9	C	**Mais ce n'est pas eux qui vont voir l'exploitation/**
10	É	Non non c'est surtout les PES/ SI\ je vais tâcher de faire ça le

		vendredi pour que les L3 puissent voir l'exploitation de ce qu'elles auront vu avec moi en visite\
11	C	**C'est à dire que tu vas déjà exploiter ce que tu as vu/ vendredi après-midi/**
12	É	(0 :03 :44.6) Ben je vais commencer à faire un premier compte rendu de visite/ mais pas tout puisque moi aussi il faut que j'aie le temps de/ je ne peux pas tout exploiter parce qu'il faut que MOI/ j'intègre ce que je vais voir/ qu'est-ce qui va être exploitable justement/qu'est-ce que je vais mettre de côté/ voilà\ je ne vais pas tout exploiter je vais faire d'abord un premier compte-rendu de visite/ sur/ voilà/ ce qu'il y avait de formel et puis après/ peut-être/ pour tout ce qui concerne les apprentissages précis en lien avec les sciences\ ben je ferai ça la semaine d'après/ je vais différer\
13	C	**Qu'est-ce que tu appelles FORMel/**
14	É	FORMel/ ben c'est pour les enfants/ faire un compte-rendu de visite/ ben/ identifier plutôt en production d'écrits/ tu vois donc/ qu'est-ce qu'on a pris comme transport/ moi je vais sortir un plan de Rennes et un plan du trajet pour aller jusqu'à Cesson/ et ça/ c'est déjà préparé en amont tu vois/ et du coup aux enfants/ je vais leur demander de faire un premier compte-rendu/ un écrit une production d'écrit/ pas vraiment encore dans le cadre d'un exposé/ mais leur demander d'écrire par petits groupes voilà nous avons assisté à un atelier voilà/ plutôt dans un écrit\ voilà_ quand je dis formel/ voilà/ plutôt sur le déplacement/ et ce qu'on a vu/ avant de faire le lien sur l'approfondissement des notions-mêmes/ qu'est-ce qu'on a appris de plus/ grâce à cet atelier et qu'on aurait pas pu voir en classe\ et ça je ne pourrai pas le faire vendredi après-midi/ parce que moi/ il faut que j'aie un peu de temps\
15	C	**Ça signifie que ça entre dans tes motivations de faire SORTir la classe/ c'est important/**
16	É	Ouais CLAIRement\ c'est important/ et c'est important pour nous/ moi je sais qu'avec la visite de mes élèves j'apprends presque autant qu'eux/c'est un plus/
17	C	**Alors on apprend autre chose/**
18	É	On apprend autre chose\
19	C	**Et toi tu apprends aussi/**
20	É	Moi j'apprends aussi/ alors encore plus quand on fait des visites préparatoires/ ça c'est un plus/ mais sur le moment-même de la visite/ d'abord on apprend/ des fois MÊMe sur des notions\ moi je me souviens il y a quelques années/ quand on était allés aux Champs Libres ((CCSTI))sur Au fil des araignées ((exposition temporaire) j'ai appris PLEIN plein de choses sur les araignées/ que je ne connaissais pas/ donc ÇA/ c'est une PREMière chose au niveau du savoir-même\ au niveau SCIENtifique\ et après j'apprends aussi sur mes Élèves/ capter l'attention/ y-a quand même des choses qui\ même si nous/ en tant qu'enseignants/ on a des pratiques de classe qui font que ça fonctionne bien/ d'être dans un AUTre cadre avec un AUTre type d'intervenant/ forcément/ y-a le sujet qui est motivant/ mais je pense qu'on est/ OUI/ je pense qu'on apprend grâce à ça aussi/ ça dépend aussi des intervenants\ on est bien d'accord\

21	C	**Et ce que tu apprends sur les élèves/ ça ne dépend pas forcément/ pas de l'intervenant\ ça te sert en classe/**
22	É	Ah oui\ ça je pense que oui\ je pourrais pas te donner d'exemple précis mais/ j'ai l'impression que pour certains enfants/ dans le cadre très scolaire/ ben forcément on est assis à une table/ ben pour certains enfants/ la capacité d'attention et de concentration va être moindre que dans un autre lieu/ avec d'autres supports du coup\ parce que/ même si moi j'essaie de diversifier\ en faisant des recherches sur internet/ ou de faire des expériences et tout ça/ quand même/ d'avoir un autre interlocuteur\ de SORTir de la classe/ et ben je trouve que mes élèves sont plus attentifs\ plus concentrés\ pour les élèves qui seraient JUSTEment/ pas en difficulté mais PLUS difficiles à motiver/ à stimuler/ et en général OUI dans un autre cadre/ ça motive\ ce qui fait que dès que je peux/ là c'est les sciences/ mais je te dis quand je peux le faire en arts plastiques/ quand je peux le faire dans d'autres domaines/ j'ESsaie quoi\
23	C	**Donc c'est tes connaissances sur les élèves/ mais du coup/ les élèves/18> ça signifierait que les élèves aussi/ acquièrent plus de connaissances/ ou ils se comportent différemment/**
24	É	Ils se comportent\ ils acquièrent plus de connaissances/ disons que ce n'est peut-être pas sur les connaissances au même niveau/ mais oui/ je pense que dans certains cas/ ils acquièrent plus de choses puisque pour certains/ l'attention est plus vive\ donc je pense que ce n'est pas dénigrer notre façon d'enseigner/ je ne pense pas/ mais pour certains ils vont PLUS se souvenir de la visite aux Champs Libres par exemple/ que de la leçon faite en classe/ parce que leur concentration va être plus émoussée/la motivation va être différente/ je pense/ y-a quand même des élèves qui ont une attitude encore vis-à-vis de l'école/ euh\ c'est pas qu'ils disent j'aime pas l'école/ mais le cadre scolaire fait que ça les met dans des positions/ en retrait/ parfois\ voilà/ d'où l'intérêt de travailler avec des intervenants/ et de repartir de cette sortie-là de RÉ-exploiter cette intervention/ en disant ben TIENS/ rappelle-toi/ t'as vu ça avec l'intervenant/ monsieur ou madame untel/ et ben qu'est-ce nous/ on peut garder en classe/ qu'est-ce qui est bon de garder en classe/ et donc/ nous notre travail/ à nous enseignant/ c'est de faire le lien avec les programmes et tout ça/ ce qui est important de retenir/ et je pense que les leçons passent mieux/ c'est peut-être un artifice/ mais n'empêche que je pense que ça fonctionne\
25	C	**Et du coup y-a des savoirs/ puisque tu fais le lien avec les programmes/ y-a des savoirs notionnels/**
26	É	Oui notionnels
27	C	**Et tu disais aussi tout à l'heure que tu vas exploiter cela du côté langagier/**
28	É	Ça peut être langagier\ ou oui au niveau du vocabulaire tu veux dire/
29	C	**Ben s'ils parlent du déplacement/ de la chronologie/**
30	É	Oui j'essaie de lier tout/ par exemple\ la chronologie et la conjugaison forcément/ parce qu'on va écrire un texte/ et puis le déplacement/ quand on va travailler sur la lecture d'un plan ou d'une carte/ moi je vais ré-exploiter ça en fait\ moi je pense que

		ces déplacements/ ces visites avec des intervenants extérieurs/ permettent aussi aux enfants de faire le lien entre tous les apprentissages/ et on parle du sens du savoir/ mais je pense qu'effectivement/ du coup ils vont se dire ben oui/ j'ai vu ça en géométrie ou en géographie/ maintenant ça va me servir/ parce que si je veux prendre une carte de bus ou une carte de/ si pour aller à Cesson-Sévigné j'en ai besoin/ je vais mieux comprendre/ tu vois/ du coup on est au-delà de l'intervenant extérieur/ au sens propre/ mais je pense que de se déplacer/ ça permet de faire des liens entre tous les apprentissages de classe/ avec tous les savoirs notionnels imposés par les IO ((instructions officielles))\
31	C	**Et le fait de ne pas avoir préparé avec l'intervenant\ est-ce que ça te parait IMPortant de préparer/ est-ce qu'on peut faire sans/**
32	É	Alors moi je préfère quand y-a des visites préparatoires\ parce que JUSTement après/ en termes d'efficacité et aussi en termes de/ quand on fait le lien avec les intervenants/ parfois tu parlais du problème de langage/ quand je sais ce sur quoi va travailler l'intervenant/ moi je peux m'y préparer/ et quelque part on peut traduire/ enfin traduire\ voilà\ t'as des intervenants qui sont habitués à travailler avec les enfants/ et t'en a d'autres qui le sont moins\ et moi j'aime bien être préparée/ parce qu'au moins je me dis que je peux anticiper ce qui va être dit\ et en termes de savoirs/ je ne vais faire comme les enfants/ découvrir en même temps qu'eux\ quand je peux préparer/ je préfère et je peux anticiper le retour sur l'intervention/ ne pas être dans l'urgence\ tu vois/ j'aime mieux\
33	C	**Ça veut dire que tu anticipes avant/ tu m'as parlé de langage tout à l'heure/ tu as parlé de supports/ on n'en a pas parlé/ ça ça t'intéresse dans la collaboration avec un intervenant extérieur/**
34	É	Oui parce qu'en termes de supports clairement je pense qu'ils peuvent nous faire découvrir des choses nouvelles qui sont propres à leur domaine spécifique\ parce la plupart sont quand même spécialisés/ et je pense qu'on a beau être polyvalents/ y-a des choses qu'on ne maîtrise pas/ et qu'on n'a pas le temps/ clairement/ de découvrir\ et je pense qu'en termes de support/ c'est vraiment le plus qu'on… c'est une plus-value sur le travail que l'on peut faire avec les enfants\
35	C	**Et quel type de support t'intéresse ou t'intéresserait/**
36	É	Moi j'avoue que là/ je vais découvrir/ j'sais pas ce qu'ils vont nous présenter\ ils ont dit qu'on allait avoir des choses à manipuler/ c'est ce qu'il y a dans l'intitulé/ moi j'avoue que je ne suis pas fermée/ j'aime bien être curieuse sur la nouveauté\ après/ du point de vue des supports/ j'ai toujours dans ma tête je me dis/on parlait de plus-value sur le travail fourni si c'est juste parce que c'est FUN parce que c'est moDERNe c'est pas forcément ça qui va m'intéresser même si c'est ça qui en priorité va peut-être plus motiver les élèves/ moi j'ai pas d'idée précise ce que j'aime/ c'est quand le support est efficace\ voilà\ c'est à dire qu'à un moment donné/à partir d'un SUPport que moi je ne connaissais pas/ la notion va passer auprès des élèves/ et que je vais être capable de ré-exploiter ce support où d'y faire référence\ car je ne vais peut-être pas pouvoir avoir le MÊMe pour l'exploiter tel quel/ mais d'y faire RÉFérence aisément en classe/ de façon à ce que les enfants/ justement/ puissent FAIRe appel à ce qu'ils ont rencontré sur le lieu de rencontre/ et du coup en

		trouver une TRADuction/ pour en faire une leçon\ tu vois/ c'est ça qui m'intéresse\ alors maintenant je n'ai pas d'idée précise/ je n'ai pas d'exemple\
37	C	**Non mais c'est l'idée que tu en as/ on est AVANT/ on ne sait pas ce qu'il va se passer**
38	É	Ça va être la surprise
39	C	**Oui mais y-a quand même des attentes/ là quelque part/ des attentes en positif et en négatif puis/ qu'à propos du langage tu me disais tout à l'heure/**
40	É	Ben oui on n'est pas à l'abri que souvent quand les personnes sont très spécialisées dans un domaine/ il faut quand même/ pour que le savoir passe/ il faut que le discours soit à la portée des élèves\ et parfois c'est pas le cas\ moi je me souviens/ je fais référence aux arts plastiques parce que jusqu'à présent je faisais souvent des sorties en arts plastiques/ et je me souviens d'une jeune fille qui manifestement n'avait pas été formée pour l'accueil des classes/ et qui donnait des notions à des élèves de grande section où ils ne connaissaient rien/ « voilà vous voyez cette œuvre où il y a une mise en abîme »/ et alors nous enseignants/ quand on n'est pas préparé à ça/ on se dit ben mince/ comment on va pouvoir faire comprendre aux enfants/ sans interrompre l'intervenant extérieur pour lui dire STOP/ ce n'est pas comme ça que l'on peut parler à des élèves de 5 ans et 6 ans\ Tu vois c'est quand même en ces termes-là que je me dis que le langage a QUAND même une importance\ le langage c'est ce qui permet de COMmuniquer si l'intervenant parle sans pouvoir communiquer quelque chose aux enfants/ c'est un peu compliqué\
41	C	**Ça relève QUAND même de la formation de l'intervenant/**
42	É	Je prends ça aussi d'un point de vue culturel\ tu vois/ dans le mot que j'ai présenté aux familles/ j'ai dit que le festival était aussi ouvert le weekend\ AUX parents\ c'était aussi/ DIFFuser une information et de PROUVer aux enfants/ que MÊMe à l'école/ NON\ y-a pas qu'à l'école qu'on peut apprendre des choses\ d'accord/ et que le RAPport à la culture peut avoir différentes formes\ d'accord/ donc LÀ/ j'avoue/ ne maîtrisant rien/ n'ayant pas la main/ je me suis dit/ tant pis/ ça vaut quand même le coup de se déplacer dans ce type de manifestation/ quitte à ce que moi qui aie un gros travail derrière/ un travail important pour ré-exploiter cette sortie\ par contre quand je peux/ par exemple\ pour les Champs Libres\ j'ai rencontré les gens\ je l'ai fait en juin/ pour mon projet qui va normalement commencer en janvier\ en arts plastiques/ je fais toujours la visite préparatoire si possible/ avec l'artiste aussi\ quand je peux/ j'essaie de le faire/ mais c'est pas toujours évident\
43	C	**Tu as dit tout à l'heure que tu n'osais pas/ ou que tu ne savais pas interrompre l'intervenant\ est-ce que ça peut-t'arriver/ justement\ quelle relation tu crées avec lui/**
44	É	Alors\ si je prends un exemple hors sciences/ puisqu'à la ville de Rennes on a des intervenants en sports/ ou on a eu des projets musique aussi/ là je fais un travail préparatoire avec eux/ en amont du projet\ je demande carrément à l'intervenant dans quelle mesure j'ai le droit/ sans le heurter/ parce qu'il ne s'agit pas non plus d'être désagréable/ car on est devant un public d'élèves et tout ça/ mais/ est-ce qu'il prendrait mal les choses/ si je me

		permettais d'intervenir pour reformuler une phrase ou pour des choses comme ça\ j'essaie de faire ça en amont\ avec la nouvelle prof de sport des fois je lui dis en aparté voilà est-ce que ça t'embête que j'intervienne sur tel groupe/ tel élève/ tu vois j'essaie de faire ça en amont après quand on est en intervention avec des gens/ parce que là je te parle d'intervenants réguliers/ le sport la musique c'est des gens avec qui on monte des projets sur les interventions plus ponctuelles c'est plus délicats car les gens je les connais pas ou peu je les ai vus peut-être qu'une seule fois et des fois je leur dis excusez-moi est-ce que je peux me permettre et j'interviens\ mais quand ça me parait vraiment nécessaire\
45	C	**C'est quoi nécessaire/**
46	É	Nécessaire c'est que le mot est incompréhensible dans le langage/ mais aussi que un élève se permettrait avec lui ce qu'il ne se permettrait pas avec moi/ la discipline/ alors là CLAIRement je cadre tout de suite\
47	C	**Mais du coup/ tu laisses complètement la main aux intervenants sur les interventions ponctuelles**
48	É	Ouais\ ne maîtrisant pas tout a priori et factuellement je ne me sens pas le droit d'intervenir\ alors des fois si ça m'arrive de poser des questions/ comme les enfants en fait/ c'est assez naturel pour moi/ si je ne comprends pas
49	C	**Tu changes de statut**
50	É	Oui je change de statut du coup je dis à mes élèves vous voyez la maîtresse ne sait pas tout non plus/ j'explique un peu à tout le monde que voilà ça m'arrive/
51	C	**Et pourquoi t'as besoin de l'expliquer/**
52	É	Oui je ne sais pas ((rires)) y-a certainement une raison
53	C	**C'est un problème de statut**
54	É	Peut-être\ en même temps/ en classe/ je leur dis aussi que la maîtresse/ tous les jours/ elle apprend des choses aussi/ et voilà/ la valeur du travail/ de travailler/ de se former tout le temps/ Oui c'est peut-être aussi pour dire/ je reste votre maîtresse/ je ne sais pas c'est inconscient/ je dis vous voyez les enfants/ la maîtresse a aussi besoin de poser des questions/ C'était ça aussi/ faut pas avoir honte de poser des questions/ on a beau être un adulte/ on ne sait pas tout/ voilà/ et justement quand on est élève/ a fortiori/ on sait pas tout/ et quand on ne comprend pas/ vaut mieux poser des questions plutôt que de rester comme ça sans réponse\
55	C	**Est-ce que ça serait différent si l'intervenant était dans la classe/ du coup j'anticipe un petit peu sur d'autres situations**
56	É	Je pense que c'est un petit peu différent car la classe c'est le lieu de l'école le lieu de la maîtresse et que\ quand l'intervenant vient dans la classe/ on n'a pas cette ambiguïté d'intervention ponctuelle où on ne maîtrise pas\ en général quand l'intervenant vient dans la classe/ y-a déjà eu un travail préparatoire\ je dis en général/ la plupart du temps quand même\ là/ je pense aux étudiants ASTEP/ quand ils mettent les séances en place/ avec justement leur spécificité à eux\ à aucun moment je les laisse

		prendre en main les séances/ ou prendre la classe en même temps que moi/ sans que j'aie préparé avec eux\
57	C	**C'est le contrat aussi**
58	É	Oui c'est le contrat/ j'avoue que des intervenants en sciences/ dans la classe ça m'est jamais arrivé encore\
59	C	**Mais a priori le fait de poser des questions**
60	É	Ah ben je poserai des questions aussi/ ça ne me dérange pas/ la seule différence c'est que je serai un peu plus au fait de ce qu'il va se passer dans la classe/ puisque l'intervention se prépare\ mais au moment de l'intervention bien sûr il y aura des choses qui vont être dites mais qu'on ne va pas maîtriser/ et là je serai aussi dans ce statut-là/ je pense/ que le langage est assez important/ mais je parlais de communication\ il faut clair pour TOUS/ et si ce n'est pas clair pour moi/ ce n'est pas clair pour les élèves/ et que du coup/ que l'intervenant se plie à ce questionnement-là/ ça peut être profitable pour tout le monde\
61	C	**Tu prépares les élèves dans le cadre de vendredi prochain/ quel type de préparation/ tu m'as parlé d'un mot aux parents**
62	É	Alors\ j'ai fait un mot aux parents qu'on a rédigé avec les élèves\ J'avais préparé quelque chose/ mais j'ai demandé aux élèves quels types d'informations on pouvait donner aux familles pour indiquer qu'on va se déplacer\
63	C	**Il a fallu que tu briefes les élèves avant**
64	É	Oui je leur ai dit voilà/ on va aller na na na/ et j'ai préparé un petit dossier que je te donnerai/ un format A3/ dans lequel j'ai fait une photocopie du village des sciences\
65	C	**Donc c'est un dossier pour les élèves/**
66	É	Pour les élèves\ et j'ai listé/ tu sais à partir du flyer que distribue l'organisateur/ j'avais mis tous les ateliers pour les CE2/ j'avais mis qu'une dizaine d'ateliers pour les CE1/ et derrière/ j'ai mis le plan de Cesson avec un repère orthonormé\ enfin un quadrillage/ qu'on exploitera après la sortie\ du coup dans ce dossier/ l'idée/ la première séance qu'on a faite je leur ai demandé de LIRe les ateliers/ et SElon eux/ quels ateliers on peut aller voir en fonction des projets de la classe\ comme ils ont été avertis AVant des projets de la classe/ et du coup/ y-avait une question de LECTure de REcherche d'indices/ et on a discuté pourquoi celui-là oui/ pourquoi celui-là non/ et la préparation/ c'était aussi un peu QU'EST-CE que c'est que le VILlage des SCIENCES\ QU'EST-CE qui peut être vu/ quels types d'associations interviennent/ parce que tout est listé/ et du coup on a décortiqué tout ça avec les enfants\ et y-avait des choses où ARBitrairement je leur disais ben NON ça c'était pas possible parce que c'était complet/ ça c'est pas possible parce que c'est réservé qu'au collège\
67	C	**Tu ne leur as pas fait croire non plus que c'est eux qui choisissaient/**
68	É	Ah non pas du tout/ je leur ai dit/ J'AI choisi des choses pour VOUS/ mais y-avait aussi d'autres CONTraintes\ et je n'avais PAS le choix de tout\ et après du coup on a décortiqué ça\
69	C	**Et le but était entre autres de faire un mot aux parents/**

70	É	Oui aussi/ oui et non\ le but de ça c'était qu'EUX s'impliquent déjà et qu'ils fassent le LIEN avec JE fais des choses en CLASse/ et JE vais aller quelque PART/ APprendre d'autres trucs/ une autre forme d'apprentissage/ on va pas JUSTe se promener à Cesson\ l'idée elle était là/ tu vois\ avec cette LECTure du flyer/ on y est Déjà/ en tant qu'élèves/ je pense qu'ils vont PLUS s'impliquer dans cette visite-là/ parce que je leur ai dit qu'on allait retravailler dessus Après/ et notamment sur les planètes/ on va diffuser dans le temps ça va être plus compliqué pour eux\ c'qu'on va voir là/ on l'exploitera pas immédiatement\ on l'exploitera un peu plus tard\
71	C	**Tous les CE1 et les CE2 verront le même atelier/**
72	É	J'aurais bien aimé/ mais là y-a une contrainte matérielle/ je n'ai pu avoir qu'un créneau/ alors comme dans les programmes/ pour les CE1 c'est plutôt les mouvements du corps\ alors que là/ ARTiculations/ c'est plutôt au programme des CE2\ les CE1 iront sur la ronde des planètes aussi/ et les CE2\ les deux\ j'ai trouvé un créneau sur un autre atelier qui m'intéressait c'est ART numérique parce que je travaille en arts plastiques et j'avais fait une année un travail avec la Criée ((salle d'exposition)) avec un artiste qui travaille sur les arts numériques et c'était bien et pour être honnête/ il fallait que je comble un trou/ et que je trouve un atelier qui corresponde à des choses qu'on fait en classe\ c'était pas simple\ y-a des qualités sur ces accueils-là mais y-a des contraintes/ et là je devais couper a classe en deux/ je me suis dit quand même/ il vaut mieux profiter d'un atelier supplémentaire plutôt que de les laisser jouer sur le terrain de foot à côté\ ((rires))
73	C	**Leur dossier ils vont l'embarquer avec eux/**
74	É	non/ ils le laisseront en classe
75	C	**Ils viennent avec un cahier/**
76	É	Normalement ils ont un petit carnet sur lequel ils écrivent des choses/ mais il faut que je vois ça/ bon on sera beaucoup d'adultes mais il faut que je prenne les crayons avec moi/ sinon ils vont les perdre/
77	C	**T'as besoin de beaucoup d'accompagnateurs/**
78	É	C'est bon/ j'ai mon compte\ puisque j'ai mes trois stagiaires PE/ mes deux L3 et moi\
79	C	**Y'avait quelque chose qui m'intéressait\ c'était comment tu voyais ces intervenants extérieurs par rapport à toi/ leur rôle/ leur statut par rapport à toi auprès des élèves/**
80	É	Ben je les vois comme un complément d'information/ c'est quand même pas ça\ en fait/ clairement on parlait encore de ça ce matin sur la formation des PES/ en termes de savoirs pour l'enseignant/ moi j'ai pas le temps de couvrir/ tu vois les CE2 ça fait que 2 ans que je les ai\ même si je fais des recherches/ même si je lis des choses/ je vais m'informer sur internet/ je vais chercher dans le livre du maître/ je pense que l'intervenant c'est aussi/ sur le thème ou sur le projet/ très efficace d'avoir quelqu'un de spécialiste pour répondre à nos questions\ pour combler nos manques quoi/ nos manques en tant qu'adultes/ je veux dire\ et après dans la relation avec les élèves/ oui c'est la maîtresse qui enseigne/ qui institue/ qui fait de la pédagogie/ mais comme je te disais et que je dis

		aussi à eux/ c'est que le savoir il peut s'acquérir ailleurs avec d'autres formes/ alors on va ouvrir un LIVre/ on va aller voir un film documenTAIRe/ et on va aller voir une exposiTION/ et je pense qu'un intervenant extérieur c'est AUSsi une façon d'apprendre des choses/ c'est un complément vraiment/ si on peut le voir comme ça\ c'est complémentaire du travail qu'on peut faire en classe\
81	C	**Avec ce qu'il peut apporter/ lui il serait une ressource en fait/**
82	É	Oui c'est ça/ c'est une VRAIE ressource\ souvent moi je parle d'efficacité/ mais je me dis voilà\ y-a cette ressource qui est là/ à portée de la main\ en plus c'est de l'HUMain/ on n'est pas dans du numéRIQue ou du papier ou du cahier/ et du coup l'interaction est vraiment intéressante\ t'as l'intervenant/ il te dit des choses/ et on peut approfondir presque dans l'immédiateté/ sur un domaine quoi\ je pense que c'est un PLUS\
83	C	**Ça permet d'acquérir des connaissances\ pour toi hein/ et pour les élèves aussi\ b**ien sûr\ **Je reviens sur la préparation\ ces connaissances elles sont attendues par les élèves/**
84	É	Je ne sais pas si eux les perçoivent comme ça/ moi je leur dis avant les interventions que vous allez apprendre d'autres choses qu'avec la maîtresse/ d'une autre façon\ je leur explique c'est possible\ maintenant est-ce qu'ils en ont vraiment conscience/ ils sont encore petits les CE1 CE2/ peut-être qu'avec des fin de cycle 3 ou des collégiens ils ont plus conscience de ça\ les plus jeunes j'avoue que j'en sais rien/ mais quand même dans certains cas on vient avec des questions/ parfois tu prépares une intervention/ pas forcément en sciences/ mais quand on rencontre par exemple un auteur/ ben on vient avec des questions\ quand tu prépares les questions en amont/ ben là les enfants ils se disent que je vais apprendre quelque chose de nouveau avec cette personne-là\ dans ce cas-là ils vont avoir conscience que ça leur apporte des connaissances supplémentaires\ sur la sortie de vendredi/ je pense qu'ils en ont conscience parce qu'on a déjà travaillé avant/ et que je leur ai dit y-aura peut-être des choses nouvelles qu'on n'a pas vues en classe\
85	C	**Vous avez commencé à travaillé sur les os/**
86	É	oui oui oui\ j'espère au moins pour les plus vifs d'esprit parce que j'ai un groupe d'élèves en difficulté en CE2 mais j'ai quand même trois élèves qui percutent bien/ j'espère que le parallèle va être fait avec ce qu'on a vu en classe/ peut-être poser des questions supplémentaires/ je le souhaite mais je ne sais pas\ (0 :37 :06.4)

Annexe 19 - Émilie – Entretien rétrospectif – Bureau

(0 :41 :47.4)

tdp	loc.	Productions verbales ((et non-verbales))
1	C	**Dans un premier temps/ je te laisse un temps de commentaires/ me dire ce que tu as envie de me dire sur cette séance au village des sciences\ après/ je pointerai des choses que j'ai préparées**
2	É	J'ai été agréablement surprise de ce monsieur qui a su assez bien se mettre à la portée des enfants\ au moins au début/ après/ quand on est arrivé sur la fin/ il a fallu un petit peu intervenir parce qu'on voyait bien que son domaine c'était aussi les médicaments et les choses comme ça donc il fallu dire STOP on en parle pas/ mais j'ai trouvé au début qu'il était accessible et ça c'est bien\ alors/ comme on en avait un petit peu parlé/ c'est vrai qu'il y avait cette appréhension de ne pas pouvoir du tout anticiper avec les intervenants/ de ne pas pouvoir les voir avant/ de rentrer un peu dans de l'inconnu/ surtout justement pour cet atelier os et articulations/ parce que/ l'Espace des Sciences sur la ronde des planètes/ je les avais déjà rencontrés dans d'autres contextes/ donc je voyais à peu près ce que c'était et puis finalement du coup cette présentation sur l'atelier avec le squelette/ les morceaux d'os et tout ça ça a bien parlé aux élèves parce que nous en classe on avait aussi ce squelette-là\ Ce qui a été bien positif pour les élèves/ c'est que CET atelier est arrivé en fin de séquence pour moi\ Donc ils avaient déjà plein de connaissances/ et ça a été un complément de ce qui a été fait en classe/ avec la possibilité pour les élèves de poser des questions à un monsieur qui semblait être un spécialiste des os/ du corps humain/ du squelette/ des choses comme ça\ Donc ça/ j'ai trouvé ça vraiment bien\ je trouvais que les élèves étaient assez attentifs/ et surtout mon groupe de CE2/ qui sont quand même des élèves/ pas en difficultés/ mais c'est pas euh (.) ils ont bien répondu : leur attitude a été positive/ voilà/ très positive\ Pour la plupart d'entre eux/ le vocabulaire est sorti/ les questions étaient là/ donc je trouvais que c'était bien\ Pour finir sur ce groupe/ bizarrement/ en revanche/ le retour en classe a été un peu plus décevant\ Sur le compte-rendu/ des petits textes écrits/ et ben voilà/ comme ce sont des élèves qui ont un rapport à l'écrit assez problématique/ et ben ils n'ont pas été capables de retranscrire tout ce moment-là/ en fait\ mais ça c'est une question de compétence/ de production d'écrits/ de choses comme ça\
3	C	**Seuls/ tu ne les as pas fait travailler en groupe/ ou en collectif/ J'ai vu les petits textes/ ça c'était individuel**
4	É	Oui/ c'était individuel/ mais après du coup l'idée c'était la semaine avant la semaine des vacances au moment où c'est un peu difficile pour eux : la fatigue/ les choses comme ça/ je voulais les faire travailler par groupe/ et j'ai pas imposé en fait qui voulait faire quoi sur les ateliers/ et étrangement à partir des photos que j'avais prises/ très peu d'élèves de CE2 se sont emparé de cet atelier-là\ Et du coup/ ce sont les élèves de CE1/ qui n'ont pas vu l'atelier/ qui/ à la découverte des photographies/ ont souhaité les commenter et faire le lien entre ce qu'on a fait en classe/ et du coup/ ce qu'ils n'ont pas vu\ et la lecture des textes des CE2\ Mais ça/ ça tient je pense vraiment à ce profil d'élèves que j'ai cette année en CE2\ Les seuls/ j'ai deux élèves qui avaient fait des comptes rendus assez complets/ ces deux

		élèves-là ont vraiment été investis sur l'affichage\ Alors je ne demandais pas beaucoup d'écrits/ je demandais comment on organise les photographies qu'on a prises/ qu'est-ce qu'on peut mettre en plus par rapport à ce qu'on a vu en classe/ des petits commentaires/ et bizarrement/ ils n'ont pas suffisamment investi cette tâche
5	C	**Et ils avaient le choix entre les différentes photos qui concernent aussi l'autre atelier**
6	É	Oui/ voilà/ toute la sortie/ et y-avait un groupe qui s'occupait plutôt de tout le trajet
7	C	**Donc y-avait un groupe trajet**
8	É	oui un groupe trajet/ un groupe Os et articulations et un groupe planètes/ et je n'ai pas fait de groupe art numérique car je n'ai pas DU TOUT assisté à cet atelier/ et en termes de temps/ je n'ai pas eu le temps de m'occuper de cela
9	C	**et dans ce que tu me dis/ dans os et articulations/ il n'y avait pas que des CE2**
10	É	Ben non/ j'ai eu aussi des élèves de CE1
11	C	**et tu ne m'as pas envoyé ça/**
12	É	Non ce sont des affiches qui sont dans le couloir/ je t'enverrai des photos des affiches…\ des photos que j'avais prises
13	C	**je voulais te poser justement des questions sur les photos\ Je peux te montrer les images si tu veux\ Ce sont des moments où toi tu prenais des photos**
14	É	Sur mes souvenirs/ c'est toujours compliqué de se dire/ est-ce que je prends à cet instant-là parce que je trouve que la situation est intéressante/ ou est-ce que je vais prendre parce que je me dis que cette photo-là/ sur un retour/ et un exposé/ enfin sur un affichage après/ ça va être utile/ ET en plus j'avais pas pris le bon appareil : j'ai fait ça avec mon téléphone/ et c'est vrai que/ c'est toujours pareil : hier/ par exemple/ j'ai accompagné Maud ((formatrice en arts visuels)) sur une intervention en arts plastiques et je me dis qu'est-ce que je prends/ Qu'est-ce qui va être utile/ Qu'est-ce qui va être pertinent pour une exploitation après/ en fait/ Du coup des fois je prends des photos/ et entre les floues dont on ne peut pas se servir/ et puis du coup aussi/ je vais le dire clairement en termes de d'impression/ je ne vais pas imprimer toutes les photos parce que ça coute cher pour l'école et du coup je fais une présélection que je vais montrer aux enfants après\
15	C	**Tu sélectionnes en fonction de quoi/**
16	É	Pour le lien que je vois possible en classe/ j'essaye/ et puis parfois je me dis Ben tiens je vais prendre ça parce que ça va nous être utile/ et..\ il faut être honnête/ je ne vais te dire que je réfléchis à tout tout le temps/! Je vais te montrer, car elles sont encore là ((dans son téléphone))
17	C	**Là on te vois prendre des photos/ monsieur Guillard est en train de montrer un document de la fracture ou de l'arthrodèse**
18	É	Eh ben regarde : moi j'ai pris ça comme photos : ça c'était la colonne vertébrale/ avec effectivement cette photo où y-a la

		fracture à côté\ Et puis/ là c'était plus pour une mise en situation ; pour faire parler les élèves/ se poser des questions/ et puis comme nous on avait le squelette en classe/ et puis c'était pour qu'ils puissent faire le lien ; j'ai pris cette chose/ comme après on a fait..\ on avait travaillé sur les radiographies en classe/ donc j'ai essayé de me souvenir quelles radiographies nous on avait utilisées en classe/ par rapport à un travail qui a été fait/ je me suis dit/ ça ça peut être pertinent
19	C	**ça vous l'aviez vu/**
20	É	Oui/ le bassin/ la hanche/ enfin l'articulation\ ce qui m'intéressait c'était justement cette articulation-là
21	C	**Ils avaient Tu avais déjà travaillé ça en classe avec eux**
22	É	Ouais/ quand ils avaient travaillé sur (.) on avait fait un petit atelier\ En fait on avait des radiographies qu'on avait numérotées/ et ils devaient retrouver les parties\ En fait les radios devaient être associées à des grands groupes d'os\ donc là/ la jambe par exemple\ Donc là le bassin/ pareil pour les deux articulations\ Donc là y-a le groupe d'os et les deux articulations\ Le crâne\ XXX ça je l'ai pris parce que les gamins étaient/ d'ailleurs pour beaucoup/ ce qui est ressorti le plus c'était ce gel bleu (.) oh il faudrait que je te montre ça/ Oh si parce que j'ai posé des questions là-dessus…
23	C	**Et celle-là/ tu l'as plus XXX**
24	É	et si/ regarde c'est même un film/ et comme c'est un film je ne l'ai pas donné aux gamins.
25	C	**On voit quand même deux types d'images : on voit des photos d'objets/ et on voit des photos de situations**
26	É	Oui/ de lui en situation/ parce que je l'ai trouvé assez pédagogue : il avait un bon contact avec les gamins/ il leur posait des questions/ il attendait des réponses/ du coup ces films-là je ne les ai pas exploités du tout avec les élèves/ je n'ai pas eu le temps d'abord et du coup/ les photos/ j'ai montré ça aux gamins/ cette photos où l'on voit les vertèbres/ mais ce sont surtout les vertèbres qui m'intéressaient/ ils ne sont pas tellement revenus les élèves sur les médicaments/ alors est-ce que c'est parce que moi aussi j'ai évacué rapidement la chose au moment XXX Là ça m'intéressait bien l'appareillage en cas de fracture/ de douleur en cas de (.) ça c'est quelque chose qui les (.) les vis les clous
27	C	**Le gel bleu/ ça fait partie des choses qui m'ont interpellée moi aussi sur le moment\ Tu l'as exploité ou pas/**
28	É	Pas vraiment/ d'abord/ c'est pas du tout (.) je me suis quand même calée par rapport aux programmes et à ce que l'on faisait en classe ; et vraiment aux apprentissages\ Et je me suis dit/ si je rentre/ là où on est dans le soin quand même/ on est dans quelque chose de très complexe pour les enfants/ du coup je me suis dit (.) qu'on en ait parlé/ parce qu'ils en ont parlé au moment de l'affichage parce qu'il y avait cette image-là et ils ont parlé du gel bleu pour soigner/ mais moi je ne l'ai pas du tout exploité
29	C	**y a un des élèves qui avait aussi dessiné sur son carnet**
30	É	y-en a même deux/ il faut que tu saches/ j'ai fait aussi une évaluation/ où ils devaient retrouver/ redessiner le squelette et les articulations et j'ai un élève qui dans l'évaluation a mis du

		bleu au niveau du genou/ je crois/ et il a écrit le gel bleu\ Du coup au retour il faut quand même que je reprenne avec lui en lui disant que ça ne fait pas partie du corps/ mais que c'est un soin
31	C	**Mais il l'a placé au niveau d'une articulation/**
32	É	Oui tout à fait
33	C	**Donc tu as trouvé les supports efficaces/ par rapport à ce que tu m'as dit lors du premier entretien**
34	É	Oui
35	C	**Comment tu peux les définir/ les décrire/**
36	É	Les reproductions de parties du corps permettent à mon sens aux élèves de bien voilà\ Quelquefois la perception du corps est compliquée pour eux/ même si j'avais le squelette dans la classe/ d'avoir ça (.) ça cible un peu le regard/ et je trouvais que c'était assez bien fait : les petites vertèbres-là/ qu'ils se rendent compte/ effectivement/ que ce sont vraiment des éléments DISTINCTS les uns des autres et que c'est ça/ avec toutes ces petites articulations et tous ces petits morceaux d'os/ c'est ça qui fait que la colonne vertébrale est un TOUT\ Du coup je pense que pour les élèves/ avoir ces éléments du corps/ ça a amélioré leur perception de ce que l'on a fait en classe.
37	C	**Ils ont été dérangés par le fait que c'était du plastique/**
38	É	pas du tout\
39	C	**Ils en ont parlé plusieurs fois/**
40	É	Oui mais comme en classe moi j'avais aussi un squelette en plastique/ En fait/ le questionnement qu'ils ont/ à cet âge-là/ ils ont un petit côté/ pas morbide/ mais euh (.) j'ai une de mes élèves qui m'a amené un petit crâne d'oiseau/ un vrai crâne d'oiseau\ C'est un vrai crâne d'oiseau ? ben oui c'est du vrai\ Parce que la vie la mort/ ces choses-là c'est des questionnements qu'ils commencent à avoir\ En fait je pense que ça les rassure aussi de se dire que c'est que du plastique/ même s'ils aimeraient bien que ce soit du vrai/ mais ça n'a pas été un sujet après en classe\ On leur explique bien que pour les manipuler c'est plus facile d'avoir du plastique/ c'est moins fragile.
41	C	**Donc tu as pu les exploiter/ car une de tes préoccupations était qu'ils soient efficaces et que tu puissent les exploiter ensuite**
42	É	Ouais/
43	C	**Et tes supports à toi/ en fait je n'ai pas vu ce que tu as produit/ à part les textes que tu m'as envoyés\ je n'ai pas vu tes fiches de prep'/ ce que tu as fait en amont\ C'est important parce que tu as pris des photos qui faisaient écho à ce que tu avais fait en classe.**
44	É	oui oui/ je vais t'envoyer cela
45	C	**Quand je reviendrai/ je scannerai certainement les carnets de croquis/ et le cahier d'essai de Damien/ avec les cygnes/ et celui avec le gel bleu**
46	É	c'est Ronan\ du coup tu verras dans les classeurs/ les conceptions initiales/ ce qu'on a fait en guise de cours/ et l'évaluation\ Mais

		tu n'oublies pas/ y-a des séances que je n'ai pas faites/ c'est les stagiaires qui les ont faites\ C'est pas moi qui ai tout géré dans cette séquence-là\
47	C	**Comment as-tu abordé cette sortie avec les stagiaires/ Qu'est-ce que tu leur en as dit/**
48	É	je leur ai dit que comme toute sortie ça se prépare/ j'ai tenu un peu le même discours que pour toi/ que parfois malgré une préparation/ y-a des choses qu'on ne maîtrise pas/ d'où l'intérêt de préparer même si c'est un petit peu dans l'inconnu/ de façon à pouvoir être réactive au moment où on vit les interventions\ Je les ai préparées également sur le rôle de l'intervenant extérieur que ce soit en sport/ en musique/ arts plastiques/ sur une attitude d'enseignant c'est-à-dire qu'à aucun moment il est question de corriger ses cahiers pendant que l'intervenant est là/ ou d'être au fond de la classe et ne rien faire : l'implication de l'enseignant sur le moment-même de l'intervention moi me semble essentiel/ avec tous les imprévus/ tout ce qu'on ne peut pas maîtriser/ mais en tout cas/ c'est d'être toujours l'esprit au clair sur ce que dit l'intervenant/ et d'être très à l'écoute sur ce que disent les élèves que l'intervenant n'entend pas forcément d'ailleurs\ et ça c'est important/ et je pense qu'en termes de formation/ pointer ça me semble important/ parce que les stagiaires n'ont pas encore vécu les choses\ Elles ne peuvent pas les imaginer\ Et puis j'avais non seulement des PES/ mais j'avais en plus des L3\ Moi j'étais plutôt axée sur le travail avec les PES parce que je savais que les PES allaient exploiter la sortie après.
49	C	**Au niveau du temps que ça prend..\ J'ai essayé d'évaluer le temps que tu as mis à préparer/ je ne te parle même pas des élèves/ par rapport au temps d'intervention**
50	É	ah ben oui/ c'est (.) énorme on ne peut pas dire qu'on optimise un temps de travail/ mais en même temps/ si : ça demande beaucoup de temps de préparation/ pour soi en tant qu'enseignant/ de préparation en classe aussi avec les élèves/ en même temps/ j'ai l'intuition quand même/ j'ai rien pour évaluer quantitativement ce que je vais te dire là/ mais j'ai l'impression que ce temps passé en préparation permet aux élèves d'être plus attentifs\
51	C	**Il y a un gain/ derrière/**
52	É	Oui/ et du coup/ et peut-être que justement/ par rapport à ce que je te disais en début de notre entretien/ peut-être que l'attitude qui moi m'a (.)un peu (.) j'allais dire aussi/ vis-à-vis de mes élèves en difficulté/ d'avoir ce regard beaucoup plus positif sur certains qui en classe ont l'air de rêver et qui/ somme toute/ ce jour-là étaient très très attentifs/ et à mon sens/ Voilà/ le bénéfice/ la plus-value elle est là\ Pour ces élèves-là/ qui effectivement sont en difficulté sur des questions purement scolaires/ finalement/ tout le travail préparatoire en classe/ où ils ont l'air d'être absents/ et bien je me dis que j'ai peut-être semé des petites choses qui ont fait que leur attitude/ le jour de la sortie était plus que positive\ Pour certains je me suis dit/ ça y est c'est des éponges/ ça y est ils ont compris qu'il y a un intérêt pour les apprentissages\ Oui/ la préparation c'est du temps et l'intervention c'est 30 minutes/ mais 30 minutes intensives du coup je pense que le gain il est là.
53	C	**On est sur un gain au niveau de l'intérêt des élèves/ Je te fais juste remarquer que tu ne me parles pas des résultats d'évaluation/**

		je ne porte pas de jugement/ hein/
54	É	Non/ c'est vrai ((rires)) mais je ne les ai pas en tête toutes\ Il faudrait que je te les montre.
55	C	**Ce qui m'intéresse/ c'est que tu as vu l'intérêt pour certains élèves/ mais que finalement beaucoup moins intéressée par l'évaluation sommative**
56	É	Parce que je pense qu'une évaluation écrite pour certains ne révèle pas non plus les réelles acquisitions/ voilà/ et plus je vieillis et plus j'en suis convaincue\ Du coup/ moi mon évaluation elle est aussi sur ce temps-là : sur une attitude face aux savoirs/ et que même si quelque part/ oui j'ai des noms en tête/ l'investissement qu'un enfant met dans un domaine/ c'est pas pour ça qu'il va être capable après sur un papier/ parce que en France on évalue quasiment seulement sur du papier/ que même si moi j'essaie de les prendre individuellement/ pour ces élèves en difficulté/ pour qu'ils m'expliquent un petit peu ce qu'ils font/ c'est parfois très compliqué pour eux de verbaliser leur propre savoir/ et surtout en sciences/ si on ne fait pas en sciences/ à quel moment va-t-on le faire/ L'attitude elle est primordiale en sciences/ Quand je vais remplir les livrets d'évaluation/ pour certains/ je mettrai certainement (pas sur le lexique écrit/ mais) acquis parce que j'ai vu ces élèves-là en situation et que je pense que leur attitude est dans ce qu'on exige d'eux en fin de cycle 3 : ils sont déjà dedans\
57	C	**Au niveau de la co-intervention/ est-ce que tu as eu le sentiment de co-intervenir/ Est-ce que tu t'en rappelles de l'évolution/ je ne te parle que de os et squelette/ c'est le seul que j'aie décortiqué**
58	É	oui mais l'autre/ je suis un petit peu moins intervenue parce que justement/ J'ai posé des questions/ je crois/ comme je t'avais dit que j'aimais bien en poser/ j'ai fait ma curieuse\ J'ai à la fois posé des questions à l'intervenant/ et à la fois j'ai posé des questions aux élèves pour que justement qu'ils ciblent les choses/ si ma mémoire est bonne\
59	C	**Il parlait des tassements de vertèbres qu'il fallait appeler fracture de vertèbres**
60	É	oh j'ai des élèves qui m'ont fait un dessin de vertèbre malade/ avec les petits trous à l'intérieur aussi/
61	C	**Comme quoi/**
62	É	Je pense que malgré tout/ la mort/ la maladie/ c'est des choses qui les touchent/ qu'ils l'aient vécu ou pas dans leur famille/ mais comme ça les inquiète/ ça éveille un peu plus leur attention\
63	C	**et là ça leur permet de réinvestir une vertèbre/ le dessin d'une vertèbre**
64	É	Oui oui et elle/ ((sur une photo)) qui est une élève que j'ai eue au CP/ qui était en difficulté..\ super Ann/ super/ elle nous a fait un texte…
65	C	**là elle était très active**
66	É	et ben voilà/ tu vois/ le cas type où y-a des choses qui se passent\ du coup elle en compte rendu de visite à l'écrit très bon texte quelques erreurs d'orthographe/ mais très très complet\
67	C	**au niveau de la co intervention/**

68	É	ça s'est bien goupillé avec ce monsieur/ mais effectivement/ on voit qu'il avait des habitudes aussi lui/ de groupes d'enfants/ et en bas âge\
69	C	**Tu t'es quand même permis/ parce que hier j'ai réécouté ce que tu m'avais dit la dernière fois ici : que tu ne te permettais pas de reprendre ou de dire stop etc\ là tu l'as fait/**
70	É	En fait en fonction de la personnalité de l'intervenant\ Par exemple avec l'intervenante en sport/ voilà/ je ne suis plus toute jeune/ je commence à avoir une expérience/ par ce que des interventions je crois qu'il n'y a pas une année d'enseignement où j'en n'ai pas fait/ des cours en co-intervention..\ Après en fonction de la personnalité de l'intervenant/ je dis aux gens/ est-ce que ça vous gêne si (.) et puis des fois tu sens quand c'est pas possible\
71	C	**et puis le moment de pause c'est toi qui avais les cahiers en fait/ tu prends toujours des notes quand tu sors/**
72	É	Quasiment/ ils ont toujours leur carnet de croquis ça fait plusieurs années que j'ai instauré ça\ Ce carnet de croquis sert à la fois pour toutes les sorties/ en arts plastiques/ pour toutes les sorties\ je trouve que ça leur permet d'avoir une trace au moment\ ça permet aux élèves qui pourraient être désorientés/ soit attirés par les abeilles plus que par ce qu'on fait/ à un moment donné sur la sortie/ de centrer l'attention/ et aussi quand on ré-exploite en classe la sortie/ et ben ils ont cette trace-là\ ça leur permet de faire un retour sur leur propre travail ou de se remémorer des choses parce que justement ben ils vont avoir écrit ou fait un dessin/ ou (.) moi ça me semble nécessaire aussi en termes de formation/ pour dire aux stagiaires/ voilà on ne sort pas juste pour sortir/ moi je suis contre toutes ces sorties genre de fin d'année/ on va à la mer pour aller à la mer/ on va pas aller au zoo juste pour aller au zoo : je trouve que ça sert à rien\ je trouve ça bien de toujours faire un va-et-vient et d'avoir ce carnet de croquis/ ça permet aux enfants d'avoir conscience de ça\ De toute façon Estelle/ elle va nous demander un truc après/ et je veux qu'ils aient ça dans la tête pour après : on parle en termes d'efficacité du temps de préparation/ mais le temps d'exploitation est aussi important/ donc pour être efficace et pour éviter de papillonner ou de se perdre dans des choses (.) alors le factuel est intéressant/ mais quand c'est trop factuel on n'approfondit pas\
73	C	**Donc les élèves ont conscience que la situation sera exploitée/**
74	É	oui/ mais je leur dis avant de partir\2
75	C	**La dernière fois tu m'as fait la différence entre les situations où tu sortais avec un questionnement\ Là/ en fait/ vues les circonstances/ y-avait pas de questions formelles/ mais les élèves avaient conscience qu'ils ne faisaient pas une promenade**
76	É	Ils le savent parce que je le leur dis clairement/ et ils le savent aussi parce que je leur dis qu'on fera un travail dessus\ Je prépare le terrain\
77	C	**Je me pose des questions quant à cette situation particulière : didactique/ a-didactique/ Tu savais que tu allais trouver quelque chose/ mais tu ne savais pas quoi\ Toi tu le savais et t'as aussi transmis aux élèves : attention/ on y va/ mais c'est pas pour rien/**

		c'est construit/ mais au niveau des savoirs/ c'est pas maîtrisé du tout/
78	É	Pour tout te dire/ sur ces séances-là/ c'est la première année que je travaille à ce point sur Os et articulations\ Parce que je suis passée dans le cycle 3 que depuis UN an/ et l'année dernière j'avais pas fait le corps humain/ j'avais fait ce que je maîtrisais pas mal / les élevages/ les insectes/ les arthropodes/ la classification animale\ j'ai TOUT découvert en préparant là pour mes élèves\ en termes de savoir de l'enseignant/ là/ ça m'a demandé pas mal de travail/ mais c'est pareil/ en allant dans cet atelier-là je me suis dit aussi/ personnellement/ j'vais en apprendre encore et je me suis dit/ avoir un spécialiste en face/ c'est le bénéfice pour les élèves/ mais aussi QUEL bénéfice MOI je peux en retirer pour le ré-exploiter en retour IMmédiat/ mais aussi sur les années prochaines/
79	C	**Donc ce n'est pas pour ces élèves-là/ mais c'est pour d'autres élèves**/
80	É	oui\ (0 :41 :47.4)

Annexe 20 - Stand « Os et articulations » – Ensemble des ressources

1	**Modèle de squelette humain à l'échelle x1 en plastique** => Donner des repères anatomiques **=> Positionner les différents éléments anatomiques les uns par rapport aux autres**
2	**Schéma légendé** : coupe longitudinale d'une articulation *=> Repérer les éléments principaux d'une articulation*
3	**Radio photographiée** (arthrodèse des lombaires), **montages de photos** (péroné fracturé puis soudé ; hernie discale) => Montrer des résultats d'interventions chirurgicales
4	**Matériel médical et chirurgical non didactisé** **=>** Montrer le matériel utilisé par les médecins et chirurgiens pour soigner, réparer les os ou articulations malades ou cassés, pour soulager les patients ; => Illustrer quelques procédures • **Corset orthopédique** pour immobiliser la colonne vertébrale ou limiter les mouvements de flexion extension et les rotations • **Prothèses de hanche** pour remplacer la tête et le col fémoraux **Cuvette et ciment** pour préparer et fixer la prothèse **Seringue d'injection de ciment osseux** (pour prothèse de hanche) • **Clou centromédulaire :** clou de métal inséré dans le corps de l'os pour maintenir l'os fracturé en place. **Vis et plaques** pour fixer des clous centromédulaires, ou pour des arthrodèses • **Flacon de chondrocytes autologues**, des cellules visant à assurer la réparation du cartilage articulaire. • **Agrafeuse chirurgicale,** stérile, à usage unique **Fil et aiguille** pour sutures • **boîtes de médicaments** à base de morphine
5	**Modèles anatomiques à l'échelle x1 en plastique** =>Comparer les os et articulations sains de ceux qui sont altérés par une maladie => Montrer les effets des maladies dont il est question dans le stand **Os et articulations sains** • **Articulation de la hanche – modèle fonctionnel :** =>expliquer la physiologie de l'appareil locomoteur humain, et notamment l'abduction, l'antéversion, la rétroversion et la rotation interne et externe **Squelette du bassin**, féminin, avec moignons de fémur : Composé de l'os de la hanche, avec montage articulé de la symphyse. • **Colonne vertébrale saine** de la base du crâne au coccyx, avec les nerfs spinaux **Trois vertèbres lombaires** sur socle avec disque vertébral, dure mère spinale et nerfs spinaux **Modèles de vertèbres lombaires** séparées • **Crâne en trois parties,** moulage naturel à partir d'un véritable crâne humain : reproduction très fidèle des fissures, foramens, processus, sutures et autres démontable en la calotte crânienne, base du crâne et mandibule **Os et articulations avec pathologies** • **Modèle d'ostéoporose** Composé de 3 vertèbres lombaires (coupe médiane) avec disques intervertébraux. A titre de comparaison, la structure osseuse saine est présentée sur la section de la vertèbre supérieure • **Modèle de dégénération de la colonne vertébrale** lombaire en 4 phases : pour la démonstration des symptômes d'usure des corps vertébraux et des disques intervertébraux. 4 paires de vertèbres, chacune composée du 4e et du 5e corps vertébral, montrent de gauche à droite un état sain, une **hernie discale** ainsi que deux stades successifs de la destruction des corps vertébraux. • **Modèle d'articulation du genou** affectée par de l'**arthrose**
6	**Information : le calcium dans notre alimentation** *(Feuilles A4 imprimées)* => Prévenir : Apporter une information sur les sources de calcium

Annexe 21 - Datation des eaux souterraines

Extrait de (Vergnaud-Ayraud & Devogel, 2015, p. 8)

Comment date-t-on l'eau avec les CFC et les SF6 ?

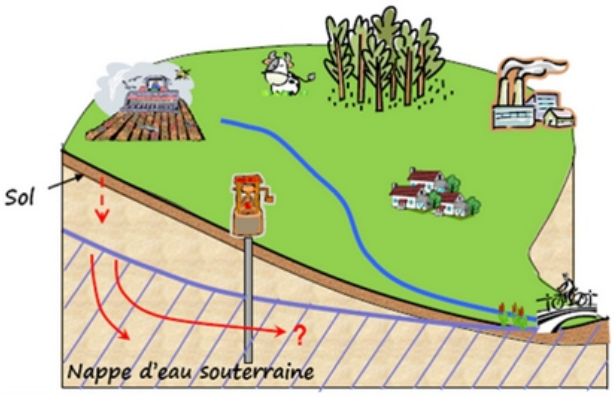
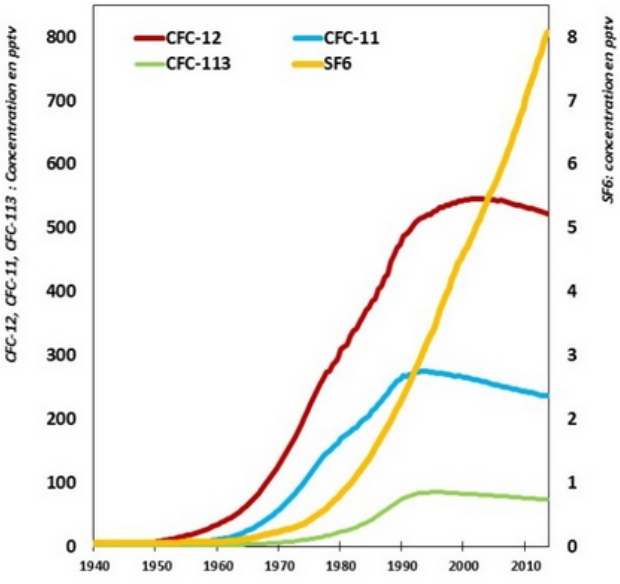


Schéma d'un bassin versant. Le temps de résidence de l'eau (son « âge ») correspond au temps que passe l'eau dans le milieu souterrain de son point d'infiltration jusqu'à son exutoire (sortie) (flèches rouge).

La datation des eaux souterraines consiste à déterminer le temps de résidence (ou « âge ») des eaux dans le compartiment souterrain. Les CFC (chlorofluorocarbones ou fréons®) sont des gaz anthropiques qui s'accumulent dans l'atmosphère depuis les années 60 où ils ont été créés pour servir de réfrigérants, solvants ou encore gaz propulseurs. Le SF6 (hexafluorure de soufre) est lui un isolant électrique utilisé depuis les années 1990.



Evolution de la concentration atmosphérique en CFC et en SF6 de l'hémisphère nord depuis 1940. En l'absence de mélange et jusqu'aux années 1990 pour les CFC, plus on trouve de traceurs dans l'eau plus celle-ci est récente.

Gaz destructeurs de la couche d'ozone et à effet de serre, l'évolution temporelle de leur concentration dans l'atmosphère est connue. L'eau qui s'infiltre dans la nappe enregistre la signature de l'atmosphère de l'année en cours. Elle conserve ensuite cette signature tout au long de sa circulation dans le milieu souterrain. Cette signature est ensuite comparée aux abaques de concentrations atmosphériques pour remonter au temps de résidence de l'eau dans le compartiment souterrain ou à la proportion d'eau récente si un mélange existe.

Annexe 22 - Alain-Hervé et Virginie – Bureau de Alain-Hervé (OSUR)– 20/09/2013

Alain-Hervé (A-H) est chargé de communication à l'OSUR (Observatoire des sciences de l'Univers de Rennes)

Virginie (V) est Ingénieure de recherche au laboratoire GéoSciences de Bretagne

Tdp	Loc	Production verbale et non verbale
1	A-H	on est à l'OSUR c'est l'observatoire des sciences de l'univers de Rennes qui est une nouvelle composante de l'université depuis 2 ou 3 ans et qui prend la suite d'une structure qui était une structure plutôt d'animation de la recherche qui s'appelait CAREN centre armoricain de recherche sur l'environnement qui avait été mis en place vers 2000, ou 2001. On est la composante Science de la Terre et de l'Environnement de l'université avec une fonction de recherche, une fonction d'observation et aussi d'enseignement puisque qu'en tant qu'UFR dérogatoire, on a aussi des enseignements en licence des sciences de la Terre et 2 mentions de master qui représentent une dizaine de spécialités. ((…))depuis fort longtemps on s'est beaucoup investi en termes de médiation au sens large, culture scientifique avec des collaborations régulières avec l'EDS ((moi…))au niveau notamment des créations d'expositions itinérantes, on a participé aussi à la conception scientifique de la salle de la Terre, la première, avec les Petits Débrouillards aussi pas mal de choses on a des relations aussi avec le rectorat moi je m'occupe pour Rennes1 de l'opération à la découverte de la recherche, c'est une collaboration avec le rectorat c'est Didier T qui s'occupe de ça avec Vincent U et Bertrand M pour le secondaire ce sont des chercheurs des enseignants des ingénieurs qui vont dans les collèges et les lycées et ils viennent présenter leurs activités c'est un peu le prétexte pour parler de recherche mais aussi de parcours de vie de formation initiale pour faire partager la passion des sciences (.) nous c'est une tradition très ancienne on participe toujours au village des sciences (.) on doit avoir 15-20 animations tous les ans ((moi))cette année c'est l'année internationale de la coopération et de l'environnement ans le domaine de l'eau et on fait avec les BRGM un atelier sur l'eau la ressource en eau d'où elle vient. on s'appuie sur 2 maquettes d'hydro qui commencent à avoir un certain âge parce qu'il y en a une qui a une dizaine d'années et une un peu plus récente qui a 4-5 ans qui a été faite en 2008 dans le cadre de l'année internationale de la planète Terre et qui permet de comprendre un petit peu comment l'eau circule dans le sol à différentes échelles dans différents milieux (.) de comprendre les interactions avec la surface la rivière de comprendre également ce qu'impliquent les puits de pompage (.)<donc c'est des maquettes qui sont uniquement à vocation pédagogique c'est pas un dispositif de recherche simplifié c'est vraiment une maquette avec un circuit d'eau fermé c'est une maquette analogique qui simule le milieu naturel de façon simplifée évidemment (.) c'est une maquette en plexi étanche transparente dans laquelle on a mis des billes de différents diamètres et elles sont remplies d'eau et on a la possibilité d'injecter des colorants à l'intérieur de la maquette qui migrent qui avancent à l'intérieur de l'amont vers l'aval et qui permettent de comprendre visuellement comment l'eau
2	C	les fractures sont faites comment/
3		avec des endroits sans billes en fait (.) c'est du plexi

4	C	ah les billes ne sont pas versées dedans alors ?
5		si elles sont versées dedans mais au niveau des fractures il y a des petits bouts de plexi qui empêchent les billes de passer
6	C	par ailleurs je suis le milieu granulaire
7		ça permet d'introduire des notions de porosité fracturation et porosité
8	C	du coup c'est pas étanche/ ça peut migrer dans le milieu granulaire/
9		oui
10		c'est ce qu'on montre c'est que ça va rarement de la fracture vers le milieu poreux vers la matrice (.) le plus souvent ça va de la matrice et du moment où ça arrive à une fracture et ben ça part ça s'accélère et ça sort (.) si on veut avoir des relations entre la fracture et la matrice dans l'autre sens il faut qu'on soit dans un milieu très très lent (long ?) où il n'y a plus d'écoulement et là il y a de la diffusion (.) et ce qu'on montre avec cette maquette surtout c'est l'accélération du transfert des polluants liée au fait qu'on arrive au moment où ça capte une fracture
11		transfert des polluants ou circulation d'eau au sens large
12		au sens large car l'idée c'était de montrer aussi que même dans des milieux fracturés granitiques y-avait de l'eau aussi et même pas mal d'eau (.) que ce soit la première ou la deuxième maquette c'était une façon de montrer (.) parce que le grand public a du mal à s'imaginer visuellement ce que c'est une nappe phréatique. Souvent l'image qu'on a c'est le milieu karstique avec la caverne remplie d'eau (.) alors pas du tout chez nous (.) souvent le premier niveau d'étonnement des gens c'est de se dire finalement une réserve d'eau c'est un milieu hétérogène avec des grains du sable de la roche et puis on va aller sortir l'eau de ça y-a des phénomènes qui moi m'étonnent toujours c'est que la rivière est alimentée par la nappe alors qu'on a toujours l'impression que c'est presque l'inverse finalement (.) c'est très abstrait mais quelque part y-a une source ça coule le ruissellement de l'eau alimente la rivière
13		cette maquette-là permet de faire passer deux voire trois messages principaux premièrement les rivières souterraines ça n'existe pas sauf dans des cas bien particuliers que sont les kars (.) dans la majorité des cas c'est plutôt de l'eau qui circule entre les pores de la roches (.) deux que les rivières sont alimentées par les nappes et enfin que l'eau dans les nappes circule une nappe c'est pas quelque chose de figé qui ne bouge pas l'eau va d'un point A à un point B elle va de l'amont à l'aval donc tout ce qui se déplace dans la nappe se déplace aussi dans le bassin versant
14	C	et en dessous ça fait quoi après si ça va d'amont en aval/
15		ça va dans un endroit qui est sûrement plus profond mais qui finira pas ressortir
16	C	donc ça remonte /
17		ça remonte toujours à un moment comme ici au niveau de la rivière
18		donc on peut mesurer les vitesses on peut mesurer aussi l'âge de l'eau ça c'est aussi un autre concept qui est intéressant (.) y-a des méthodes chimiques pour dater l'eau et ça a des applications concrètes ça permet de savoir, notamment par rapport à des pollutions de surface type nitrates que c'est pas parce qu'on

		arrêterait aujourd'hui subitement de polluer que y-a un temps de résidence qui fait que le temps qu'une nappe se renouvelle ben voilà ça se passe pas du jour au lendemain
19		y-a un délai qui est induit par ce temps de résidence dans le milieu souterrain avant de rejoindre la rivière (.) et ce delai est plus ou moins long et beaucoup plus long que ce qu'on imaginait au départ on parle quand même en plusieurs dizaines d'années
20		Donc nous en termes de didactique ces maquettes ont vraiment été conçues dans un esprit de médiation et derrière ça on a nos posters (.)et ce qu'il faut dire aussi c'est que les maquettes (la deuxième au moins) ont été conçues par des étudiants en thèse (.) et dans les animations on essaie d'impliquer les étudiants
21	C	les étudiants ça fait partie de leur formation ou c'est sur la base du volontariat /
22		sur la base du volontariat c'est pas obligatoire Alors là à l'époque où ils avaient fait la maquette ça faisait partie du projet pédagogique c'était obligatoire de le faire dans le cadre du CIES pour les moniteurs
23		et ça avait été labellisé dans le cadre de l'année internationale de la planète Terre y-avait une démarche pro-active par rapport à ça c'était vraiment à finalité de médiation
24		là pour cette année les doctorants qui vont intervenir même si y-en a qui sont moniteurs ils le font tous bénévolement
25	C	c'est quoi un moniteur /
26		ceux qui ont une bourse d'enseignant ((…)) le problème c'est toujours la validation du temps qui a été dédié à ça depuis que le CIES a été supprimé y-a pas vraiment de reconnaissance de ce type d'activité bon c'est une généralité pour tout le monde pas simplement pour les étudiants pour les enseignants ou les chercheurs tout le temps qui est investi
27		autrefois ça rentrait dans ((…))
28		différences entre les masters qui ont un module de médiation scientifique (SENA)
29		après pour les doctorants même si c'est pas validé en termes d'horaire au moment où ils vont postuler pour la qualification ou pour des postes de maître de conférence d'avoir fait de la vulgarisation scientifique et d'avoir participé à la fête de la science de toute façon c'est un plus dans leur CV
30	C	est-ce qu'ils appartiennent à un labo où il y aurait une politique de vulgarisation /
31		alors ils appartiennent au labo d'ici les doctorants là en hydrogéologie ils ont un poste comme ingénieurs de recherche ce sont des gens qui sont au labo toute la journée qui travaillent sur des manips ils sont pendant trois ans payés ils sont dans les labos ils ont un bureau et ils vont sur le terrain
32		ils sont intégrés à l'équipe de recherche
33		quand on demande l'implication des doctorants tout le labo est pour (.) il n'y a aucun frein à l'implication des doctorants sur ce type d'action
34		au Caren et maintenant à l'OSUR la fonction communication au sens

		large dont je m'occupe et à l'intérieur de la fonction de communication l'objectif de médiation scientifique d'ouverture vers le grand public ou des choses du type de la valorisation au sens large ou plus spécifique de la valorisation économique ça fait partie dans le domaine de l'environnement de nos préoccupations (.) on l'a institutionnalisé en mettant une personne et des missions là-dessus, il faut communiquer sur ce qu'on fait voilà la vulgarisation des sciences la relation sciences-société ça c'est quelque chose à laquelle on est particulièrement sensible (.) c'est une priorité pour nous en termes de communication
35		Au niveau des chercheurs et des enseignants chercheurs du labo c'est quelque chose qui les intéresse parce que les sciences – quoi que cette année je crois que les effectifs remontent, mais y-a toute une période où les effectifs diminuaient – et ce genre d'action de faire découvrir les sciences le travail de recherche en labo ou autre c'est intéressant aussi pour dans les années futures avoir des étudiants qui viennent
36		oui on a des messages pure culture scientifique éducation au sens très large mais c'est vrai que l'arrière-pensée y-a une démarche intéressée dans le sens où – c'est pas forcément clair dans la tête des jeunes ce que c'est que les sciences de la terre et de l'environnement c'est plus ou moins les SVT c'est quoi les métiers derrière c'est aussi un prétexte pour dire c'qu'on fait là on est à l'université y-a des filières d'enseignement adossée à la composante nos enseignants chercheurs sont aussi enseignants en licence et master (.) ça permet de vendre l'université au sens large et à l'intérieur de l'image de l'université qu'on essaie d'améliorer on essaie de vendre un peu plus nos filières à nous
37		nos filières et aussi parler des métiers qui sont liés à ces filières
38	C	donc le stand sera autour de ces deux maquette-là /
39		oui
40	C	principalement ou
41		exclusivement
42		ben y-aura les posters qui sont derrières et moi je vais ramener des carottes de schiste
43		oui c'est vrai associées aux maquettes souvent on vient avec des carottes ou des morceaux de roches pour que le lien entre la maquette analogique et le milieu naturel soit bien fait<1142525>
44	C	votre atelier est ouvert aux primaires aussi /
45		c'est un peu la condition sine qua non parce que nous venons les 3 jours mais le vendredi est ciblé pour les scolaires
46		votre question c'est on ne s'adresse pas seulement au secondaire est-ce qu'on est aussi capables d'adapter notre discours au primaire
47		oui ((…))je m'intéressais à la formation des PE. Certains profs n'exploitent pas ce qu'ils voient. Ils sont en retrait et attendent que ça se passe
48		et qui ne préparent pas non plus en amont, et qui n'exploitent pas en aval, qui font du tourisme scientifique en fait ((..)) il manquait une dimension à mon travail de l'année dernière : quel savoir est transmis/ donc cette année j'ai décidé autant que

		possible d'entrer dans les labos et de voir **quelles sont vos intentions au moment de l'intervention qu'est-ce que vous voulez transmettre**
49		après il y a différents niveaux/ normalement on adapte notre discours au niveau de la classe qu'on a en face de nous\ on essaie tout le temps de tester le niveau scientifique\ est-ce qu'on est devant un amateur pur/ un amateur averti/ souvent avec les questions on arrive à tester et là on adapte le discours\ la maquette des milieux fracturés/ avec les primaires/ on va surtout montrer que ça peut aller vite/ ça peut aller loin/ avec celle-là on va surtout axer sur la rivière\ la première question qu'on va poser à des primaires/ même aux plus grands/ c'est l'eau des rivières elle vient d'où\ alors là souvent les réponses c'est souvent ah des montagnes/ de la pluie\(.) OK\ il a pas plu depuis 10 jours\ pourquoi la Vilaine elle a encore de l'eau/ ah ben\(.) et là/ on met la maquette en route/ voyez/ là/ c'est une nappe\ même avec des primaires\ pourtant c'est de la recherche\ quand on fait de la modélisation de ce type-là ((montre un poster))ça on va pas en parler à des primaires/ on essaie de prendre des températures des choses comme ça y-a plusieurs niveaux de lecture de ces maquettes-là\ les discussions qu'il y a derrière dépendent du niveau et de l'âge du public
50		et puis ils viennent avec leurs questions/ ils sont assez interactifs\541>
51	C	je suis allée sur le site et on voit des maquettes en mouvement
52		oui oui
53		avec Danièle/ Virginie a fait sa starlette pour faire un des films de promotion du village/ y-en a eu 3 de tournés je crois et y-en a un c'est sur les maquettes\
54		mais pour l'instant elles ne sont pas encore en ligne<
55		et bien sûr y-a aussi le côté technique ou ingéniérie qui les intéresse aussi\ des fois ils sont curieux de voir\ comment ça marche alors/ derrière c'est la pompe\ tac tac\ eux ils voient le côté ingéniérie qui est aussi intéressant d'ailleurs
56		là où je ne suis pas complètement d'accord avec ce que tu as dit au départ/ c'est que ces maquettes ont été effectivement faites à vocation pédagogique/ mais n'empêche qu'on a certaines maquettes de recherche/ qui se basent sur les mêmes techniques/ sur les billes de verre/ les milieux fracturés/ on a une maquette qui est faite avec le même type de billes\ le même type de fracture/ et où là/ effectivement en faisant varier la vitesse de l'eau/ on regarde si ça communique avec la matrice ou pas/ avec des caméras et des choses comme ça/ donc ce n'est pas complétement déconnecté du matériel qu'on utilise REELLEment et dans les besoins de l'ingénierie les ingénieurs ont mis au point ces techniques\7> (0 :24 :32.0)
57		d'ailleurs l'ingénieur qui créé la première maquette/ son boulot de tous les jours/ c'était de créer les dispositifs instrumentaux/ au jour le jour avec les chercheurs\ et il a utilisé les mêmes matériaux/ le plexi/ les billes de verre/ les structures en alu/ on pourrait aller voir en bas dans le labo d'hydro/ c'est vrai que ça ressemble\ mais reste que pour celle-là, un jour on s'est mis autour d'une table en se disant bon qu'est-ce qu'on peut faire pour le grand public\ mais avec ce que l'on fait tous les jours\ effectivement/ mais faisons un truc pour le grand public

		> (0 :25 :11.1)
58		mais là/ c'est une maquette/ mais le fait d'utiliser des colorants c'est ce que l'on utilise aussi dans le milieu naturel/ parce que\ les eaux souterraines sont sous nos pieds/ on ne peut pas faire d'ENORmes fosses pour voir COMMENT elle circule et à QUELLE vitesse elle circule/ donc c'qu'on fait c'est pareil on injecte des TRACEURS/ qu'on va récupérer à un point un peu plus loin\ sauf qu'on injecte pas de la couleur parce qu'on a pas besoin de la couleur/ on injecte des sels\ on injecte des éléments chimiques bien particuliers/ qui sont peu nocifs pour l'environnement et qu'on est capable de détecter\ c'est vraiment très proche de c'qu'on fait EN réalité/
59		là dehors ((par la fenêtre du bureau))dans l'herbe là-bas/ tu as un plot en béton/ y-a des puits y'en a 4 qui ont été creusés/
60		deux
61		des puits qui vont à une centaine de mètres de profondeur\
62		70\
63		70\ et l'idée c'est de comprendre justement la circulation de l'eau/ entre deux puits par exemple\
64		c'est-à-dire que les deux puits sont reliés par UNE fracture qui est située à 25 m si mes souvenirs sont bons\ et on injecte comme ça des traceurs et on teste aussi nos traceurs SUR le campus/ avant d'aller sur le milieu naturel\ LA/ entre les deux plots\ y-a 20 mètres en fait entre les deux\ et on récupère tout dans l'autre\
65		c'est assez proche en effet/ de quelque chose qui est de l'ordre de l'expérimentation scientifique au départ/ et qui sert ensuite de support de formation pour les étudiants quoi\
66		les questions qui se posent quand on a une rivière avec une pollution ou alors on a une pollution sur un site dans combien de temps elle va rejoindre la rivère/ est-ce qu'elle va contaminer le captage de l'alimentation en eau potable ou pas/ et donc le fait d'utiliser des traceurs/ ça permet de savoir dans combien de temps/ de SIMULER en conditions réelles/ une pollution là pas dangereuse/ pour mieux savoir réagir eccetera\ y-a des choses qui sont beaucoup utilisées\ et puis ben ici on cherche toujours des nouveaux TRACEURS/ qui sont de moins en moins IMPACTANTS pour l'environnement/ et par exemple on a toute une équipe qui travaille sur injecter de la CHALEUR\ simplement de l'eau CHAUDE qui modifie peu le milieu et qui permet de suivre le cheminement/ et on s'est rendu compte que la chaleur ne diffuse pas COMME les éléments chimiques et ça nous donne encore D'AUTRES infos sur le milieu\
67		ça c'est la recherche fondamentale actuelle
68		sauf qu'au lieu d'injecter un colorant vert/ hop on injecte un pulse d'eau chaude/ et on regarde comment il sort\
69		ça veut dire que ces maquettes qui ont une dizaine d'années/
70		10 ans\ et 5 ans\
71		elles restent d'actualité/ simplement il y a quelques paramètres qui changent sur lesquels vous travaillez/
72		ce sont des maquettes pédagogiques certes/ quand on parlait de différents niveaux on est passé d'un niveau primaire\ avec juste la rivière/ à un niveau peut-être là à un niveau lycée/ OK ces

		maquettes représentent vraiment ce qu'on fait sur le terrain/ qu'est-ce qu'on utilise comme outils/ comment on fait pour prélever/ là dans celle-là on a une petite pompe qui permet d'enlever l'eau et de montrer comment ça ABAISSE le niveau de la rivière/ on peut A PARTIR de la maquette parler de tout ce qu'on fait en recherche actuellement (0 :28 :14.6)
73	C	et vous vulgarisez là-dessus/
74		après y-a des articles dans sciences-ouest de temps en temps dans ouest-france mais l'activité de vulgarisation principale c'est la fete de la science et l'intervention dans les lycées et les collèges ou inversement les lycéens qui viennent nous voir
75		et les expos itinérantes aussi avec l'espace de sciences c'est ce qui est le plus rentable en termes d'impact après parce que quand on voit les stat de prêt elles sont tout le temps parties à droite à gauche une expo c'est des dizaines des centaines d'enfants donc on se dit ((..)) parce que au bout de 2 jours le village des sciences on peut dire qu'il a été visité par 7000 personnes on en a peut-être capté la moitié sur la moitié y-en a encore peut-être encore une moitié qui a ((..)) les expos par contre… Donc en termes de vulgarisation derrière on n'a pas fait de livret pédagogique c'est vrai que ça pourrait s'imaginer un quiz ça pourrait s'imaginer une plaquette on n'a pas fait de produit dérivé on pourait dire comme ça associé à la maquette
76	C	l'animation suffit peut-être/
77		ouais
78		après là je parle pour l'hydrogéologie mais je pense que c'est un peu vrai en général on a déjà ça à destination des enfants et ce qui est demandé actuellement c'est la valorisation de la recherche à destination des entreprises On a des savoir-faire qui peuvent servir dans le cadre d'études appliquées vers des collectivités ou des entreprises et on met aussi un peu d'énergie aussi là-dedans dans ce qu'on appelle la valorisation Et par exemple là nous on a soummis un projet à l'Europe qui normalement est en bonne voie sur la valorisation de tout ce qu'on fait en hydrogéologie à destination des collectivités et des industries là en explicitant effectivement les outils qu'on utilise c'est de la vulgarisation mais pas pour le même public
79	C	c'est de la vulgarisation de haut niveau pour un public différent
80		c'est de la valorisation
81		c'est du transfert au lieu de le faire vers le grand public on le fait vers les entreprises
82		vers le monde économique
83		et ça ça nous est demandé par notre tutelle ((CNRS)) et y-a des retours qui peuvent être plus directs donc y-a de l'énergie qui est mise là-dessus
84	C	vous avez prévu un temps de formation ou de préparation/
85		oui
86	C	avec vos étudiants/
87		oui mais la date n'est pas encore fixée car il est co-animé avec nos collègues du BRGM Bureau pour la Recherche Géologique et minière dont une des spécialités en Bretagne est aussi la gestion de la

		ressource en eau donc ils vont co-animer avec nous donc on a prévu de se rencontrer pour harmoniser un petit peu le discours et donc à ce moment-là
88	C	si vous pouvez me mettre dans le coup
89		ouais
90		en fait moi j'attends le feu vert qu'on ait reçu toutes les pièces
91		parce qu'en fait on a rajeuni un petit peu les maquettes on a rajeuni les pompes on a doublé le matériel pour faire fonctionner simultanément les deux maquettes parce que jusqu'à présent y-a avait des pompes qu'on faisait passer d'une maquette à l'autre et c'était le bazar
92		jusqu'à présent on en utilisait souvent qu'une des deux
93		et là on met les deux
94		donc là y-a une petite phase de réajustement et quand c'est fait là j'ai les dispos du BRGM je vais faire un Doodle avec tous les gens concernés
95		parce qu'en fait entre les deux maquettes on peut voir une continuité en termes de profondeur celle qui est à gauche c'est plutôt la surface en surface et après dans le milieu fracturé on est un peu plus profond
96		on peut aussi être dans le milieu fracturé tout de suite et c'est un zoom sur cette partie y-a plusieurs de mettre en lien l'une avec l'autre
98	C	il y a un temps de préparation ou plusieurs/
99		j'espère en faire qu'un en espérant avoir tout le monde si je le fais 2 fois ce sera deux fois le même parce qu'il y aura des gens qui n'auront pas pu venir
100		là on réutilise des outils qui ont été conçus y-a pas mal de temps c'est vrai que les deux années où les maquettes ont été conçues là y-a eu un boulot en amont assez considérable les 3 ou 4 étudiants qui ont conçu la maquette des milieux fracturés-là il ont bien passé 50 ou 100 heures par personnes c'était un gros gros boulot parce qu'ils l'ont fait matériellement ils l'ont pensée ça marchait pas bien au départ ils ont tâtonné
101		ils ont fait des simulations numériques
102		ça leur a profité pour leur formation ça leur a permis de valider des démarches scientifiques des problématiques qu'ils avaient dans leur thèse c'est pas complètement déconnecté mais malgré tout il y a eu un gros travail en amont ; là c'est plus de la coordination avec nos collègues du BRGM
103		après ce qui va pouvoir t'intéresser plus du côté professeur et du côté scientifique c'est qu'on va être plusieurs à intervenir à mon avis le discours ne va pas être le même suivant les personnes
104	C	je m'attends à ça aussi tout à fait et
105		on aura beau avoir eu tous la même formation au final on a tous des spécialités un peu différentes et ce sur quoi on va orienter va être
106		et puis ce qui est intéressant c'est aussi voir la personnalité la sensibilité le feeling qu'on a avec le public les enfants ben après on trouve les mots les associations d'idées certains ont plus ou

		moins cette gymnastique d'esprit de pouvoir à un moment donné parce que la fds c'est un truc de fou on a des gamins le vendredi déjà y-a des niveaux voilà alors le samedi et le dimanche on passe d'un petit et hop le coup d'après c'est un bonhomme qui vient qui est déjà un peu plus pointu c'est le yo-yo
107		ou on passe du protecteur de l'environnement à l'agriculteur parce nous le problème de travailler sur l'eau et de parler de polluant on fait tout de suite le lien avec les nitrates et l'agriculture et les questions on n'y échappe pas après on a les pro agriculture les pro environnement
108		et des fois ça dévie complètement sur des sujets qui n'ont rien à voir avec l'eau
109		le métier de recherche les outils de recherche<2187639>
110	C	quand je viendrai je pourrai filmer/
111		dans mon cas personnel oui, mais pour les autres il faudra voir avec eux
112		((…))
113		parce que nous on est dans le cadre académique universitaire on a peut-être un peu plus de liberté que le BRGM qui est un peu plus corseté on a de plus en plus cette mission de tranfert mais eux c'est pas des vulgarisateurs c'est pas des enseignants ils n'ont pas cette préoccupation là et donc parfois on a vu cette réaction par rapport aux journalistes de Betton ils font beaucoup plus attention au message qu'ils délivrent L'INRA a aussi ce souci en termes de comm ils ont moins de liberté que nous au CNRS ou à l'université ils sont beaucoup plus attentifs
114		d'ailleurs il faudra avec le BRGM leur poser cette question avant
115		sur l'eau y-a des enjeux eux ils sont plus axés sur la ressource on travaillerait avec nos collègues de l'INRA qui sont plus en lien avec les problèmes de pollution de surface tout ça y-a des sujets je vais te dire les OGM nous si on voulait faire un exposé sur ce que fait Jean Reynald sur le stockage des déchets nucléaires tout de suite on est dans JR c'est le monsieur qu'on voit là il travaille aussi sur des problèmes de connectivité sur des périodes très longues dans des stockages souterrains profonds quelle est la stabilité du milieu et la question derrière c'est si on met des déchets nucléaires à 100 mètres de profondeur dans 200 000 ans où en est-on/
116		on aura aussi la question cette année des nitrates et des gaz de schiste
117		et derrière y-a des gens qui sont pas bêtes quoi ils écoutent l'actualité
118	C	ça c'est un sujet dont on entend parler
119		oui mais ils mélangent tout ils entendent parler de fracturation hydraulique attention là on parle de fracture et d'eau après tous les raccourcis sont possibles donc effectivement faut s'attendre à tout des fois on peut vite être décontenancés
120		la question de la vidéo c'est à finalité de recherche donc ça pose pas de problème je pense que le brgm vu que c'est pas à vocation d'être diffusé ça devrait le faire mais
121		JR a fait un article de vulgarisation sur la fracturation

		hydraulique pour l'exploitation du gaz de schiste les problématiques ne sont pas forcément très éloignées l'idée c'est comment l'eau circule dans le milieu souterrain la connexion avec la surface
122	C	la rencontre avec les doctorants se passe ici/
123		devant les maquettes sûrement même dehors avec de l'eau dans le garage
124		on les fera fonctionner et on répétera un petit peu le il faut qu'ils apprennent à utiliser les maquettes et à mettre le discours là-dessus quoi
125	C	est-ce qu'il est arrivé que des étudiants prennent des initiatives de montrer d'autres petites manips
126		les roches y-a ta petite maquette qu'est dans ton bureau que tu voulais apporter cette année c'est une version simplifiée de celle de gauche mais en utilisant des vrais matériaux des vrais cailloux des vrais grains de sable
127		pour replacer dans le contexte j'ai eu une petite période dans le privé je parlais aussi d'hydrogéologie à de futurs clients j'essayais de vendre des prestations en hydrogéologie et j'avais cette maquette pour montrer je la trouvais bien pour montrer l'important j'ai pas réussi à la refaire c'était pas facile avec l'eau ((…)) donc j'en ai refait une pour montrer aux gens que les eaux souterraines c'est pas des rivières c'est de l'eau qui circule entre les roches et autres et donc j'ai refait le même type de maquette mais avec des vrais cailloux
128		et quand je l'ai vue je me suis dit c'est bien parce que là c'est une maquette analogique donc qui simule le milieu naturel mais même si on montre des choses très visuelles pour un gamin le sol c'est quand même pas des billes de verre non plus donc à un moment donné il manque une étape entre ce qui est la nature et la maquette même si elle est très vulgarisée donc la tienne était géniale pour ça on dit là on a mis des billes de verre pour que l'eau circule mais attention dans le milieu naturel c'est des cailloux et donc là y-a l'autre maquette qui est en plexi aussi mais on a remplacé les billes par des cailloux de différents diamètres
129		en didactique des sciences moi j'avais appris ça quand j'étais en thèse et quand je me suis retrouvée dans le milieu privé et que j'ai dû expliqué ce qu'était le milieu souterrain tout de suite je me suis appuyée sur ce que j'avais fait en thèse sur ce que j'avais utilisé comme outil de vulgarisation ici pour refaire mon propre outil et maintenant je me refais piquer
130		ça montre qu-y-a des va-et-vient avec des publics très différents et quelque part la problématique est toujours la même il faut montrer faire comprendre des choses qui sont invisibles ce qui est dans le sol quand on est curieux à part prendre une pelle(0 :43 :33.6)
131		l'idée de la seconde maquette c'est typiquement ça aussi disons que les doctorants ne viennent pas au moment de la fête de la science avec d'autres maquettes avec d'autres outils c'est très rare par contre ces étudiants-là qui ont fait la deuxième maquette ils ont utilisé la première lors de fêtes ah ouais mais nous on bosse sur les milieux fracturés c'est pas tout à fait pareil et je pense que c'est de là qu'est venue l'idée de créer la deuxième maquette de se dire là y-a des trucs qu'on ne monter pas y-a d'autres types de fonctionnements et autres qu'est-ce qu'on peut mettre en place pour

		le montrer aussi et ils ont créé la deuxième
132		pour la vulgariqation parce que ça ne correspondait pas à leur recherche à eux
133		et ça a donné l'idée à l'INRA de faire la maquette sur les bassins versants la maquette de surface où ils montrent un bassin versant où on voit la surface les champs la ferme et ils ont utilisé en fait notre maquette la leur est de même surface ils ont placé la rivière au même niveau c-a-d que quand ils mettent les deux l'une à côté de l'autre la rivière arrive au même niveau c'qui fait que ça donne une idée en 3D<
134		disons que c'est des maquettes qui demandent un peu de réflexion au niveau de la mise en place et les outils nous on travaille quand même beaucoup en modélisation numérique ou alors on fait des analyses chimiques amener de l'eau c'est des choses qui se voient pas donc c'est difficile à part un bout de roche de se dire ah ben je vais amener ça par contre ces moments-là c'est souvent des moments privilégiés pour se demander ce qu'on pourrait faire de plus par rapport aux questions qu'on a eues tiens on a eu cette question comment on pourrait le montrer et c'est comme ça que depuis une dizaine d'années d'autres maquettes se sont mises en place mais on n'a pas d'outils comme les physiciens ou les chimistes qui montrent les matériaux qu'ils créent on n'a pas de choses comme ça qu'on peut montrer facilement
135		à part les cailloux maintenant comme dans toutes les disciplines scientifiques y-a beaucoup de numérique et de modélisations alors le truc si c'est mettre un ordinateur sur une table et montrer un écran bon donc si on veut rester dans l'analogique l'expérimental ben voilà quoi faut faire un effort conceptuel parce que les physiciens ou les chimistes allez hop je mélange 2-3 produits puis ça mousse mais bon c'est pas sympa pour eux mais bon ils peuvent montrer des choses que nous on peut pas
136		oui chaque discipline a ses problèmes de modélisation de démonstration
137		alors nos collègues du BRGM qui seront là ont déjà utilisé les maquettes plusieurs fois Bruno par exemple a fait avec Olivier dans le cadre du festival y-a un an ou deux ils avaient fait des démos de la maquette par contre nos petits thésards ne vont pas avoir beaucoup de recul par rapport à ça car pour eux c'est la première fois donc ce sera intéressant de voir comment Virginie va les former donc eux ne vont pas forcément avoir grand chose à raconter comme retour d'expérience parce qu'ils vont tout découvrir ce jour-là
138		c'est d'autant plus intéressant mais ils vont se les approprier très vite ces maquettes
139	C	ben c'est quand même des hydrogéologues non/
140		oui
141	C	ils comprennent
142		moi j'ai souvenir de me l'être appropriée vite
143		par contre ils ne les ont pas utilisées dans leur formation/
144		non pas du tout c'est vraiment des choses qu'on sort que pour la communication
145		tu vas voir comment ils vont s'approprier la maquette et la

		restituer alors que Bruno et Flora ils la connaissent déjà tu pourras comparer
146		ce qui va être intéressant c'est de voir les changements de quart sur le site quand les gens vont arriver y-aura déjà quelqu'un en place et en général y-a à ce moment-là une transmission du savoir transmission des questions qui ont été posées les problèmes avec la maquette
147		le planning est fait
148		donc j'attends le doodle ce sera à peu près quand/
149		à mon avis ça risque d'être le lundi ou le mardi d'avant la fds
150		le faire trop à l'avance pour le coup pédagogiquement c'est pas une bonne idée vaut mieux être assez proche de la période sinon ils vont oublier comment ça fonctionne
151	C	ben oui s'ils ne préparent pas plus
152		ben non les gens vont venir une heure et ils n'y reviendront pas
153		parce que là ce qu'il faut leur montrer c'est plus le fonctionnement technique de la maquette je joue sur les différentes vitesses de la pompe les robinets pour faire ceci celà après la matière scientifique le discours ils l'ont quoi c'est leur spécialité scientifique hein
154		moi je leur montre ce qu'on peut montrer directement avec la maquette mais le discours scientifique qui va y-avoir autour c'est des hydrogéologues on n'a pas de discours type avec cette maquette-là je vais laisser à chacun le soin de développer et en fonction des questions et de ce qu'ils ont envie ils sont tous hydrogéologues et puis voilà moi j'ai pas envie de leur dire faut dire ça je vais leur montrer que là vous pouvez montrer que ça circule vous pouvez montrer que ça rejoint la rivière vous pouvez montrer qu'on utilise des traceurs
155		qu'est-ce que la maquette permet de montrer après eux ils vont faire leur salade autour de ça
156		alors y-en a que ça va stresser alors ceux-là normalement je les ai mis avec moi sur le planning pour faire le planning j'ai mis les plus expérimentés sur des périodes où ils sont seuls et les moins expérimentés avec quelqu'un parce qu'on a des thésards qui sont qu'en première année donc qui sont au niveau culture générale sur l'hydrogéologie qui sont un peu jeunes normalement j'ai essayé de coupler un plus expérimenté avec un moins expérimenté
157		ils sont combien par équipe/ ((…))j'ai essayé qu'on soit trois sur le stand parce que c'est lourd toutes les demi-heure de répéter la même chose comme ça y-en a toujours un qui peut faire une pause aller faire un tour on a réellement besoin que de 2 personnes mais j'ai essayé au maximum d'en mettre 3 puis ça permet aux plus jeunes
158		Juste une petite question puisque vous avez l'habitude de ça les profs ils sont aidants ou absents comment vous les ressentez/ les profs qui accompagnent les classes
159		passifs c'est rarement arrivé que j'aie des profs actifs si actifs c'est en fin de présentation quand ça les titillent eux ils ont une question au moment où les lycéens commencent à partir en fait j'ai une petite question mais tout le temps de l'intervention c'est passifs complet

160		moi je pense que par rapport à leurs élèves ils sont pas très à l'aise par rapport à leur sujet et quelque part ils veulent préserver leur image de il vaut mieux rien dire et pas dire de connerie que de se disqualifier devant les élèves ben c'est un peu l'impression qu'on a c'est j'veux pas prendre la parole et dire une connerie parce que ma classe après je vais être mal devant quand même
161		moi j'ai aussi l'impression je vais être un peu plus médisante j'ai quelqu'un pour expliquer moi c'est bon j'ai rien à faire juste à surveiller qu'ils fassent pas de conneries pendant ce temps là
162		ouais pour eux c'est peut-être un peu une récré aussi
163		en fait ils veulent préserver le côté en fait c'est quand même moi l'instit donc là quand je vais à cette présentation y-a quelqu'un qui prend la fonction d'enseignant et donc voilà ils veulent pas se mettre en porte-à-faux par rapport à l'image qu'ils veulent préserver vis-à-vis de leur classe je pense qu'ils sont assez vigilants là-dessus
164		ils amènent leur classe voir une ressource ils jouent le jeu c'est pas pour parler à la place de
165		ils font une démarche active quand même de s'inscrire et de venir
166		moi ce que je trouve toujours surprenant c'est qu'ils n'osent pas poser leur question devant les lycéens ils attendent souvent le moment où on va rejoindre le bus et hop
167		parce qu'ils ont peur de dire une bêtise si je dis une bêtise et que je me fais prendre c'est ma crédibilité devant la classe qui en prend un coup et ça c'est aussi parce qu'il ne le préparent pas suffisamment en amont leur visite à leur décharge il faut reconnaître que quand ils viennent ils viennent pour une demi-journée ils voient x stands préparer x stands dans des domaines très différents ça demanderait un gros boulot maintenant
168		la préparation est assez difficile moi j'ai fait la démarche ((…))
169		c'est clair que si on prend le programme on n'a pas les contacts faut reconnaître que c'est assez et pour les stands c'est encore plus court que pour les autres animations dans le cadre du festival y-a 3 lignes
170		je réfléchissais à l'attitude des profs quand même quand c'est des primaires les instit' sont un peu plus impliqués quand même parce ils posent plus facilement des questions quand même les instit' que les profs de secondaires ou ils reprennent c'qu'on dit pour simplifier pour le ramener à un niveau qu'ils pensent pertinent pour leur classe
171		ils sont plus actifs
172		souvent ils nous reprennent gentiment probablement inconsciemment que nous on jargonne aussi ils se disent ouh là là ce concept-là dans ce cas-là ils peuvent reprendre la parole pour simplifier
173		c'est un des résultats de mon travail de l'année dernière, la reformulation
174		ou alors ils sautent sur rappelez-vous on avait vu ça tel jour tel machin
175		deuxième résultat de l'année dernière

176		ce que font pas les profs du secondaire
177		ah bon/
178		non moi je ne l'ai jamais vu sur les profs du secondaire que sur les profs du primaire
179		ouais ouais je crois que t'as raison
180		y-a une grosse différence je pense que c'est lié à l'âge des élèves un instit a moins peur de se mettre en porte-à-faux par rapport à ses élèves qu'un prof du secondaire par rapport à des collégiens ou lycéens
181		ça vient sans doute du fait que l'instit ne peut pas maîtriser l'ensemble des savoirs qu'il enseigne
182		il est moins inquiet
183		son autorité est plus naturelle

Annexe 23 - Les films de l'autre côté, les expériences des scientifiques – La circulation des eaux souterraines

[résumé info sur YouTube]Savez-vous que les eaux souterraines (les nappes phréatiques) alimentent directement les rivières ? Que 80 % des eaux du robinet proviennent de cette ressource souterraine ? Virginie Vergnaud-Ayraud, ingénieure de Recherche à l'Observatoire des sciences de l'univers de Rennes vous propose de venir découvrir, avec l'appui d'une maquette, l'importance des eaux souterraines dans notre vie quotidienne et comment les chercheurs les étudient.

(0 :00 :02.0) Bonjour, Virginie Vergnaud, je suis hydrogéologue à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes et mon sujet d'étude c'est les eaux souterraines.(0 :00 :09.8)

Il faut savoir que 80 % de l'eau du robinet provient des eaux souterraines captées à partir des sources ou des puits.(0 :00 :16.2)

Pour vous montrer l'objet sur lequel je travaille, comment on étudie les eaux souterraines, voici une petite maquette pédagogique qui permet de vous montrer les différentes nappes : la nappe libre qui est en connexion avec la surface, qui est séparée souvent des autres nappes par une couche imperméable composée de roches plus ou moins compactes, puis, en dessous, il y a une nappe qu'on dit "captive" qui peut aller jusqu'à 100 ou 500 mètres de profondeur. Donc, vous avez aussi sur cette maquette les piézomètres qui nous permettent d'aller échantillonner l'eau dans la nappe libre ou dans la nappe captive, un puits de pompage qui permet d'alimenter en eau potable les villes ou les industriels en eau potable, et vous avez enfin la rivière qui est représentée ici sur cette maquette.(0 :01 :00.4)

Pour étudier la vitesse à laquelle circule l'eau et comment elle se comporte dans le milieu souterrain, ce qu'on utilise souvent, c'est des traceurs qui peuvent être des colorants, et on les injecte directement dans le milieu souterrain, dans les nappes que l'on veut étudier et on regarde comment ces colorants se déplacent dans le milieu, à quelle vitesse, comment ils se diffusent. (0 :01 :24.2)

Regardez bien le colorant qu'on a mis dans la nappe libre, il vient rejoindre directement la rivière, preuve que les rivières sont en connexion directe avec les nappes alors que dans la nappe captive, le colorant ne remonte pas du tout, il poursuit son cheminement. (0 :01 :39.2)

Quand on met le puits de pompage en route, ce qu'on peut voir, c'est la baisse du niveau de la nappe, associée également à la baisse du niveau de la rivière si ce pompage est trop fort. (0 :01 :49.7)

Quand la rivière est à sec, ce qu'on peut voir c'est que si on réinjecte

notre colorant, on voit cette fois-ci que la nappe n'alimente plus la rivière mais poursuit son cheminement. (0 :02 :05.2)

Donc voilà, sur cette maquette, je vous ai présenté un certain nombre de principes, d'objets d'études que nous réalisons. Alors forcément, dans la nature, on n'utilise pas des colorants rouges comme ceux-ci, mais plutôt des traceurs en toute petite quantité, voire, certains chercheurs utilisent, la température, font des pulses d'eau chaude pour essayer de comprendre comment l'eau circule à l'intérieur des roches et d'un puits à un autre. (0 :02 :30.1)

On a aussi un certain nombre d'études qui sont faites sur le temps que met l'eau pour circuler, sur la vitesse à laquelle l'eau circule, (0 :02 :37.8) de façon à mieux comprendre, dans le cas d'une pollution, pendant combien de temps cette pollution va rester dans le milieu souterrain, et dans combien de temps, on va récupérer une meilleure qualité de l'eau. (0 :02 :47.6)

Toutes ces études que nous réalisons sont faites pour préserver la qualité de notre eau souterraine et bien sûr, du coup, la qualité de notre eau du robinet. (0 :02 :56.3)

Espace des sciences. (2013). La circulation des eaux souterraines. Rennes : Les Films de l'Autre Côté. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch ?v=UmsudGz1UKw&feature=youtube_gdata_player (0 :02 :59.7)

Annexe 24 - Studio Village – Bruno Mougin, hydrogéologue au BRGM

interviewé par Nicolas, animateur du Studio Village (0 :07 :33.6)

1- Bruno : L'eau du robinet ça coule de source ? C'est un jeu de mots. Contrairement aux idées reçues, 2/3 de l'eau du robinet vient des eaux souterraines. et le tiers restant de pompages dans les rivières.

Je suis hydrogéologue chargé du suivi de la profondeur des eaux souterraines en Bretagne. On dispose d'un réseau de 52 trous dans le sous-sol qu'on appelle des forages, et leur petit nom c'est piézomètre, comme suivi de la profondeur des nouveaux de nappes sur la Bretagne.

couleur des points, sur cette carte, indique si les nappes montent ou descendent. Pour savoir ce qu'il se passe dans les nappes, dans les 52 forages, on a un appareillage automatique qui mesure en continu la profondeur de l'eau souterraine. Ces mesures sont ensuite interrogées par un réseau de téléphones. On rapatrie ces mesures dans nos bureaux à Rennes et ensuite ces données sont mises à disposition du public sur un site internet totalement gratuit ADES comme Accès aux Données sur les Eaux Souterraines.

2- Nicolas : Ce n'est pas seulement lié à la sécheresse ou aux inondations ?

3- Bruno : Ces eaux souterraines font partie intégrantes du cycle de l'eau. L'eau qui tombe à la surface du sol, va soit ruisseler à la surface du sol (c'est ce qu'on voit sur les routes), mais elle s'infiltre aussi dans le sol et va aller alimenter ces nappes phréatiques. Ces nappes phréatiques vont ensuite dans les rivières, qui vont à la mer. L'eau de la mer peut s'évaporer et ensuite donner des précipitations et le cycle est bouclé.

4- Nicolas : Ensuite vous donnez cet état des nappes tous les mois ?

5- Bruno : C'est particulièrement sensible sur la période de l'été. Le niveau des rivières s'abaisse. Certaines sont à sec. Il faut mettre cela en relation avec les eaux souterraines. Les eaux souterraines alimentent les rivières donc il faut connaître l'état des nappes pour connaître l'état de sécheresse des rivières.

6- Nicolas : Est-ce que ce n'est pas un peu frustrant de ne jamais voir vraiment ces nappes ? Vous travaillez sur un objet que vous ne vous voyez pas !

7- Bruno : C'est le cœur de notre métier. En réalité, on peut voir l'eau souterraine. On peut voir un certain nombre de puits dans les fermes, qui sont des moyens d'accès aux eaux souterraines. On voit des forages, notamment chez un certain nombre d'agriculteurs qui vont chercher cette eau pour alimenter leur bétail ou pour arroser leur maïs. Et, comme je le disais aussi tout à l'heure, on voit aussi l'eau souterraine dans les rivières.

8- Nicolas : Et vous utilisez tous ces points dans la terre pour observer le niveau ?

9- Bruno : Tous ces ouvrages souterrains sont des indices pour nous pour savoir comment la circulation de l'eau souterraine se fait dans le sous-sol. Si elle est rapide ou lente, et suivant le type de roches, si la roche est capable de contenir de l'eau et de former ce qu'on appelle une nappe phréatique.

10- Nicolas : Mais concrètement, votre métier d'hydrogéologue, c'est de vous rendre sur place avec une tenue spéciale et mesurer

physiquement l'eau ?

11- Bruno : oui bottes et ciré… On va de temps en temps sur le terrain, souvent pour aller voir un certain nombre de forages, pour contrôler la qualité de leur réalisation, car si ils sont mal réalisés ça peut polluer les nappes souterraines, mais nous faisons aussi des pompages dedans pour regarder sa qualité. On peut aussi mettre des appareils dedans. On peut mettre des caméras vidéos pour savoir ce qui se passe sous nos pieds. Et tous ces éléments nous permettent d'améliorer notre connaissance du sous-sol.

12- Nicolas : Vous pouvez plonger des caméras vidéos dans les nappes ?

13-Bruno : ((dans les piézomètres))Ça nous renseigne sur la nature de la roche, si elle est cassée, fracturée. C'est des vecteurs de circulation des eaux souterraines et ça peut nous renseigner aussi via des petites bulles ou via des éléments dans l'eau qui circulent, pour voir si cette eau est sous pression et remonte vers la surface. Ça permet notamment d'illustrer ce que je disais tout à l'heure, que les eaux souterraines ressortent au niveau des rivières.

14- Nicolas : Et cet intérêt pour les eaux souterraines…

15- Bruno : Moi je suis passé par des classes préparatoires pour arriver à l'école supérieure nationale de géologie à Nancy.

Annexe 25 - Stand OSUR-BRGM – Préparation de l'atelier "L'eau du robinet, ça coule de source ?"

celle-là date de ma thèse 2003 elle a été faite par JP Caudal sur une idée de Jean-Raynald

celle-là représente un bassin versant à l'intérieur c'est des billes de verre qu'on utilisait aussi à l'époque pour faire les premières manips en milieu non saturé les premières manips de labo xxx elle représente un bassin versant avec une rivière une nappe libre une couche imperméable et une nappe captive ((problème de décollement d'une partie de la maquette)) donc y-a différents piézomètres dessus/ des puits\

ça permet vraiment d'illustrer ce qu'on fait tous les jours et de montrer le milieu souterrain avec les puits comment on l'étudie la première chose pour pouvoir l'utiliser ben faut pouvoir la mettre en eau donc pour la manip pour ceux qui vont être en début de stand voilà la petite manip à faire c'est la mise en eau et c'est là où ça peut se compliquer un peu

si vous voulez venir voir derrière le système c'est à peu près pareil sur l'autre maquette à quelques subtilités près donc on a une entrée d'eau qui se fait ici on a une sortie qui est ici qu'il vaut mieux mettre dans une poubelle si on ne veut pas se faire arroser (.) alors on a deux poubelles derrière qui sont reliées entre elles par une petite pompinette qui permet de repomper l'eau sortie et de la ramener alors pourquoi on a pas mis les tuyaux de sortie directement dans le bidon d'entrée parce que vous allez voir quand on va utiliser les colorants au bout d'un moment l'eau devient trop colorée et c'est important d'avoir un bidon pour pouvoir aller jeter pour rediluer l'eau

j'ai vu qu'il y avait un point eau dans le local menage c'est suffisant

oui oui

on prendra un petit diable sinon

du coup pour mettre la manip en eau le bidon d'entrée et de sortie est facile à distinguer celui d'entrée à un trou en bas donc y-a un tuyau qui est relié à la pompe les tuyaux sont déjà reliés directement ça ce sera fait vous n'aurez pas besoin d'y retoucher par contre la vanne sera sûrement fermée faudra penser à la rouvrir

là c'est ouvert/

là c'est ouvert\

ça prendra combien de temps de faire tous les branchements

ah mais elle sera branchée jeudi après midi donc pour les premiers qui vont arriver elle va être comme ça normalement y-a plus rien à toucher mis à part les boutons voilà les tuyaux seront déjà au bon endroit à la rigueur si y-aura peut-être de l'eau à mettre

ça va

pour commencer à mettre de l'eau la pompe c'est celle du bas et on la commande par le boîtier noir qui est ici\ du côté de l'entrée\ et qu'on allume par derrière et vous avez un petit bitoniau là qui permet de faire varier le débit\ voilà la première manip c'est de la monter en eau une fois que ça va monter en charge ça va sortir de l'autre côté alors faut faire gaffe à pas trop la remplir comme une brute parce que sinon ça monte trop vite d'un côté par rapport à l'autre

la couche imperméable elle n'est pas très imperméable

non elle est semi perméable

et tu as la lumière aussi

ah oui la lumière comment on la branche la lumière/

c'est pas très puissant

le but du remplissage de la maquette c'est d'obtenir une rivière stable\ et c'est là où on se marre\

une petite question y-a des différences de couleurs dans les billes c'est normal/

non c'est parce que la maquette est vieille les billes au départ avaient la même couleur\

ok

ça c'est la sortie extrême et ça c'est la sortie qui permet de gérer le débit\ si j'ouvre complètement tu vois ça descend\ si je ferme

xxx

là j'suis à 5.3 à peu près faut pas que ça coule beaucoup normalement doc là la rivière commence à apparaître mais on a les colorants pour aller avec

oui dans la caisse

voilà une fois que la rivière est arrivée faut jouer entre le robinet et le débit-là pour arriver à avoir comme dit Joaquim the XXX state

stationnaire

((ajustements)) en regardant derrière on voit si on est en état d'équilibre ou pas (.) non ma rivière est en train de se barrer là c'est vraiment la partie la plus compliquée parce que si je baisse ici j'ai plus d'eau

ça a l'air bien à

vous aurez sûrement besoin de faire des ajustements dans la journée faut accepter qu'elle soit presque stationnaire

la première chose on peut montrer que l'eau ici coule en continu et qu'elle sort en continu et donc à l'intérieur déjà commencer à leur parler du fait que ben voilà ça circule et pour le mettre en évidence on va pouvoir utiliser des colorants donc faire comme on s'amuse à faire dans les aquifères avec des chlorures des machins des trucs on a deux piézomètres un dans le surface et un dans le profond je ne sais pas si je tape les bons, je ne suis pas dans le bon sens

la première idée de la manip c'est de montrer que on a bien deux petites choses déconnectées premièrement que ça circule

faut le diluer c'est du colorant alimentaire

faut le diluer il se voit bien/ dites vous que c'est cette couleur qu'il faut et là j'ai mis une seringue entière

les gamins ils adorent faire ça

ah oui faut les laisser appuyer

effectivement la première fois vous pouvez faire vous mêmes et après vous pouvez mettre la seringue en place et faire appuyer un gamin dessus

ils aiment faire ça

il faut qu'on se méfie parce qu'avec cette l'autre maquette-là on avait utilisé un colorant violet beaucoup plus dense et ça avait collé à la paroi c'est très pénible à diluer

oui mais là du coup on va utiliser les mêmes

alors là le débit est assez lent elle ne va pas vite aujourd'hui

(0 :10 :51.2)le mieux c'est de faire un pompage au milieu ici/ et on

verrait que ça irait à la rivière

NON/ tu vas voir le meilleur/ tu vas voir comment elle est bien faite notre maquette

il va sortir à la rivière/

et OUI\ il va sortir à la rivière\ alors là il faut causer pendant ce temps-là sur le fait que ça circule/ que l'eau c'est pas des rivières

y-a des posters derrière

(0 :11 :11.3)l'important c'est de montrer que les nappes souterraines sont pas des rivières et que l'eau elle arrive à circuler en passant entre des grains donc ça c'est un point SUPER important à faire passer au niveau du grand public et donc là au bout d'un moment regardez on commence à voir/ l'eau dans la nappe est attirée par la rivière\ donc à on met en relation directe la rivière et la nappe(0 :11 :30.5)

xxx hydraulique

(0 :11 :34.1)moi ce que je faisais/ je demande l'eau de la rivière elle vient d'où/ d'après vous\(.) elle vient de la pluie\ elle vient des montagnes\ ah bon/ vous êtes sûrs/ ça fait dix jours qu'il n'a pas plu et y-a toujours de l'eau dans la rivière\ ben là vous montrez en fait que les nappes soutiennent les rivières et que c'est pour ça que l'été on a encore de l'eau(0 :11 :56.3)

et donc techniquement\ c'est pas ça qui bloque/ ((Bruno montre le tuyau au niveau du creux de la rivière))

ah non non non/ techniquement c'est parce que tu as un TROU\ c'est la topographie\ c'est la rupture de topographie\ le changement de gradient\

c'est pas biaisé alors/

ah non c'est pas biaisé(0 :12 :08.1)

en fait il ne devrait pas y avoir de pipette là j'sais pas pourquoi y-en a une là

«ouais ouais c'était pour montrer le niveau\ mais non non c'est pas un artefact ça a vraiment été calculé pour\

xxx

(.) D'AILLEURS merci on peut passer à la suite\ normalement le tube une fois qu'on a fait ça et qu'on a montré que dans les aquifères profonds c'est pas en connexion avec cette rivière-là mais que ça peut être en connexion avec la mer ou la rivière au loin et donc ton pomPAge, on va le FAIre alors le tuyau sera en place y-a une petite pompe péristatique derrière qui se remonte par un petit boîtier blanc qu'on a là alors normalement on peut rester devant pendant toute la manip ((branchements)) et donc normalement il faut l'amorcer normalement si vous regardez ma rivière elle a déjà disparu ce que vous pouvez montrer déjà c'est que la rivière disparaît dès qu'on pompe de trop et deuxième chose qu'on peut montrer quand on met le pompage en route c'est que si on met un colorant (.)donc là on peut partir après sur tout ce qui est remédiation quand y-a une pollution qu'est-ce qu'on peut faire pour empêcher la pollution d'aller plus loin (…)on voit que le colorant est pompé\ quand on arrête la pompe normalement le niveau de la rivière se remet en route\

voilà les deux grosses manips que l'on peut faire avec après y'en a une troisième/ là on disait la connexion avec la rivière\ si vous voulez jouer/ vous pouvez abaisser le niveau de la rivière par le robinet et montrer que le colorant il passe juste DESSOUS sans rejoindre la

rivière\ vu qu'y-a plus de rivière\ mais ça c'est si vous avez envie de jouer/ remettre en route la rivière avant que l'autre groupe arrive\ c'est comme vous voulez\ d'un autre côté voyez ça c'est typique on a un pompage en route et là je ne récupère pas ma rivière\ donc faut jouer pour récupérer la rivière\ soit vous augmentez la vitesse soit vous jouez avec le robinet mais voilà\

normalement tout se fait de devant vous pouvez avoir votre colorant là et le bouton est juste là facile d'accès et on va toujours être trois sur le stand au final\ donc normalement y-a toujours moyen qu'y-en ait un qui soit derrière qui ajuste

je serai là samedi après midi et dimanche aussi si vous avez besoin d'un pousse bouton

tu fais les deux maquettes l'une après l'autre on n'a pas deux groupes/

le vendredi c'est les scolaires ce qu'on va montrer c'est effectivement c'est la première et ensuite la deuxième successivement parce qu'on a un groupe là on fait vraiment un exposé qui dure en gros une demi-heure\ par contre le samedi et le dimanche c'est le tout venant\ donc je pense que ça va être les gens arrivent, ils restent 2 minutes ils repartent du coup y-a moins de discours structuré des gens curieux qui posent des questions ponctuelles ça peut fonctionner à part

voilà en gros sur cette maquette-là vous aurez les posters voilà vous aurez un poster qui est adapté à cette maquette-là\ ils seront affichés derrière donc on voit bien la connexion à la rivière et en gros/ pour moi\ les infos les plus importantes à faire passer sur cette maquette-là c'est les nappes souterraines c'est pas des rivières sauf cas exceptionnels des milieux karstiques c'est pas la majorité de la France (.) les rivières sont soutenues par les nappes moi c'est les deux infos prioritaires que j'ai envie que quand les gens partent du stand ils aient retenu et après/ y-a ce que vous/ vous avez envie que les gens aient envie de retenir\ c'est-à-dire/ qu'on a TOUS nos sensibilités différentes/ on a TOUS/ notre message qu'on a envie de passer/ donc après/ moi/ je vais pas vous filer le discours tout fait\ vous faites passer les infos que vous avez envie en fonction de la maquette de ce que vous allez faire voir donc le puits de pompage vous pouvez aussi partir sur le fait que voilà si on pompe trop on assèche comment on fait pour gérer le pompage et y-a aussi les eaux circulent

et l'âge de l'eau aussi

c'est pas des rivières et c'est pas une poche et l'eau circule et c'est en relation avec les rivières et après tout ce que vous avez envie de dire

le temps de résidence des pollutions aussi parce que ça vient rapidement sur les nitrates cette histoire-là après combien de temps les nitrates restent dans les nappes

montrer qu'une pollution à un endroit met un certain temps à arriver à la rivière donc tout ce qui est délais\ les pollutions donc ce que je vous disais en relation avec le puits de pompage\ on peut parler de tout ce qui est remédiation de pollution comment on fait une fois que c'est pollué pour enlever on met un pompage oui mais ça ne suffit pas enfin voilà\ on peut montrer aussi pour les plus physiciens d'entre vous que ça se disperse ça se diffuse enfin voilà\ vous pouvez aller sur ce que vous voulez\

y-a le poster de Jean Reynald aussi

ah oui\ pour le contexte de l'hydrogéologie en général vous avez cette image qui a été faite par Jean Reynald qui montre toutes les

implications du sous sol de l'hydrogéologie ce qui est géothermie y-a des petits milieux fissurés fracturés les milieux poreux\ pareil elle sera derrière

la connectivité entre les différents compartiments\ toute la problématique autour du stockage souterrain

les posters je peux vous les envoyer par mail, ou au format A4

pour les scolaire je pense qu'il est important de commencer par cette maquette-là qui présente un peu le contexte et de passer ensuite sur l'autre pour parler des milieux profonds soit c'est des milieux homogènes comme ceux-là (maquette 1) ou comme en Bretagne c'est des milieux plutôt fracturés (maquette 2)où l'eau peut s'écouler beaucoup plus vite\ et donc on passe sur l'autre maquette\ (2)

alors sur l'autre maquette rebelotte\ il faut la mettre en route c'est le même système avec une entrée et une sortie tout est connecté avec le boitier noir pour mettre en route le pompage (.) ah non j'ai oublié d'ouvrir la vanne (.) alors celle-là par contre pour l'infiltration/ ce que vous pouvez distinguer entre les deux/ l'autre c'était un écoulement LATERAL et là c'est un écoulement VERTICAL ça ça simule la pluie (.) il faut la laisser se charger (.) quelqu'un l'a arrêtée l'autre/ parce que normalement elle devrait continuer de fonctionner quand on n'est pas là une fois qu'elles sont démarrées elles vont fonctionner toute la journée même entre midi et deux

xxx

oui tu peux avec la seringue réinjecter de l'eau tu prends de l'eau

si on met pas trop fort ((concentration de colorant)) je pense que ça va tenir la demi-journée de toute façon quand vous voyez que l'eau commence à prendre une couleur un peu rosée il faut prendre un des bidons je pense qu'en en renouvelant un déjà vous allez diluer assez

là y-a trois couleurs de colorants

au pire vous pouvez changer de couleur

du jaune mais il est pas bien jaune

le bleu ou le rouge ouais vous pouvez changer de couleur mais là encore on est trois y-en a un qui doit pouvoir changer parce qu'il suffit de passer les tuyaux de sortie dans le bac d'entrée juste le temps de changer les trucs ça tourne en circuit fermé

xxx

qu'est-ce qui te plait pas/

xxx

rires elles ont dix ans elles sont fatiguées

xxx

ça c'est la sortie et ça/

ça c'est la sortie et ça c'est juste quand tu te rends compte que tu n'as plus assez d'eau dans l'entrée tu fais passer de l'un à l'autre parce que comme là tu pompes l'eau et elle ressort et elle arrive là-dedans en branchant…

et là c'est pareil

c'est pareil pour l'autre

oui au bout d'un moment y-en a un qui est vide mais on le laisse pas en continu parce que c'est pas tout à fait le même débit voilà de temps en temps il faut rebrancher derrière la prise on aurait pu mettre un interrupteur mais faut avouer que…

au début (maquette 1)on avait des petits tracteurs des petits cochons et on se les faisait piquer\ avais le dos tourné et hop le cochon

celle-là est un peu plus longue à remplir au final

xxx

alors dans celle-là qui représente un milieu fracturé vous avez des piézo qui viennent capter dans la matrice et d'autres qui viennent capter à proximité des fractures\ donc l'idée/ c'est la même que sur l'autre maquette/ c'est d'utiliser des colorants et de montrer la différence entre la circulation dans la matrice qui va être très lente et dès qu'on a une fracture on peut très vite aller très loin\ aller rejoindre une rivière et autre\ alors que dans la matrice une pollution peut rester longtemps eccetera voilà\ c'est l'idée de cette maquette-là\ et que ça du coup on va quand même avoir un public de bretons/ ça c'est notre milieu souterrain\ et quand nos sourciers nos anciens nous parlent de veines d'eau c'est toujours pas des rivières c'est que souvent c'est ces fractures qui font quelques millimètres de diamètre quelques millimètres d'épaisseur où l'eau circule et où se concentrent les flux\

normalement Bruno tu n'avais pas dit que tu venais avec des carottes/

ouais t'as des carottes où on voit des fractures/

ouais il faudrait mettre ça en relation avec

ouais j'en n'ai pas beaucoup

normalement on va amener des carottes\ moi j'ai du granit et du schiste et Bruno doit aussi amener s'il a des trucs sympas au BRGM

allez qui a envie de jouer avec la seringue/ Joe t'es vachement critique c'est toi qui va jouer avec la seringue\ c'est toujours celui qui se fait remarquer le plus qui se fait désigner

j'avais ça en fait ((Bruno pose des roches)) par contre c'est assez coupant faut faire gaffe on voit les veines

c'qui faut montrer c'est des roches plus ou moins fracturées

alors il faut aller assez vite si vous voulez ne pas avoir trop de diffusion\ il faut un *pulse*

xxx

ouais ouais ben là/ ça rejoint la fracture et je ne sais pas si on aura le temps d'ici vendredi\ c'est diminuer la sortie pour diminuer la vitesse

y-a un piézomètre où j'ai un contact avec la fracture/

celui-là\

c'est ça/ non\

non y-a en aucun qui arrive directement SUR la fracture

xxx

c'est vrai que celle-là elle va plus vite que l'autre\ maintenant vous pouvez pincez le tuyau de sortie si vous voulez que ça aille plus lentement (.) mais tu as injecté dans le même endroit du coup/

oui

et fais voir ce que ça donne dans les autres du coup/ celui-là il y va directement\ ils sont tous en connexion directe en fait

la pipette de gauche il faudrait la remonter un peu pour l'éloigner de la fracture

ah mais tu ne peux pas elle est collée

en plus y-a la matrice tout autour

ou alors faut peut-être\ est-ce que ça marche/ ((Virginie met le colorant directement dans la matrice)) vous pouvez jouer comme ça aussi si vous voulez\ en mettant directement en surface\ vu que celle-là elle

est en vertical

de la même manière il y a normalement un petit poster associé à cette maquette que je n'ai pas moi\ je ne sais pas où je l'ai mis\

c'est celui-là/

voilà\ c'est celui-là\ alors celui-là ça avait été fait pour ceux qui le connaissent par Alexandre, Jérémie, Etienne et Delphine\ à l'époque où les moniteurs devaient faire de la vulgarisation\ ils avaient fait ça dans le cadre de l'année internationale de la Terre\ et eux ils avaient vraiment tout calculé/ les débits/ comparé les vitesses dans la nappe/ les vitesses réelles/ voilà la maquette avait été faite/ donc vous avez ça sur le poster avec là le pic de traceur/ là c'est pareil/ le petit schéma du milieu poreux/ le petit schéma du milieu fracturé\ vous avez les domaines de socle/ pour dire que la Bretagne c'est comme le massif central\ vous pouvez parler là-dessus/ y-a des photos de milieux fracturés\ y-a des petits supports du coup sur les posters de cette maquette ici\

xxx

et le dernier poster/ c'est un poster plus général sur pourquoi étudier les aquifères et comment faire/ ah c'est en train de déborder\ alors l'importance des eaux souterraines dans la fourniture d'eau potable/ vous voyez que la Bretagne est une exception/ vachement d'eau dans nos rivières vous l'avez compris dans nos eaux souterraines\ la carte des pollutions en nitrates/ alors ça je l'aime bien parce y-a pas qu'en Bretagne qu'y y-a plein de nitrate/ y-en a aussi beaucoup dans le nord/ le seul problème c'est que dans le nord ils vont chercher l'eau en profondeur et nous on n'y va pas\ c'est pour ça que c'est plus gênant chez nous\ alors moi pour avoir travaillé aussi en Beauce et autres je peux vous dire que de l'eau à à 100 mg de nitrate par litre d'eau j'en ai vu aussi là-bas hein sauf que eux ils ont des nappes plus profondes où y-a pas de nitrate donc on en parle moins\ alors pourquoi y-a peu d'eaux souterraines en Bretagne ben c'est lié au fait que dans des massifs de socle trouver les fractures c'est difficile et tant que le marteau fond de trou ((technique de foration rapide à l'air comprimé apparue au milieu des années 70)) n'était pas apparu c'était difficile d'aller faire des forages profonds donc voilà c'est un truc historique qu'on garde en Bretagne qui fait que les eaux souterraines sont peu exploitée et que pendant longtemps on a cru que les roches étaient complètement imperméables\ vous avez des bouquins des années 70 qui disent y-a pas d'eau souterraine en Bretagne\ donc à Plomeur pour ceux qui connaissent je vous le rappelle c'est 20 mètres cube heure hein euh 100 mètres cube heure pardon

1 million

1 million par an\ c'est quand même pas rien\ voilà donc ensuite avec quoi on les étudie/ ben les carottes de terrain là vous avez un treuil là vous avez un forage, vous avez les maquettes vous avez les colonnes/ vous pouvez parler des expérimentations qu'on fait en colonne vous avez la simulation numérique eccetera\ normalement vous avez des supports à l'aide de ces 4 posters pour les questions qui pourraient passer dans la tête des gens sauf la géothermie les gaz de schiste et les agriculteurs

si on dit nitrate en général/ boom/

là y-a tout ce qui est politiquement correct mais vous aurez le droit à toutes les questions qui sont politiquement difficiles et ça typiquement c'est à vous d'y répondre comme vous en avez envie et comme vous le sentez

xxx on va peut-être les arrêter

j'ai retrouvé le truc de la Fête de la science 2003 où on avait fait un petit book comme ça où on avait mis plein d'images comme ça voilà la proportion d'eau douce les différents aquifères le cycle de l'eau des images/ sur lequel vous pouvez vous appuyer si besoin\ voilà\ la subsidence/ voilà\ l'action minérale des eaux de source/ voilà\ la géologie de la Bretagne/ voilà\ y-a des trucs sur la modélisation/ bon je vais peut-être faire un tri mais je pense que c'est utilisable\ je ne sais pas si ça vaut le coup de le ressortir/ en fait à l'époque où on faisait ça dans les collèges ou autres/ on avait fait ce petit schéma où on demandait aux enfants de renoter ben la rivière/ zone imperméable/ voilà de les impliquer\ alors j'sais pas si ça vaut le coup de les réimprimer/ ça on le faisait quand on avait des groupes qui venaient directement ici / là ils vont être assez nombreux

ça permet de tamponner des fois entre deux présentations/ c'est un cycle de 3 quarts d'heure là/

ouais\

si au bout d'une 1/2 heure en gros la présentation est faite pour les deux maquettes c'est l'occasion de les faire bosser\ je sais que les encadrants les enseignants ils trouvent ça pratique d'avoir un truc qui permet de tenir les gamins pendant 15 minutes avant d'aller à un autre stand

ou si on n'a pas le temps pouvoir en laisser un à l'enseignant

ouais ça c'est surtout pour le vendredi je pense je vais en réimprimer je vais mettre le logo du BRGM et de l'OSUR à la place du CAREN là/ et donc voilà vous aurez ça/ donc la grande question c'est ma question préférée c'est d'où vient l'eau de la rivière/ voilà j'ai fait un truc\ si Bruno vendredi t'as d'autres idées d'images

je peux te les passer en fait\ c'était une image de puits de forage ensuite y-avait un drain

ah oui ça c'est sympa oui\ pour la ville de Rennes il faut savoir que 30 % de l'eau de Rennes vient de ça\ de drains qui récupèrent les eaux souterraines des champs du côté de Fougères

alors ça c'est bien et c'est pas bien parce que ça fait tunnel souterrain et c'est mis en relation avec la rivière

ouais c'est pas faux\ donc à mettre avec des amateurs avertis

un forage avec la prise d'échantillons qui peut être sympa

ah ouais

et un forage finalisé

ça c'est Chartres

c'est juste à côté d'une station météo

c'est ça

non c'est XXX

en 2008 y-a un film qui avait été monté avec Michel Leclerc

donc je vais les prendre et les intégrer\ donc vous aurez ce petit truc rouge-là\ je mettrai le planning aussi et mon numéro de téléphone au cas où et celui d'Alain-Hervé

ce qui serait bien c'est de voir les ratios\ en Bretagne c'est 80 % de surface et 20 % souterrain\ et au niveau national c'est l'inverse dans le SIGES ((Système d'information pour la gestion des eaux souterraines)) 20-80 alors que là c'est marqué 60-40 qu'on soit d'accord quoi\ qu'on dise tous la même chose parce sinon/

tu as celui-là pour t'appuyer\ c'qu'y y-a c'est que ça bouge en Bretagne on utilise de plus en plus les eaux souterraines

il faut qu'on ait le même discours quoi\

je crois que quand j'ai fait ma thèse c'était 20-80

oui

pour le petit historique cette maquette-là avait été faite par des américains au départ avec du sable\ elle vient de là l'idée de la maquette ça ils le vendent sauf qu'on trouvait qu'avec du sable c'était pas facile\ pour voir les colorants ça avait paru plus facile de la faire avec des billes\ alors pour info à l'époque j'ai voulu me lancer toute seule et je me suis dit que pour vendre l'adaptation des eaux et pour montrer que ça circulait c'était bien cette maquette-là sauf que l'amener sur des salons avec de la flotte c'était pas évident donc moi j'ai une petite maquette dans mon bureau où au lieu d'utiliser des billes j'ai utilisé des pierres et j'ai mis une résine bleue autour des pierres. Donc ça permet de passer du modèle des billes au modèle un peu plus réel avec des pierres du caillou on voit y-a un petit tracteur dessus\ c'est une maquette qui fait 1/4 de cette taille-là et qui sera là. Qui est exactement la même mais au lieu des billes c'est des pierres

ça a beau être analogique pour des enfants passer de la maquette à la réalité c'est pas forcément évident/ on a intérêt à avoir des cailloux des carottes la petite maquette de virginie pour faire le trait d'union

est-ce que vous avez des questions/ d'abord sur le montage, la mise en route des maquettes/

où se trouve le festival/

xxx

les intervenants

il faut que je vous envoie le planning des classes qu'on a

antoine et julie arrivent à 13h15

repas

inauguration à 18h

n'oubliez pas que vous serez filmés

très bruyant

pas d'autres questions

film autorisations

Enregistrement audio complémentaire

B : et du point de vue de nos termes un peu techniques tu penses que ça passera avec les élèves de 7 ans

V : quels termes techniques

B : c'est des CE1 jusqu'à la 5e c'est des gens qu'ont 7 ans à 12ans

V : ben piézomètre faut dire puits

B : je pense que certains termes inconsciemment ils vont rien comprendre

V : ouais mais tu vas le voir à la tête des gamins

F : ils vont demander je pense

B : j'suis pas sûr

V : y-a plusieurs choses soit tu vas le voir parce qu'ils vont commencer à partir en vrille\ ils vont commencer à discuter\ soit tu vas le voir à la tête de l'instit'\ qui va te regarder avec des yeux/ et tu vas te dire oups là j'ai utilisé un mot qui ne faut pas\

B : ouais mais il est pas là tout le temps aussi/

V : ouais mais les groupes seront pas tout seuls y-aura quand même des intervenants avec eux des papas ou des mamans tu le verras aussi à leur tête/ si eux ne comprennent pas/ les gamins n'auront pas compris\

B : d'acc d'acc

A-H : mais c'est vrai que nappe libre qu'est-ce que ça évoque nappe en fait/ faut faire un effort parce que nappe pour eux c'est un truc que tu mets sur une table

V : après tu ne peux pas non plus tout simplifier c'est des termes aussi qu'ils peuvent apprendre tu peux dire nappe de surface au lieu de nappe libre

A-H : après tu peux donner des ordres de profondeur pour qu'ils se rendent compte une fourchette ben voilà ça fait 15-20 mètres

V : après faut pas qu'on s'interdise entre nous parce que celui qui sera en train de parler sera dans son truc de se faire un petit signe de se reprendre entre nous d'intervenir même pendant que l'autre dès qu'il y a un petit trou

F : ou de poser une question ça vous avez bien compris/

V : voilà si y-en a un qui est là bon ne pas hésiter à intervenir on est trois aussi pour ça hein

F : ça marche

A-H : surtout qu'au bout de 3 ou 4 groupes tu t'entends parler tu te dis c'est moi qui parle ou c'était y-a une demi-heure/

si les gamins ont retenu que l'eau qui est dans le sol alimente les rivières\ que les rivières quand il ne pleut pas ont quand même de l'eau parce que y-a de l'eau du sol qui vient et que y-a pas de rivière souterraine y-a pas de lac souterrain ben voilà c'est gagné on n'a pas beaucoup d'autre message qu'ils aient pas retenu les termes c'est pas très grave si déjà dans leur idée voilà si on pollue à un endroit ça va aller polluer plus loin ben voilà ça des choses ce qu'ils vont retenir je pense c'est ils ont mis du rouge et le rouge s'est déplacé et voilà et même s'ils n'ont pas retenu le terme de traceur de colorant c'est pas très grave ils auront retenu l'idée\ normalement elle passe bien cette maquette avec les gamins alors effectivement au début quand on commence à expliquer c'est ça ouf mais alors dès que vous mettez les colorants ouh alors là mais 3/4 d'heure c'est un peu long effectivement parce que tenir un groupe de CE1 3/4 d'heure

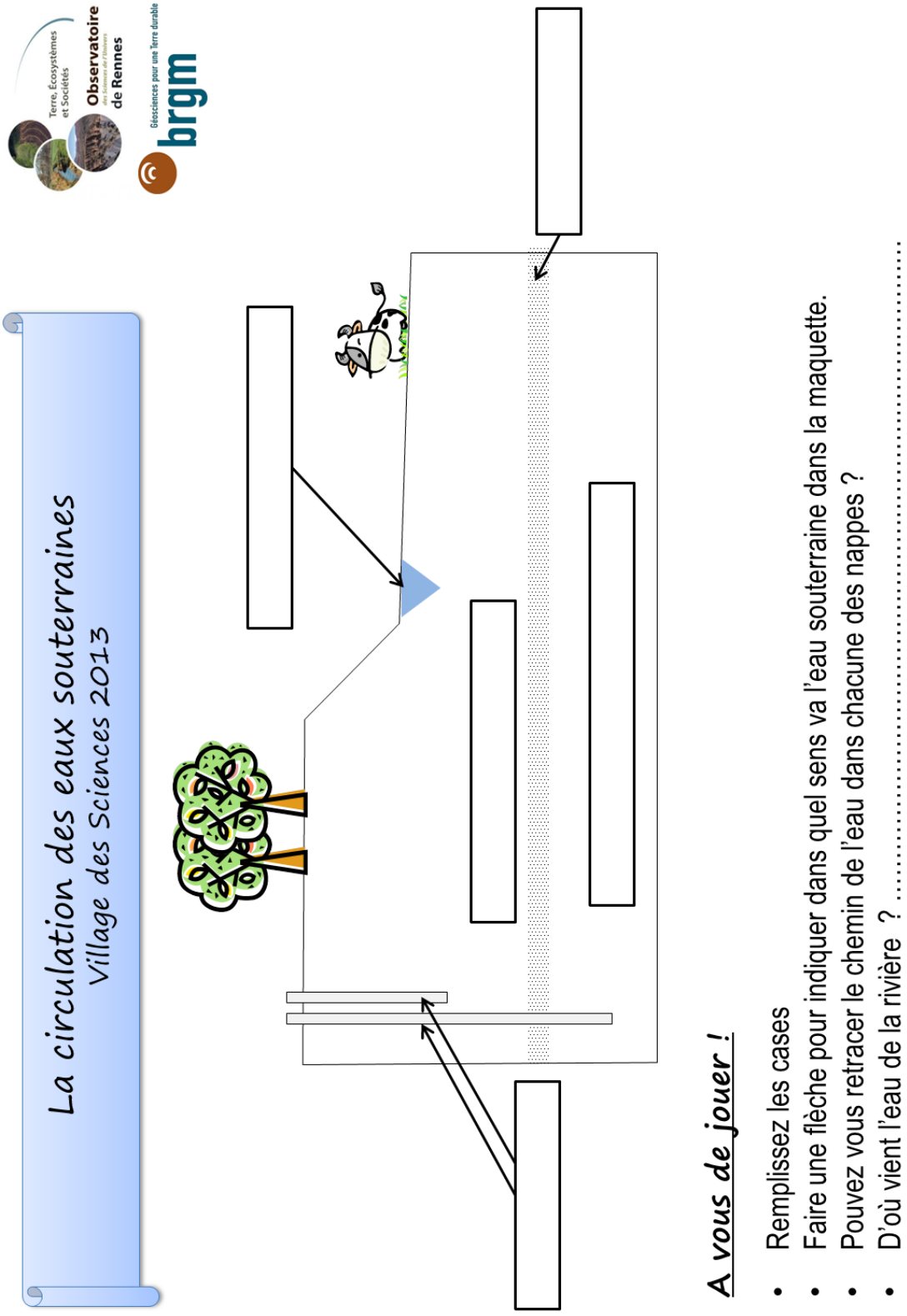
ouais avant c'était 20 minutes je crois

y-a peut-être un quart d'heure de battement

après y-a toujours des décalages

Annexe 26 - Stand OSUR-BRGM – Schéma distribué aux élèves

Dernière partie de médiation sur le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? »



Annexe 27 - Programmes des stands édités par l'organisateur, EDS, (édition 2013)

Anonymés pour la recherche

6/ LE SABLE DANS TOUS SES ETATS

Institut de physique de Rennes

Niveau scolaire : du CP à la Terminale **Attention ! maximum 15 personnes**

Heure	Établissement	Ville	Classe	Nombre d'élèves	Coordonnées accompagnateur
9h00	École primaire	Commune du VDS	CP	12	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
9h45	École primaire	Commune du VDS	CP	11	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
10h30	École primaire	Commune du VDS	CP	12	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
11h15	École primaire	Commune du VDS	CP	11	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
12h00	Lycée	Commune à 46 km du VDS	2nde	15	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
13h30	École primaire	Commune du VDS	CP	12	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
14h15	École primaire	Commune du VDS	CP	12	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
15h00	École primaire	Commune à 9 km du VDS	CP/CE1	11	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
15h45	École primaire	Commune à 9 km du VDS	CP/CE1	11	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
16h30					

15/ L'EAU DU ROBINET, ÇA COULE DE SOURCE ?

BRGM et OSUR

Niveau scolaire : du CE1 à la Terminale **Attention ! maximum 10 personnes**

Heure	Établissement	Ville	Classe	Nombre d'élèves	Coordonnées accompagnateur
9h00	École primaire	Commune du VDS	CE1	12	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
9h45	École primaire	Commune du VDS	CE1	13	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
10h30	École primaire	Commune du VDS	CE1	14	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
11h15	École primaire	Commune du VDS	CE1	15	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
12h00	Collège	Commune à 54 km du VDS	6ème / 5ème	15	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
13h30	École primaire	Commune du VDS	CE1	12	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
14h15	École primaire	Commune du VDS	CE1	13	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
15h00	Collège	Commune du VDS	5ème	13	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
15h45	Collège	Commune du VDS	5ème	13	Prénom NOM N° tel Adresse mail de l'école
16h30					

Annexe 28 - Programmes des classes en visite le matin sur le stand « L'eau du robinet, ça coule de source ? » (2013), annotés pour la recherche

Annotations pour la recherche :

- présence de la professeure de la classe : PE
- enregistrement des ateliers :

Établissement : École A **Ville** : commune d'accueil du village des sciences **Classe** : CE1
Coordonnées du contact : Nom – Véro (pseudo) - Téléphone - Adresse électronique 2013

	9h00	9h45
Groupe 1 12 élèves	**Stand 15** *BRGM et OSUR* **L'eau du robinet, ça coule de source ?** PE	**Stand 46** *ASSOCIATION LE MILIEU* **Les Bouillants, arts numériques** PE
Groupe 2 13 élèves	**Stand 46** *ASSOCIATION LE MILIEU* **Les Bouillants, arts numériques**	**Stand 15** *BRGM et OSUR* **L'eau du robinet, ça coule de source ?**

Illustration 151: Programme (annoté) de la classe de Véro, village des sciences 2013

Établissement : École B **Ville** : commune d'accueil du village des sciences **Classe** : CE1
Coordonnées du contact : Nom – Brigitte (pseudo) - Téléphone - Adresse électronique 2013

	10h30	11h15
Groupe 1 14 élèves	**Stand 15** *BRGM et OSUR* **L'eau du robinet, ça coule de source ?** PE	**Stand 27** *ASSOCIATION AIR BREIZH* ***Cet air qui nous entoure… l'air de rien*** PE
Groupe 2 15 élèves	**Stand 27** *ASSOCIATION AIR BREIZH* ***Cet air qui nous entoure… l'air de rien***	**Stand 15** *BRGM et OSUR* **L'eau du robinet, ça coule de source ?**

Illustration 152: Programme (annoté) de la classe de Brigitte, village des sciences 2013

Annexe 29 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 1 – Med1 – Présentation 1 (12 :21)

(0 :00 :00.0) les enfants, on commence par là en fait
tout le monde y voit là/
alors ici vous savez vous vous rappelez de quoi on va parler/
non
non qu'est-ce qu'il y a d'après vous dedans/ dans la maquette/
un cochon\
ah oui/ non/ ça c'est DESSUS la maquette\ mais c'est vrai/ y-a un cochon\ mais DEDANS c'est quoi/
de la glace
c'est pas de la glace\ regardez c'est quoi là ici qui coule/ ((Virginie montre l'arrivée d'eau par le tuyau))
de l'eau
de l'EAU\ on va parler de l'eau et vous m'avez dit y-a des cochons là-dessus y-a une vache ça c'est l'herbe/ c'est la terre/ et ça c'est quoi/
l'eau
l'EAU/ et c'est l'eau qui est SOUS nos pieds\ on va parler de l'eau SOUTERRAINE\ parce que SOUS nos pieds y-a de l'EAU\(0 :01 :49.0)
elle est chaude ou elle est froide/
elle est chaude ou elle est froide/ elle est tiède\ elle est environ à 12 degrés c'est pas très chaud mais c'est un peu plus chaud que dehors que celle qui tombait aujourd'hui\ elle est un peu plus chaude que ça\ y-a des endroits où elle peut être très très chaude parce que elle vient de très en profondeur dans la terre (0 :02 :10.3) et donc sous nos pieds là\ donc ça c'est une maquette et ça c'est la roche/ toutes les petites billes que vous voyez ça représente la roche\ et à l'intérieur de la roche/ on peut avoir des roches un peu grosses et là vous avez des roches beaucoup plus petites\ vous pouvez avoir différentes tailles de roches et de l'eau qui circule à l'intérieur\ (0 :02 :29.9) donc là ce qu'on va faire/ moi je vous dis qu'elle circule\ est-ce que vous la voyez circuler/
non
non/(0 :02 :37.0) comment on pourrait faire pour la voir circuler/
faudrait xxx
si on n'en mettait pas beaucoup/ oui c'est une idée est-ce que vous avez d'autres idées/ (.) ah ah\ regardez ce que j'ai là/
du sang\
oh non
je sais c'est du sirop
c'est une sorte de sirop et qu'est-ce que je vais en faire d'après vous/
tu vas en mettre dedans
ouais ça va servir à quoi/
à voir l'eau
à voir l'eau voilà\ à colorer l'eau\ et on va voir si j'ai raison ou si je vous raconte des bobards\ est-ce que l'eau elle circule ou pas\ alors pour pouvoir colorer l'eau et la voir circuler on a besoin de mettre l'eau dans la roche/ vous vous rappelez ça c'est la roche\ donc ce qu'on utilise c'est ça\ c'est quoi ça\ est-ce que vous savez\ ce que ça représente/
oui c'est un tuyau

c'est une sorte de tuyau ouais\ mais est-ce que ça vous rappelle quelque chose/est-ce que certains chez leurs parents ont des puits\ vous savez ce que c'est des puits/

c'est pour mettre de l'eau dedans

NON c'est pas pour mettre de l'eau/ c'est pour justement ALLER CHERCHER l'eau dans la roche\ donc ça ça représente des puits/ tous les petits tuyaux c'est des puits c'est des tuyaux qui permettent d'aller chercher l'eau\et qui nous permettent à nous les CHERCHEURS d'aller COLORER l'eau\ ((Virginie injecte de l'eau colorée dans la nappe supérieure)) (..)regardez je vais le faire dans deux endroits dans les deux parties en haut/ et en bas\

ouah

ah/ et alors/ je vous racontais des bobards/

non

l'eau elle circule/

oui

ah ben ouais\ (.) vous voyez/ on voit/ L'EAU elle CIRCULE\ vous la voyez peut-être certains l'eau elle arrive là\ y-a de l'eau qui arrive par là/ et qui pousse l'eau colorée vers là bas\ qu'est-ce qu'il y a au bout là-bas de la maquette/qu'est-ce qu'on peut imaginer qu'il y ait au bout/

de l'eau

de l'eau/ et où est-ce qu'il y en a beaucoup beaucoup d'eau/

là ((en montrant la maquette))

non\ mais dans la vie réelle\ où est-ce qu'on a beaucoup d'eau/

dans la mer

dans la MER/ voilà\ ce vous devez imaginer c'est que l'eau elle se déplace/ et au final/ tout là-bas là-bas elle va dans la mer\ (0 :04 :48.2) alors j'ai une autre question à vous poser vous voyez ici sur la maquette y-a une rivière elle vient d'où l'eau des rivières d'après vous/

de l'eau sale

de/

de l'eau sale

de l'eau sale/ dans certains pays oui/ mais pas en France\ qui est-ce qui avait une autre idée d'où est-ce qu'elle vient l'eau des rivières/

???

vas-y dis y-a pas de mauvaise réponses

des toilettes/

non c'est comme l'eau sale non

des champs

des champs oui

des pluies

des pluies oui et quand il pleut pas comment on a encore de l'eau dans les rivières quand il pleut pas/

dans le robinet/

on ouvre le robinet/ tu crois et ça remplit la rivière/

ça enlève l'eau de la rivière

alors la rivière peut baisser effectivement quand il pleut pas\ (0 :05 :45.5) et bien regardez on va bien suivre ce nuage-là de l'eau souterraine/ et on va regarder ce qui va se passer\

il a bougé

oui vous voyez il bouge c'est ce que je vous dis l'eau elle circule elle se déplace elle va d'un endroit à un autre\ en gros elle va des montagnes/ jusqu'à la mer\0 :06 :10.0) (..) alors ça va être un peu plus long que ce que je croyais/ (.) est-ce qu'ils se déplacent à la même vitesse les deux/

non

non/ lequel va plus vite/

lui

l'autre

celui d'en bas il va plus vite/

non c'est en haut

non c'est le contraire

c'est en HAUT/ que ça va un peu plus vite\(0 :06 :34.1) est-ce que vous commencez à voir/ ce qui se passe pour celui du haut\ qu'est-ce qui se passe/ sur celui du haut\

il en a moins que l'autre

ouais/ c'est pas ça\ regardez/ est-ce qu'il va toujours tout droit là/

oui

non ((plusieurs))

non qu'est-ce qu'il fait/

il monte

il MONTE vers la rivière

ah oui

normalement c'est plus net que ça mais [rire] il monte vers la rivière0 :07 :06.5)

y-a de l'eau là-bas

hey y-a de l'eau sur la terre

oui regardez ça va vers la rivière [en fait quand il ne pleut pas c'est L'EAU qui est sous nos pieds] qui MAINTIENT l'eau dans la rivière vous avez vu/ vous voyez hop/ c'est tout parti vers la rivière\

[y-a de l'eau sur la terre là-bas]

alors qu'en bas est-ce que l'eau il a rejoint la rivière/

non

c'est inondé ici

non\ oui oui je vais baisser\ alors ça ça s'appelle une inondation\ vous voyez quand y-a trop d'eau qui arrive/ ben ça inonde\ (0 :07 :42.7) alors pourquoi celui d'en bas il a pas rejoint la rivière/ est-ce que vous voyez pourquoi

parce qu'il monte

non il monte PAS justement\ celui d'en bas/ pourquoi celui d'en bas il va pas rejoindre la rivière/

ben faut qu'il y ait un trou

où ça fais-moi voir le trou/ alors au contraire c'est pas un trou c'est de la roche très très dure c'est ce qu'on appelle une couche imperméable c'est ce qui l'empêche de remonter\ ce qui fait qu'il va plus loin\

et il va en bas

oui vous vous rappelez je l'ai mis en bas et il reste en bas (0 :08 :26.5)

alors maintenant on va faire une deuxième expérience\ je vais vous poser

une autre question l'eau du robinet elle vient d'où/ d'après vous\
de la mer
tu bois de la mer toi
elle est salée
ben oui c'est salé
de la montagne
oui y-en a qui vient de la montagne oui
des champs
des champs\ alors presque\ (0 :08 :51.5) en fait/ c'est l'eau SOUS les champs\ c'est l'eau SOUTERRAINE\ y-en a qui viennent des montagnes et d'autres qui viennent des eaux souterraines\ alors ce que je vais vous faire voir/ ici/ vous avez un puits encore un tuyau mais celui-là il ne sert pas à mettre des couleurs/ il sert à enlever de l'eau/ pour l'emmener vers le ROBINET\ (0 :09 :09.5) alors je vais avoir besoin d'aller là-bas\ pardon pardon vas-y passe devant moi pour voir alors\ regardez bien le niveau de la rivière\ alors là je suis en train d'envoyer de l'eau au robinet dans le tuyau en haut\
ah oui on voit
le tuyau il bouge
oui le tuyau bouge parce qu'on est en train de tirer l'eau\
il bouge parce qu'on aspire de l'eau ((Bruno))
si ça y est c'est tout petit alors ce qu'on peut faire/ c'est la même chose que tout à l'heure\ on peut remettre du colorant/ et regarder où va l'eau\(0 :09 :55.7) on va remettre du colorant alors je mets du colorant où/
là
en haut ou en bas/
en bas
non
j'enlève de l'eau où/ j'enlève de l'eau en haut ou en bas/ où est-ce qu'il va le tuyau\
en haut
en haut\ alors si je veux voir ce qu'il se passe avec l'eau\ il faut que je mette l'eau où/
en haut
en HAUT\ voilà\ ((Virginie met du colorant en haut)) hop (0 :10 :23.4) alors\ et puis on va regarder/ d'après vous qu'est-ce qui va se passer/ est-ce que ça va venir jusqu'à la rivière comme tout à l'heure/
non
non/ qu'est-ce qui va se passer/
allez-y ((PE))
non\ ça va transpirer par le tuyau
ça va aspirer(0 :10 :36.0)
ben on va vérifier si vous avez raison\ ça ça s'appelle faire une EXPERIENCE on met une couleur/ et on regarde ce qui va se passer\
il va vite cette fois
il va un peu plus vite oui pourquoi il va un peu plus vite/
parce qu'il est plus petit
non pas parce qu'il est plus petit

parce que le tuyau-là il fait que ((…))

voilà\ comme on aspire là/ et ben ça va plus vite et regardez\ le tuyau il est en train d'aspirer toute notre eau/ elle ne va pas aller jusqu'à la rivière\

oui (0 :11 :16.7)

alors\ si on sort un peu de la maquette\ cette couleur rouge\ ça peut être aussi ce qu'on appelle des POLLUANTS\(0 :11 :26.1) est-ce que vous voyez ce que c'est des POLLUANTS/

non\

non/ c'est des CHOSES\ qui\ si on les BOIT\ ne sont pas bons pour la santé\ (0 :11 :33.3) quand on est sur le sol/ on vous dit faut pas jeter les papiers/ faut pas vider de l'huile ou autre sur le sol/ parce que le risque c'est que du SOL/ comme le colorant/ c'est que le polluant passe dans les nappes/ et que ça rejoigne les rivières et que ça les salisse ou que ça rejoigne les puits de pompage et donc l'eau du robinet\(0 :11 :57.2) donc il faut faire TRES attention à ce qu'on met sur le sol car ça risque de rejoindre les eaux souterraines/ les rivières/ ou l'eau du robinet\

et après c'est pas bon/ après c'est pas bon à boire/

voilà après on ne pourra plus la boire/ il faut faire attention à ne pas mettre trop de choses/ et puis on a besoin de boire de l'eau\ (0 :12 :21.4)

Annexe 30 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 2 – Med2 – Présentation 1 (13 :31)

bonjour tout le monde ((installation))(0 :42 :35.9)

c'est quoi

je vais vous expliquer

0 :42 :37.5) Alors bienvenue à tous/ alors ici vous allez voir une animation sur l'eau du robinet\ ça s'appelle/ l'eau du robinet ça coule de source\(0 :42 :48.2) est-ce que vous savez déjà d'où vient l'eau du robinet/

de la pluie

vous avez un robinet chez vous/

de la mer

de la pluie

de la pluie oui

des égouts

des égouts elle ne va pas être très propre hein/ parce que l'eau du robinet on peut la boire aussi

mais elle passe par les égouts

elle est un peu sale si on la prend dans les égouts

ils mettent un produit

alors est-ce qu'on peut la prendre dans des rivières

ouais et après ils mettent un produit

voilà pour [qu'elle soit plus propre]

[pour la nettoyer]

et où est-ce qu'on peut la prendre aussi/

en mer/

non parce que c'est sale

dans les ruisseaux

dans les bouteilles/

dans les toilettes

herk(0 :43 :32.1)

non parce que c'est sale/ on peut la prendre sous nos pieds sous nos pieds y-a de l'eau qui est cachée dans le sol et elle s'appelle l'EAU SOUTERRAINE

tu écoutes

et on peut en prendre pour l'eau du robinet d'accord/ alors je vais vous parler de l'eau souterraine de l'eau qui est sous nos pieds\ (0 :43 :50.5) c'est pas très facile parce que c'est quelque chose qu'on ne voit pas\ est-ce qu'on la voit l'eau qui est SOUS nos pieds/

non

elle est dans les égouts cette eau

non elle est dans les cailloux dans la roche sous la terre d'accord/

ah oui OK

dans les champs\ juste dessous

pour vous expliquer tout ça comme c'est quelque chose qui n'est pas simple parce qu'on ne le voit pas on va essayer de vous le montrer avec des maquettes\ (0 :44 :18.2) celle-ci et celle qui est là-bas

un petit peu comme un tunnel quoi

pas forcément tu vas voir on va regarder\ alors sur ces maquettes

tu ne vas rien voir viens par là

pourquoi ici y-a de l'eau ((en pointant la maquette))

alors cette maquette en fait c'est une représentation de ce qu'on a sous nos pieds\ d'accord/

ah c'est comme ça/(0 :44 :38.3)

on va imaginer qu'on va aller regarder à 100 mètres sous nos pieds\ 100 mètres est-ce que c'est très grand/

oui

oui c'est très grand\ et là on va aller voir sous nos pieds\alors là on imagine qu'on est le cochon-là\ est-ce qu'on est des cochons/

non

pas du tout

ben non alors là on regarde ici/ on va se mettre ici et sous nos pieds ça va être tout ça\ tout ce que j'ai montré là ça fait 100 mètres\ ça fait beaucoup hein

(0 :45 :04.2) **c'est quoi les trucs rouges les traits-là/**

ben j'vais expliquer(0 :45 :08.0) alors dedans/ sous la terre/ y-a des cailloux des gros cailloux et quelquefois ces gros cailloux vous en voyez à la plage\ à la plage qu'est-ce que vous voyez comme cailloux/

des galets

oui des galets

de la roche

du sable

oui des fois du sable y-a du sable aussi vous faites des chateaux de sable/

oui

voilà et ben nous le sable on l'a remplacé par de tout petits ronds \ vous voyez là/ c'est des tout petits grains

(…)

c'est des toutes petites billes qui représentent les cailloux sous nos pieds\ et dans ces cailloux en fait y-a des cailloux qui vont avoir plein d'eau et des cailloux qui vont pas avoir d'eau\ alors ceux qu'ont pas d'eau ils sont ici vous les voyez en foncé/ et ceux qui ont plein d'eau ils sont là\ vous voyez/ ici y-a un tuyau et y-a de l'eau qui arrive\ là ici là c'est comme si la pluie elle passait là ((en montrant le tuyau de remplissage))

(…)

non elle est là-dedans et elle remplit les cailloux d'eau\ et quand les cailloux sont remplis d'eau on parle d'eau souterraine de l'eau qui est sous nos pieds et cette eau-là on va la chercher pour faire l'eau du robinet c'est pour ça que je vous en parle\ d'accord/ oui/ alors\sous nos pieds y-a des cailloux qui sont très durs dans lesquels il ne peut pas y avoir d'eau c'est la couche que vous pouvez voir là\voyez ici là/ dans cette couche-là y-a pas beaucoup d'eau et là y-a plein d'eau et là y-a plein d'eau\ d'accord/

(0 :46 :40.5) alors pour aller chercher cette eau comment on va faire/ on va faire des trous oui/

on va creuser des trous

on va creuser des trous exactement\ et on va faire des sortes de petits tuyaux que vous voyez là vous voyez les tuyaux là/

oui

celui qui est tout rose tu en parlais tout à l'heure ben celui-là il est

tout rose c'est un tuyau y-en a un autre là et vous voyez y-en a d'autres\(0 :47 :03.6) alors les tuyaux c'est un petit peu comme les pailles\ est-ce que vous avez déjà bu de la grenadine avec une paille/ Alors comment on fait\ on remplit son verre d'eau/ on prend une paille/ et on aspire\ et qu'est-ce qui se passe/ l'eau qui est dans le verre elle arrive où/

dans la bouche

voilà dans le ventre

c'est pareil ici\

puis après on fait pipi

ben ouais c'est pareil (0 :47 :28.7) on va faire ces trous-là qui seront comme des pailles et l'eau qui est là-dedans/ on va aller la chercher/ et on va l'enlever

et elle va dans le robinet

et après elle va sortir

après elle va sortir c'est ce qu'on voit là\ vous voyez y-a un tuyau là ici/ qui va chercher l'eau et qui l'amène à un robinet\ (0 :47 :51.7)

Alors maintenant on va regarder un petit peu/ on va s'amuser avec la maquette\ et on va essayer de voir/ si l'eau qui est sous nos pieds/ BOUGE\ est-ce qu'elle bouge/(0 :48 :04.5)

non

oui

l'eau qui est sous nos pieds\

oui

non(0 :48 :04.8)

ben on va essayer de regarder\ vous savez ce qu'on va faire/ on va prendre de la GRENADINE et on va mettre de l'EAU rose dans les TUYAUX\ (0 :48 :10.7) et c'est pour ça qu'ils sont tout ROSES/ voilà\ ils sont tout roses parce qu'on l'a déjà fait tout à l'heure avec l'autre partie de votre classe\ on a déjà mis de l'eau rose\ et on a regardé ce qui se passait\ et EUX ils savent déjà ce qui se passe\ est-ce que vous voulez savoir/

oui

non

non/

si

alors on va mettre de l'eau rose\ d'accord/ alors on va mettre de l'eau rose\ (0 :48 :31.6) alors regardez ici\ (0 :48 :32.6) là on peut se mettre debout/ on va continuer à se mettre en rond comme ça tout le monde va bien voir\

c'est quoi ça/

c'est quoi ça/

on va reculer on va se mettre un peu par là

moi je vois pas bien je vois pas bien ici là

voilà

les petits devant c'est toujours mieux tout le monde voit

moi je suis petite

moi aussi

regarde il va faire en haut en plus le monsieur

(0 :48 :59.2) voilà vous voyez ici j'ai pris de la grenadine et je vais en

mettre dans le trou\ ((Bruno injecte du colorant rouge dans le tuyau qui mène dans la nappe captive))

ah c'est trop bien

voilà donc là j'en ai mis tout en bas/ là\ voyez/ et je vais en mettre pareil tout en haut/ ((Bruno injecte du colorant rouge dans le tuyau qui mène à la nappe libre)) est-ce que vous avez vu\

ouais

oui/

c'est trop drôle

c'est pour ça que les cailloux ils sont tout roses (0 :49 :21.0)

alors qu'est-ce qui se passe/ j'ai mis de l'eau avec de la grenadine dedans\ vous la voyez là/ ((Bruno montre le colorant qui se diffuse dans les deux nappes))

oui

et qu'est-ce qui se passe avec cette eau/ le rouge qu'on a mis/

elle bouge pas

oui les cailloux ils sont tout roses\

elle bouge pas/ qui est-ce qui a dit qu'elle bouge pas/

ben parce qu'on croirait pas qu'elle bouge\

eh ben là on l'a mise ici/ ((Bruno pointe du doigt l'extrémité du tuyau d'où est sortie l'eau colorée)) dans le tuyau/ et où est-ce qu'elle est déjà maintenant/

dans la couche

dans les cailloux-là ((en montrant))

((Bruno déplace son doigt jusqu'à l'endroit où se trouve l'eau colorée à présent)) elle est là/ alors est-ce qu'elle a bougé/

oui

et ben oui elle a bougé\

là y-a un espace\

vous voyez elle a commencé à être ici/ et maintenant elle vient par là\ et là regardez ici/ ((Bruno passe de la nappe captive à la nappe libre))

((une élève pointe du doigt sur la maquette le point de départ et l'emplacement actuel de la tâche colorée)) elle était là et elle va là

et là ça continue\ alors ça bouge\ (0 :50 :02.6) donc qu'est-ce que ça veut dire/ ça veut dire que aujourd'hui il pleuvait/ aujourd'hui\ ce matin\

oui

eh ben l'EAU elle est RENTREE dans le SOL ((Bruno déplace verticalement sa main collée à la maquette, de la surface jusqu'au centre de la maquette)) et une fois qu'elle est dans le sol/ elle continue à bouger\ ((Bruno déplace sa main collée à la maquette horizontalement vers la droite)) vous avez vu/ (0 :50 :16.9)

alors vers où elle va\ cette eau/

par ici/ ((des mains d'élèves se lèvent et indiquent la droite avec le pouce))

vers la droite

par ici oui\ alors qu'est-ce qu'il peut y avoir tout là-bas/ tout là-bas\ ((Bruno agite sa main décollée de la maquette vers la droite))

heu/ heu\

où est-ce qu'elle va aller cette eau/ (.)
y-a pas beaucoup d'eau
dans l'air/
hum ((Bruno n'est pas satisfait))
((un élève sur le côté droit de la maquette montre un tuyau)) elle va aller dans c'tuyau-là/ vu qu'là y-a un tuyau
où est-ce qu'on s'baigne/ où est-ce qu'on se baigne à la plage/
dans la mer/
dans la mer\ eh ben elle va aller dans la mer/ et elle va aller aussi dans les RIVIERES
((une élève se détache du groupe et pointe sur la maquette la tâche colorée)) ben en vrai la grenadine elle va pas sortir dans la mer/
oui mais là on a mis de la grenadine pour vous montrer que ça bougeait mais sinon c'est de la pluie en fait qui arrive\ et elle n'est pas rose la pluie\ d'accord/ (0 :50 :54.5) alors ça avance ça avance (0 :50 :59.5)
tu peux en mettre ici/
on va pas mettre pour l'instant\ ici (0 :51 :07.2) alors regardez sur la maquette qu'est-ce qu'on voit/
des vaches des cochons
on voit des cochons on voit des vaches on voit un âne qui sont SUR le sol\ qui sont dans le champ\
moi je croyais que c'était un cheval
oui ça ressemble un peu à un cheval mais c'est un âne\ ils sont à la surface\ là on est sur la colline ((pointage sur la maquette)) et là ((en montrant le creux sur la maquette)) qu'est-ce qui y-a à cet endroit-là/
la pluie/
la rivière
y-a la rivière\ (0 :51 :29.6) quand on regarde une rivière est-ce que l'eau coule très vite/
non non
si
elle coule un peu vite/
oui
pas toujours
si on met une feuille dedans/ la feuille elle va vite/
oui
alors que là vous avez vu/ ça continue à circuler/ on était là tout à l'heure/ et là ça avance/ et ici/ là ça avance
((soupirs))
vous voyez ça avance tout doucement\ donc ça avance plus doucement dans les eaux souterraines que dans la rivière\ voyez/ (0 :51 :55.9) alors qu'est-ce qui va se passer avec cette eau-là/ où est-ce qu'elle va/
elle va aller là/
elle va aller là ou elle va aller dans la rivière/
dans la rivière
regardez ce qu'elle fait là elle commence à remonter/ est-ce que vous voyez/
ouais

oui
tu vois toi/
non on dirait qu'elle descend
regardez là elle est droite et qu'est-ce qu'elle fait/ elle remonte
elle monte
et après elle va aller dans le tuyau/ et le tuyau il va exploser et hop(0 :52 :21.4)
alors on va reculer un petit peu comme ça je vais pouvoir vous montrer autre chose\
reculez un petit peu/ Martin/ si vous êtes tous collés vous n'allez pas voir
on recule/ et ben on va changer t'inquiète pas\(0 :52 :32.3) vous avez vu ici/ l'eau qui est là va aller dans la rivière\ donc qu'est-ce que ça veut dire/ ça veut dire que quand on voit une rivière couler\ et ben il faut imaginer que dans cette rivière il y a de l'eau qui est sous nos pieds\ de l'eau souterraine qui vient l'alimenter\
et celle-là/ ((en montrant l'eau de la nappe captive))
alors celle-là elle continue elle continue et elle va peut-être aller dans une rivière qui est beaucoup plus loin\ ou dans la mer
oui mais là elle va un peu dans la rivière/
voilà\(0 :53 :00.7) alors maintenant/ tout à l'heure je vous ai dit qu'on prenait une paille dans un verre\ vous vous souvenez/
oui
alors avec la paille qu'est-ce qu'on fait/ on aspire/ et qu'est-ce qui se passe y-a d'l'eau qui arrive/
oui
ben là on va essayer de faire ça\ on va utiliser ce tuyau-là\ et ce tuyau-là on va aller chercher l'eau et essayer de la faire remonter\ comme dans un verre\ en fait on va essayer de l'aspirer\ (0 :53 :24.3) alors je vais essayer de passer par là-bas\ pardon/((bruno met la pompe en marche))(0 :53 :34.2)
voilà\ regardez ici/ est-ce que ce tuyau-là il bouge/
je vois rien/
tu vois rien t'es pas au bon endroit
ce qu'on va faire comme tout à l'heure c'est qu'on va s'asseoir comme tout à l'heure alors asseyez-vous asseyez-vous
on croit que c'est quand on est tout près qu'on voit bien mais c'est quand on est plus loin qu'on voit mieux en fait(0 :53 :58.9)
((Bruno remet du colorant dans la nappe supérieure)) alors regardez/ j'ai remis de la grenadine ici et ce tuyau-là vous voyez il bouge un peu/ est-ce que vous voyez qu'il bouge/
oui
eh ben c'est comme si nous on aspirait dans un verre\ il fait pareil\ on aspire on aspire et il aspire de l'eau\ il va aller de l'eau qui est là pour la faire remonter dans le tuyau\ et il a aspiré tellement fort que regardez\ est-ce qu'il reste de l'eau dans la rivière/
non
l'eau de la rivière elle est partie complètement\ ça veut dire que toute l'eau qui est là elle est en train de l'aspirer et d'aller la chercher\(0 :54 :40.7) et c'est comme ça qu'on fait\alors on appelle ça un pompage\ un pompage\ et c'est comme ça qu'on va chercher de l'eau qui est sous nos pieds/ pour après la mettre dans nos

robinets\ d'accord/(.)(0 :54 :55.6) alors est-ce que vous avez vu là regardez\ tout à l'heure la grenadine le sirop qui était là il est parti vers la rivière

et il aspire la grenadine

et là il est en train d'aspirer la grenadine

on dirait qu'il est là/ ((en montrant le colorant mis initialement dans la maquette))

tiens regardez là on voit le rouge qui est en train de remonter remonter est-ce que vous voyez/

oui

et regardez le tuyau qu'est-ce qu'il est/

rouge

oh il est rouge

il est tout rouge\ vous avez vu/ donc là on est en train d'aspirer de l'eau\ c'est bon/ est-ce que tout le monde a bien vu/

oui(0 :55 :35.1)

on filme ((en montrant l'enregistreur MP3))

non c'est pour enregistrer\ et la dame qui est là-bas avec la caméra elle vous regarde\ d'accord/ vous avez le droit de faire un sourire/ ne la regardez pas

alors maintenant on va changer d'endroit on va aller à l'autre endroit d'accord/ on va faire pareil on va s'asseoir\(0 :56 :07.3)

Annexe 31 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 3 – Med3 – Présentation 1 (09 :21)

(1 :23 :41.9) ((installation))
écoutez surtout ce que xxx
mets-toi bien sur le côté
(1 :24 :56.4) Est-ce que vous savez de quoi on va parler/
de l'eau
mais de quelle eau/
l'eau de pluie
l'eau souterraine\ est-ce que vous savez ce que c'est l'eau souterraine/
c'est l'eau qu'on a sous nos pieds\
vous vous écartez un petit peu/
c'est bon tout le monde voit bien/ toi tu ne vois pas/ tu veux passer devant/
c'est quoi
ça c'est pour tout à l'heure
c'est bon
Non là je ne vous entends pas\
Alors on va parler d'eau souterraine\ c'est l'eau qui est sous nos pieds\ dans le sol\ est-ce que vous avez déjà vu de l'eau souterraine/
oui
non
on ne la voit pas l'eau souterraine
elle est dans le sol
voilà elle est dans le sol sous nos pieds et comme on ne la voit pas pour essayer de la voir mieux on a fait une maquette pour vous montrer où elle se trouve l'eau souterraine\ vous voyez là vous avez l'herbe avec les cochons et les vaches et juste en dessous c'est le sol\ dans le sol y-a des roches et des cailloux
je ne pense que les enfants n'entendent absolument pas ce que vous dites
vous m'entendez si je parle comme ça/
non moi là je ne vous entends pas(1 :25 :45.8)
donc on va parler d'eau souterraine c'est l'eau qu'il y a sous nos pieds dans le sol\ vous avez déjà vu l'eau souterraine sous nos pieds/ non on la voit pas\ (.)(1 :25 :59.4) alors pour la voir on va regarder ce qui se passe sur la maquette\ voyez sur la maquette-là on a de l'herbe avec des animaux\ ici on a une rivière et on a plus d'eau dans la rivière/ y-a plus d'eau/ ((en aparté à ses collègues)) on a une rivière et ici on a de la roche/ des cailloux/ où l'eau va circuler\(1 :26 :15.7) et là/ si je vous dis qu'il y a de l'eau qui circule/ on voit rien là\ vous ne la voyez pas l'eau là/ y-a de l'eau/ partout là\ sauf ici/((haut de la colline)) y-a des endroits où y-a pas d'eau du tout/ dans la roche\
la voilà
voyez/ là/ c'est l'eau qui y-a dans la rivière\ l'eau qu'on trouve dans la rivière\
ça augmente
ça monte
et ici l'eau qu'il y a dans la roche\ donc comment on peut essayer de faire pour voir ce qu'il y a sous nos pieds/ ici dans la maquette/
creuser/

oui/ on peut creuser pour essayer d'aller la voir\ on peut creuser des trous dans les jardins\ vous avez déjà vu peut-être des PUITS/ vous connaissez les puits qu'on trouve dans les jardins/

oui/

ça c'est pour aller chercher l'eau qui est sous nos pieds justement\ et là ici on va mettre de la COULEUR\ comme ça vous allez pouvoir voir l'eau\ on va entrer par le puits/ justement/ et on va voir comment elle se déplace dans la roche\ (..) ici on a deux puits\ vous voyez les tuyaux ici/

oui

ça représente des puits\ y-en a un qui ne va pas très profond et y-en a un qui va tout en bas\(1 :27 :34.1) hop la vous voyez si j'injecte de l'eau qui est colorée on va regarder ce qui se passe

ben l'eau elle diminue

elle va où/ elle reste immobile//ou est-ce qu'elle se déplace\

elle va dans la roche

elle se déplace

ça se déplace\ vous voyez ici/ elle bouge elle bouge elle bouge\ donc ça ça vous montre qu'il y a du mouvement\ l'eau elle circule sous le sol/ sous nos pieds\ et ici en bas qu'est-ce qui se passe/ la même chose/

non\

non\

ça avance ici non/ ça a l'air d'avancer\ laquelle des deux va plus vite/

celle-ci

voilà celui-là\

parce qu'il prend moins de temps à

et donc vous voyez ça circule dans ce sens-là\ et l'eau sous nos pieds elle circule elle avance\ et jusqu'où elle peut aller d'après vous/

ben

est-ce qu'elle va à un endroit où on trouve beaucoup d'eau/

euh au noyau

non où est-ce qu'on se baigne l'été/

à la plage

elle va dans la mer\ tout finit à la mer\ elle avance comme ça et rejoint la mer\(1 :28 :48.1) et l'eau des rivières y-a plus de rivière ((en aparté à Virginie)) et l'eau des rivières\ d'où elle vient l'eau des rivières/ est-ce que vous le savez/

de la mer

non elle va dans la mer l'eau des rivières mais elle vient pas de la mer

du fleuve

du ciel

du ciel tu dis/ de la pluie/alors en partie mais quand il ne pleut pas pendant plusieurs jours est-ce qu'il y a toujours de l'eau dans les rivières/

ben oui

oui y-a toujours de l'eau/ alors d'où elle peut venir/

de la mer/

non elle va dans la mer l'eau de la rivière\ l'eau souterraine aussi\tout va dans la mer\

du sol

du sol\ exactement\ c'est de l'eau\ l'eau souterraine elle va aller dans la rivière\ vous allez regarder ce qu'il va se passer/ on va regarder celui-là\

y-a plus d'eau/

y-a pas du tout d'eau dans la rivière\

voilà donc ça avance tout doucement

il a rattrapé

oui il a rattrapé oui\ et l'eau des rivières est-ce qu'elle va vite/

non

un peu vite quand même/ y-a du courant dans les rivières\ si vous lancez une feuille dans la rivière elle avance vite

ouais

alors qu'ici ça va tout doucement\ dans le sol l'eau elle avance tout doucement\ parce qu'elle passe dans la roche\ et là vous allez regarder/ est-ce que ça va tout droit là/ regardez

non\

ça commence à monter

où est-ce que ça va/ où est-ce que ça va aller

ça monte

ça va aller dans la mer et elle remonte

ça va aller dans la rivière c'est ce qu'on disait\ l'eau qui est dans le sous-sol elle arrive jusque dans la rivière\ regardez là hop là tout remonte\ ça montre bien quand il pleut pas y-a quand même de l'eau dans la rivière et c'est de l'eau qui vient du sous sol c'est de l'eau souterraine que vous trouvez dans les rivières\(1 :30 :32.6) alors\ dans les puits on disait qu'on pouvait récupérer de l'eau\ dans le jardin quand on fait un puits c'est pour chercher de l'eau pour arroser par exemple et donc on fait des forages c'est des tuyaux comme ça comme dans un verre quand vous pomper avec une paille/ vous aspirez l'eau ben là on fait pareil on peut mettre des forages en place et on fait un POMPAGE\ et on va chercher de l'eau sous nos pieds pour en faire après de l'eau du robinet\ on la boit\ l'eau qu'on a du robinet elle vient soit de l'eau des rivières soit de l'eau souterraine\ de l'eau qu'on a sous nos pieds

la rivière elle commence

ben vous voyez par ces tuyaux on va aspirer l'eau comme si on avait une paille\ on va regarder ce qu'il se passe maintenant\ hop/ regardez ce qu'il se passe si je mets du colorant\ où va l'eau/ quand on aspire par ce puits-là\

la rivière descend

ouais

ça commence à s'écarter

alors ça avance comme tout à l'heure ça avance \ regardez le niveau de la rivière qu'est-ce qu'il fait /

ça baisse

ça diminue

c'est parce que ça aspire

quand on pompe l'eau dans le sol vu que cette eau va d'habitude dans la rivière si on la pompe là l'eau de la rivière y-a plus d'eau dans la rivière ça assèche la rivière

ça commence à monter

et là voilà hop tout est attiré par le puits de pompage et ça remonte vers

la surface et c'est comme ça qu'on fait pour pomper de l'eau souterraine pour après y-a votre robinet on va chercher de l'eau comme ça\ par contre si y-a une pollution/ par exemple/ si ce que j'ai mis en rouge est un produit chimique/ une pollution/ et ben on va la pomper aussi/ quand on va prendre l'eau\ d'accord/ voilà là vous voyez toute l'eau est remontée oh regardez la couleur du tuyau

euh

tout est rouge comme ici et y-a plus d'eau dans la rivière\ voilà\ parce qu'on a pompé trop fort\ et quand on a mis du colorant ici tout à l'heure/ celui-là en bas/ regardez où on le retrouve\ est-ce qu'il est allé dans la rivière celui-là/

non

non il n'a pas pu remonter dans la rivière

et l'eau elle baisse

ouais parce qu'on a le pompage toujours donc ça fait baisser l'eau de la rivière\ et en fait ici tout ça c'est de la roche très dure dans laquelle l'eau ne peut pas passer\ donc qui est ici ne peut pas remonter à la surface\ ici c'est imperméable l'eau elle passe pas à travers\ et donc l'eau a continué à avancer\ voilà\ (1 :33 :12.8)

Annexe 32 - Eaux souterraines – CE1 – Groupe 4 – Med1 – Présentation 2

(10 :49)

(1 :54 :25.3) arrivée et installation tout le monde m'entend/
oui
oui/(1 :56 :36.2) alors est-ce que vous savez ce que vous êtes venus voir là/ vous savez de quoi on va parler/
sur l'eau
l'eau\ alors de quelle eau on va parler/ là\ ((en montrant la maquette))
du robinet
de l'eau du robinet est-ce que tu vois un robinet-là/
oui
((med1 surprise))
ici là
ouais mais derrière derrière derrière
c'est de la triche
c'est de la triche ouais
des rivières
alors des rivières ouais y-a une rivière
de source
alors si là y-a une rivière là ça représente quoi/
des animaux faux
et le truc vert c'est quoi/
l'herbe/
l'herbe donc c'est le sol\ et donc ça c'est quoi dessous/ qu'est-ce qu'il y a sous le sol/
de la glace/
la terre
la terre
y-a pas de la glace sous le sol/ la terre\ voilà\ et sous la terre y-a quoi/
ah ben des taupes des
de la roche des cailloux\
ah oui
donc en fait à l'intérieur de la roche et des cailloux vous avez aussi de l'eau\ y-a pas de l'eau que dans les rivières\ ouais j'veux bien\ ((aparté)) donc sous nos pieds sous le sol y-a des cailloux y-a différents types de cailloux vous voyez là y-en a un type et là y-en a d'autres qui sont beaucoup plus petits beaucoup plus serrés et puis là de nouveau c'est des cailloux beaucoup plus laches\ et à l'intérieur des cailloux y-a de l'eau et cette eau elle circule\ (.) (1 :58 :10.3) vous me croyez quand je vous dis que l'eau elle circule/
oui
oui
oui/ vous me croyez comme ça/ juste parce que je l'ai dit/
non
ah\ et comment vous pourriez savoir si je vous raconte des bobards ou pas/ comment on pourrait savoir si l'eau elle circule vraiment ou pas/

qu'est-ce qu'on pourrait faire/
creuser beaucoup beaucoup beaucoup
on pourrait creuser et regarder si l'eau elle circule\ qu'est-ce qu'on pourrait faire d'autre/ sur cette maquette/ qu'est-ce qu'on pourrait faire pour prouver que l'eau elle circule/ et si je vous montre ça ((un pot de colorant avec une seringue)) est-ce que ça va vous aider/ qu'est-ce que je vais faire/
tu vas piquer dans la terre
ouais et qu'est-ce que ça va faire si je pique dans la terre comme tu dis/
euh je ne sais pas moi l'eau elle va sortir après
ouais elle va sortir elle va toujours être transparente/
non
non je vais colorer l'eau pour qu'on puisse la voir circuler\ alors ça c'est la première chose\ colorer l'eau\ mais maintenant comment je vais réussir à mettre l'eau dans le sous-sol/
ben on creuse et après on met l'eau dans le sous-sol
ouais on creuse et quand on creuse on fait quoi/ comment ça s'appelle/
un trou/
ouais un trou\ est-ce que dans les jardins de vos parents ou de vos grands parents y-a pas des choses qui permettent d'aller chercher l'eau dans le sol/
une pelle
un puits
et oui les puits ça sert à aller chercher l'eau souterraine\ c'est des sortes de tuyaux les puits qui permettent d'aller chercher l'eau\ et on va s'en servir nous aussi pour voir l'eau\ de puits\ (1 :59 :47.0) alors vous vous rappelez/ je vous ai dit y-a une première sorte de roche et la même en dessous qui sont séparées par des roches un peu plus dures\ donc c'qu'on va faire c'est que je vais colorer l'eau dans les deux parties et on va regarder ce qui se passe\ ((Virginie met du colorant dans les deux puits)) alors est-ce que vous la voyez mieux l'eau là quand même/
oui
oui\ est-ce qu'elle bouge/
oui
ah oui elle bouge\ alors est-ce que j'avais raison ou est-ce que je vous racontais des bobards/
raison
ah oui\ l'eau elle circule\ et là on le prouve\ l'eau elle circule\ maintenant est-ce qu'elle va à la même vitesse en haut et en bas/
non
où est-ce qu'elle va le plus vite/
en haut
en haut\ voilà\ donc là on voit que l'eau elle circule\ et ça les chercheurs ils font pareil ils colorent l'eau\ avec d'autres types de colorants pour voir comment elle circule(2 :00 :55.6)
J'ai une deuxième question à vous poser\vous connaissez les rivières/
oui
elle vient d'où l'eau des rivières/
des robinets
des robinets

d'une source
tu disais
du sous-sol
du sous-sol
d'une source
d'une source
de la pluie
de la pluie/
dans une marre
alors quand il ne pleut pas comment ça se fait qu'on a de l'eau dans les rivières/
par les pluies
les pluies ça ne suffit pas\ alors regardez bien le colorant\ y-en a qui m'ont donné la bonne réponse\ alors on va bien suivre le colorant de ce qu'on appelle la NAPPE LIBRE\ celle qui est LIBRE de se déplacer\ qu'est-ce qui se passe là avec le colorant/ où est-ce qu'elle va l'eau de la nappe libre/ qu'est-ce qui se passe/ vous voyez rien/
elle avance
elle avance vers où/
comme ça là
elle va vers où/
vers la droite
non regardez bien elle va vers la droite mais elle est attirée par quoi/
par un tuyau
par la rivière
par la RIVIERE\ regardez elle est attirée par la rivière/ et est-ce qu'en bas elle est attirée par la rivière/
non
non\ et d'après vous pourquoi elle n'est pas attirée par la rivière en bas/
parce que elle est LOIN de la rivière
parce qu'elle est LOIN\ et parce qu'il y a une couche qui l'EMPECHE de rejoindre la rivière\y-a la couche imperméable\ c'est pour ça que celle du dessous on l'appelle la nappe CAPTIVE\ alors est-ce que vous savez ce que c'est un captif/
non
un captif c'est un PRIsonnier\ en fait ça c'est la nappe prisonnière parce que elle PEUT PAS remonter à la rivière\ alors ça c'est la nappe libre\ là l'eau elle a le droit de remonter à la rivière et ça c'est la nappe captive qui elle est obligée d'aller tout droit l'eau ne peut pas remonter à la rivière\(2 :02 :46.1) alors maintenant l'eau du robinet\ elle vient d'où/
du robinet
du robinet\ oui\ mais avant le robinet elle arrive d'où/
de la mer
de la rivière
anh tu bois de l'eau de mer toi/ beurk y-a du sel
des tuyaux
des tuyaux ouais elle passe par des tuyaux\ et ben on peut pomper directement dans les nappes\ si on met les pompes en route tu peux me le mettre en route s'il te plait/ ((aparté)) alors regardez\ on

met le pompage en route\ là on aspire l'eau de la nappe\ et d'après vous si je recolore l'eau est-ce que l'eau va pouvoir toujours aller jusqu'à la rivière/

non

vous êtes sûrs/

oui

vous êtes sûrs comme ça vous/

oui parce que quand elle va passer là ben ça ça va l'aspirer\

d'accord\ on fait le test pour être sûrs que vous ayez raison/

reculez

((Virginie injecte du colorant dans la nappe captive)) moi je crois que ce que je vois\ vous me le dites mais je veux qu'on me le prouve\ on regarde l'eau et on va voir si elle arrive à rejoindre la rivière\

attention attention

alors/

oui oui ça marche

ça marche

eh oui vous aviez raison\ bravo\ effectivement elle ne va pas pouvoir rejoindre la rivière\ et d'ailleurs regardez bien la rivière\ est-ce qu'elle est toujours comme d'habitude/

non

elle se fait aspirer par le machin

oui\ quand on pompe trop fort les nappes souterraines on assèche les rivières\ faut pas pomper trop fort\(2 :04 :28.8) et aussi ce que vous avez vu/ là on a utilisé un colorant rouge/ le colorant ça peut représenter aussi un polluant\ les polluants vous savez ce que c'est/

oui

non

non/ c'est ce qui rend sale les eaux\ c'est ce qui fait qu'on peut ne pas les boire ou que ça abîme les milieux\ donc en fait ce qu'il faut que vous voyiez c'est que si on met un polluant dans la nappe ou dans le sol le polluant peut rejoindre les rivières ou il peut aller très très loin\ donc il faut faire très attention aux produits qu'on utilise à ce qu'on déverse sur le sol parce que ça peut rejoindre les eaux souterraines et après contaminer nos rivières\(2 :05 :14.3)

Annexe 33 - Virginie – Entretien rétrospectif (extrait) – Laboratoire GéoSciences

le 11 février 2014

C : A propos de la fds

V : Contrairement à d'autres années, quand je le faisais y-a 6 ou 7 ans, on n'a plus trop de questions sur les nitrates. Avant on avait toujours des questions sur les agriculteurs. Cette année un peu moins.

C : Le samedi et le dimanche ! parce qu'avec les scolaires…

V : ah oui ! mais je crois que c'est la première année que je le fais avec les scolaires. J'avais pas eu l'occasion les autres années.

C : Les maquettes sont-elles utilisées en cours quelquefois ?

V : Non. Mais là je vais la ressortir pour des lycéens qui doivent venir. Mais là c'est plus de la vulgarisation, c'est pas du cours.

C : Les maquettes ont été fabriquées avec des matériaux qui étaient utilisés dans les labos y-a quelques années.

V : Ouais c'est une autre sous-équipe qui travaille sur tout ce qui est diffusion dans les milieux poreux, qui joue effectivement à faire des milieux remplis de billes et qui regarde comment les colorants se déplacent dedans. A l'époque ils utilisaient ce même type de billes. Maintenant, soit ils utilisent des hydrogels, les billes qu'on met dans les plantes et qui se gonflent avec l'eau, soit ils utilisent ça et ils font un milieu 3D, soit ils font des milieux pseudo 2D : c'est une plaque et ils font de tout petits cylindres qui simulent les milieux poreux et hop ils referment, ce qui fait que l'eau peut juste passer entre les cylindres. Au début qu'ils ont monté ce labo, ils utilisaient les mêmes billes que la maquette. C'était un peu moins large pour mieux voir, et au milieu y-avait une fracture.

C : Et donc les maquettes sont nouvelles pour les doctorants ?

V : Ah oui ils ne les ont pas vues avant

C : Et ils ont pu rencontrer des choses qui y ressemblent du point de vue de la modélisation ?

V : Ben non parce qu'on n'utilise plus les billes ; et puis les doctorants qui participent ne sont pas tous de cette sous équipe : ils viennent pas tous des milieux poreux. Soit ils sont en datation, soit en modélisation, ils n'ont pas forcément vu ce type de matériel.

C : À quoi ça ressemblerait le plus ces maquettes ((qu'ils rencontrent les doctorants dans leur labo)) ? À des simulations numériques ?

V : Non c'est ce qu'on appelle plutôt de la modélisation analogique. C'est des systèmes analogiques. Par exemple, en géologie, ce qu'ils font pour simuler la création d'une montagne, je ne sais pas si tu as déjà vu ça, ils mettent du miel pour faire la sténosphère. Après ils mettent des couches de silicone et puis du sable dessus, et puis hop, ils compressent et ils regardent comment se forment les fractures, les machins, les trucs.

C : Ils font ça en labo ?

V : En labo oui. Et puis pas pour s'amuser. Eux ils font des vraies mesures. Ils adaptent bien. Ce qui s'appelle la rhéologie, c'est à dire l'élasticité de chacune des couches pour que ça ressemble plus à la terre ou autre. Le miel, ils ont mis vachement longtemps à découvrir que le miel avait les mêmes propriétés qu'une des couches de l'écorce terrestre qui est assez fluide. Et voilà ils bloquent un côté, et avec un piston ils font une création de chaîne de montagnes.

Ça ça s'appelle une modélisation analogique ?

V : C'est la modélisation qui est analogique\ c'est un modèle réduit en fait.

C : Ce n'est pas une appellation que j'ai retrouvée en fait.

V : Ouais ici c'est le terme qu'on utilise, modélisation analogique. Au niveau de la géologie, c'est ce qu'ils utilisent pour faire ces petits modèles qui ne sont pas non plus numériques, qui ne sont pas faits par l'ordinateur, mais qui ne sont pas réels, qui sont faits avec des analogues. Ouais c'est ça : le miel c'est un analogue de la couche terrestre ; le silicone, c'est un analogue de la croûte terrestre. Voilà c'est des analogues. Donc je pense que c'est pour ça qu'on dit « analogique ». Et donc, nous, dans notre modèle à nous, en hydro, c'est pareil : les billes, à cette échelle-là, peuvent être considérées comme des analogues des blocs de roche et autres. Donc c'est plutôt un modèle analogique, mais qui peut être dimensionné de façon à voir des processus réels. Le fait de voir le colorant rouge rejoindre la rivière, on voit bien qu'on l'a QUE quand on crée les bonnes conditions. C'est bien qu'on est sur un modèle réel.

C : D'où maquette analogique ?

V : Mouais, modèle ou maquette, pour nous c'est identique. Enfin, dans l'absolu, « modèle analogique » pour moi c'est quelque chose qui est vraiment très proche du réel. « Maquette », pour moi, on peut se permettre de faire des erreurs pour arriver quand même à montrer le bon résultat. La différence, ce serait ça : pour modèle c'est vraiment exactement pareil, on a juste une histoire d'échelle qui change. Maquette, on peut se permettre de changer quelques trucs, pour avoir un côté plus didactique. Donc ce que l'on a utilisé c'est assez proche d'un modèle, mais pour moi ça reste une maquette, quand même, parce qu'on n'a pas fait le sol, tous les blocs ne sont pas vraiment ronds

C : Ce qui est fait en labo ce sont des modèles[174] par contre

V : Oui. Y-a pas besoin de truquer quoi que soit. Au contraire : on veut voir comment ça marche réellement. On fait et on regarde ce que ça donne. et si ça donne pas ce qu'on a envie, c'est qu'on n'a pas compris un truc ou autre !

C : Qui a conçu la première maquette ?

V : L'idée est venue d'un chercheur, qui avait découvert cette maquette américaine, sur un site. Elle était faite avec du sable, et pas des billes. Ils y faisaient quand même passer des traceurs. Et c'était pour faire une fête de la science. C'était un moment où ils se posaient la question dans l'équipe hydrogéologie : comment intervenir dans la fête de la science ? comment montrer comment ça marche ? Donc ce chercheur avait vu cette maquette américaine. Il a failli l'acheter, et il s'est dit qu'avec du sable on voyait mal, et y-a un ingénieur d'étude, technique, qui travaillait sur ces premières maquettes avec les billes, pour la recherche. Je ne sais pas, un jour, c'est peut-être au café qu'ils ont parlé de ça, il a vu la photo de la maquette américaine, ah on pourrait peut-être prendre les billes qu'on utilise, là, pour faire le même truc. Et ils l'ont montée comme ça pour la première fête de la science, en 2003 ou 2004.

La deuxième a été faite par des doctorants dans le cadre d'un projet avec le CIES, fallait faire des projets de vulgarisation, donc ils avaient fait cette deuxième maquette.

174 Pour aller plus loin sur les modèles analogique : http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/modeliser-processus-tectoniques.xml

Annexe 34 - Stand IPR – Préparation de l'atelier "Le sable dans tous ses états"

Extrait – Les sables mouvants Durée de l'épisode : 08 :54

tdp	Loc.	Productions verbales et non-verbales
1	A	ah oui/ y-a encore ça aussi/ ça c'est les sables mouvants\ ça c'était Chloé encore\ est-ce que j'ai de l'eau encore/
2	L	y-a déjà l'argile dedans/
3	A	oui y-a l'argile\ y-a tout\ ((Mickaël et Alain mélangent les composants))
4		((discussions diverses pendant la préparation du mélange))
5	A	((Alain installe le petit bonhomme sur le SM))bon normalement y-a un pot vibrant en dessous\(..) donc ça c'est pour montrer comment fonctionne le sable mouvant\ ((Alain donne la parole à Mickaël))je te laisse expliquer/ ((mais reprend l'agitateur aussitôt))donc là ça s'est déjà stabilisé/ donc si on bouge un peu\ alors y-a pas de pot vibrant alors on fait ça/ voilà/ donc ici il bouge bien/ et voilà et celui-ci doit disparaître complètement\ alors ici ça arrive à descendre/ si je casse les arches/ (.) si on mettait le pot vibrant dessous/ y-a un (.) un personnage qui va s'enfoncer complètement/ les deux ont la même masse\ enfin le même volume/ la même masse\ pardon\et donc celui-là c'est la densité 1/ la densité de l'eau en fait/ la densité de l'homme en fait et ici c'est la densité 11.3 donc c'est le plomb\ donc quand on met un pot vibrant en dessous/ ((il tape le fond du pot avec la main)) ça secoue l'ensemble/ alors c'est pour montrer que dans les sables mouvants les humains comme ils ont une densité de un donc ils ne peuvent pas couler complètement\ puisque le sable mouvant a une densité plus grande/ et donc du coup/ dans les sables mouvants on peut descendre que jusqu'aux cuisses\ d'accord/
6	Ch	oui
7	A	par contre/ le plomb qui a une densité plus grande/ lui il va couler\ c'est pour montrer ça\ alors la manière comment ça se passe les sables mouvants/ c'est dans le petit document/ donc en fin de compte pour qu'il y ait des sables mouvants il faut qu'il y ait de l'eau 50 % il faut qu'il y ait du sable 40 % et il faut qu'il y ait 10 % d'argile\ si on a que de l'eau et du sable/ c'est du sable normal on s'enfoncera pas dedans\ ça va tenir\ quand y-a de l'argile et du sable ça fait un peu comme des châteaux de cartes d'accord/ tout ça ça fait une multitude de châteaux de cartes/ et en fin de compte quand on marche sur les sables mouvants on marche sur ces structures-là\ voilà\ tant qu'on fait qu'y passer ça le fait/ mais si on piétine ces structures s'écroulent et on s'enfonce\ mais on ne pourra jamais s'enfoncer plus que ça parce que c'est la densité or au moyen âge la traversée du Mont-Saint-Michel un truc que je vous conseille de faire sur 10000 personnes qui y passaient tous les jours on disait qu'il y avait 5 % qui mouraient enlisés enfin perdus dans les sables mouvants\ ça c'est FAUX déjà parce que les gens ne pouvaient pas s'enfoncer plus ((mains au niveau des cuisses)) y-en a 5 qui mouraient par noyade et les autres des sables mouvants mouraient aussi par noyade parce qu'ils étaient restés enlisés et tout simplement c'est avec la marée quand elle montait qu'ils se trouvaient noyés et y-en avait 5 autres aussi qui mouraient dans l'abbaye comme quoi on n'était pas plus en sécurité dans l'abbaye que dans les sables mouvants \ alors

tdp	Loc.	Productions verbales et non-verbales
		dans les sables mouvants quand on s'enfonce/ faut pas marcher là où les autres sont passés là où on a détruit la structure de château de carte\ mais en imaginant qu'on s'enfonce parce que on n'a pas fait attention le sable on l'a piétiné donc on s'est enfoncé et bien y-a pas de danger parce que si les structures sont cassées là où on les a effondrées/ juste à côté elles ne le sont pas et donc si je soulève tranquillement ma jambe je vais poser mon genou à plat sur un côté sur les structures sans trop les bouger et je vais pouvoir me retirer et me sortir sans encombre des sables mouvants\
8	L	faut pas paniquer
9	A	faut pas paniquer/ non ça sert à rien/ et donc on peut s'en sortir très facilement\ mais dans l'imaginaire des gens/ dans les sables mouvants/ on s'enfonce complètement\ on disparaît\ comme le((il montre le morceau de plomb qui a coulé)) [alors effectivement si j'ai un barda]
10	M	[comme dans les films]
11	L	Indiana Jones
12	A	Oui/ voilà/ oui/ c'est ça alors cette expérience elle sert à ça\ et donc c'était aussi Chloé en fait parce que y-a un chercheur qui avait dû venir faire un exposé là-dessus ici ou j'sais pas où/ et du coup elle a repris ses travaux qui sont sur Internet d'ailleurs\ on tombe dessus\ voilà\ alors le Mont-Saint-Michel vous pouvez aller le traverser avec tranquillité sans problème et les sables mouvants sont juste autour du Mont-Saint-Michel\ donc ailleurs si on part du Bec d'Andaine de l'île de Tombelaine y-a pas de sables mouvants à cet endroit-là c'est vraiment dans les parages du Mont-Saint-Michel où le sable est enrichi en argile\ben voilà c'était cette expérience-là et quand on a le pot vibreur en-dessous/ on voit bien le personnage en plomb qui coule\ alors\ c'est la raison pour laquelle les anglais qui étaient installés à Tombelaine à 3 kilomètres du Mont-Saint-Michel n'ont jamais réussi à prendre le Mont-Saint-Michel en fait\ parce quand ils arrivaient ils étaient déjà lourdement harnachés de plaques de ferrailles/ d'épées/ de tout ce qu'on veut/ donc marcher trois kilomètres comme ça sur un terrain qui était très difficile/ en plus en arrivant au pied du Mont-Saint-Michel c'était là qu'ils devaient piétiner pas mal/ et le temps de vouloir attaquer le château/ le Mont-Saint-Michel/ la marée arrivant/ il était temps de replier les gaules/ et du coup ça ne représentait aucun danger pour les habitants du Mont-Saint-Michel donc voilà\ ça c'est les sables mouvants\ donc le but/ le poster et ça/ c'était pour montrer qu'à notre densité à nous/ on ne peut pas s'enfoncer plus que la moitié\ en fait\ voilà\

Annexe 35 - Stand IPR – Poster « Le sable sec »

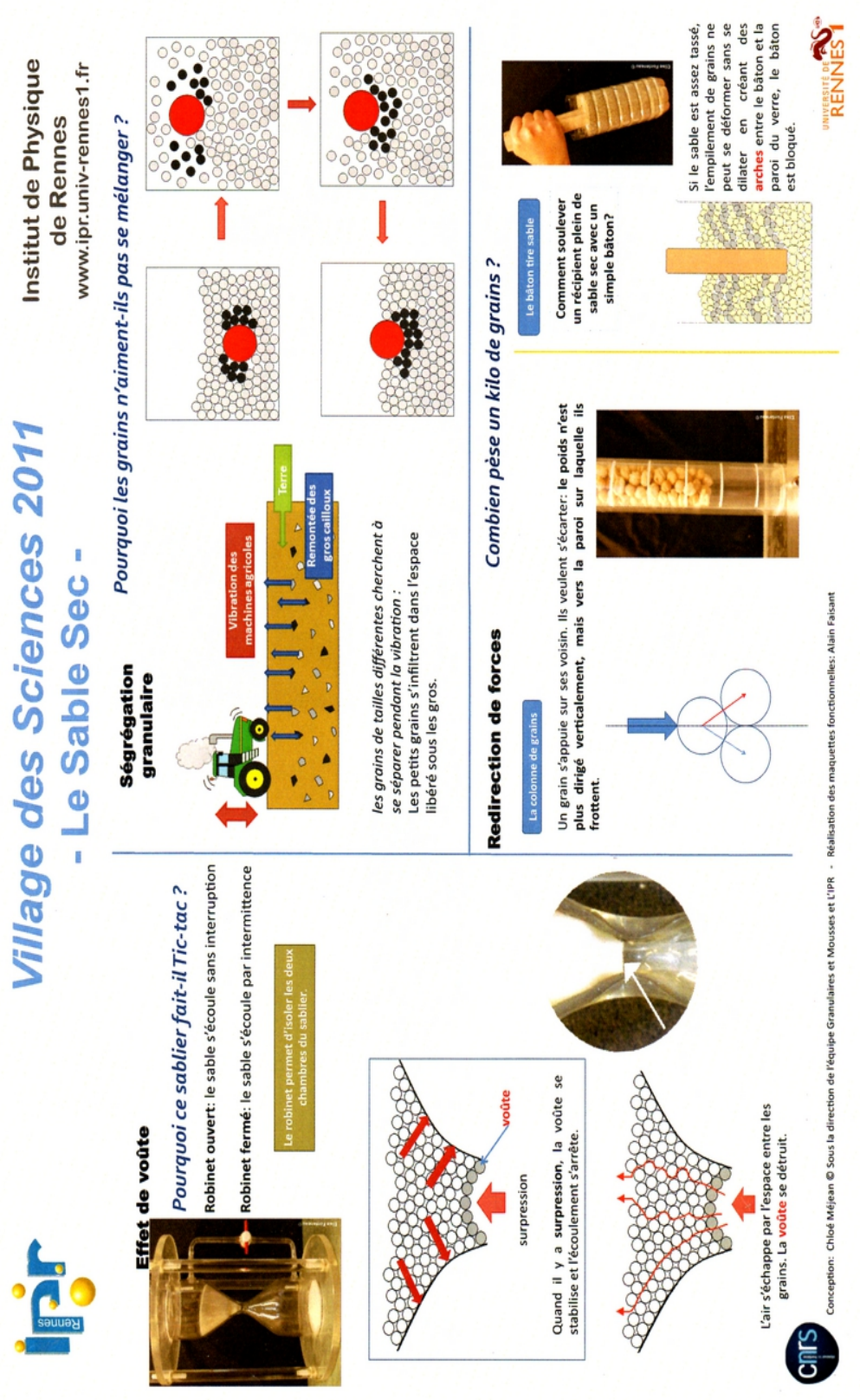


Illustration 153: IPR – Poster « Le sable sec »*

Annexe 36 - Stand IPR – Poster « Le sable humide »

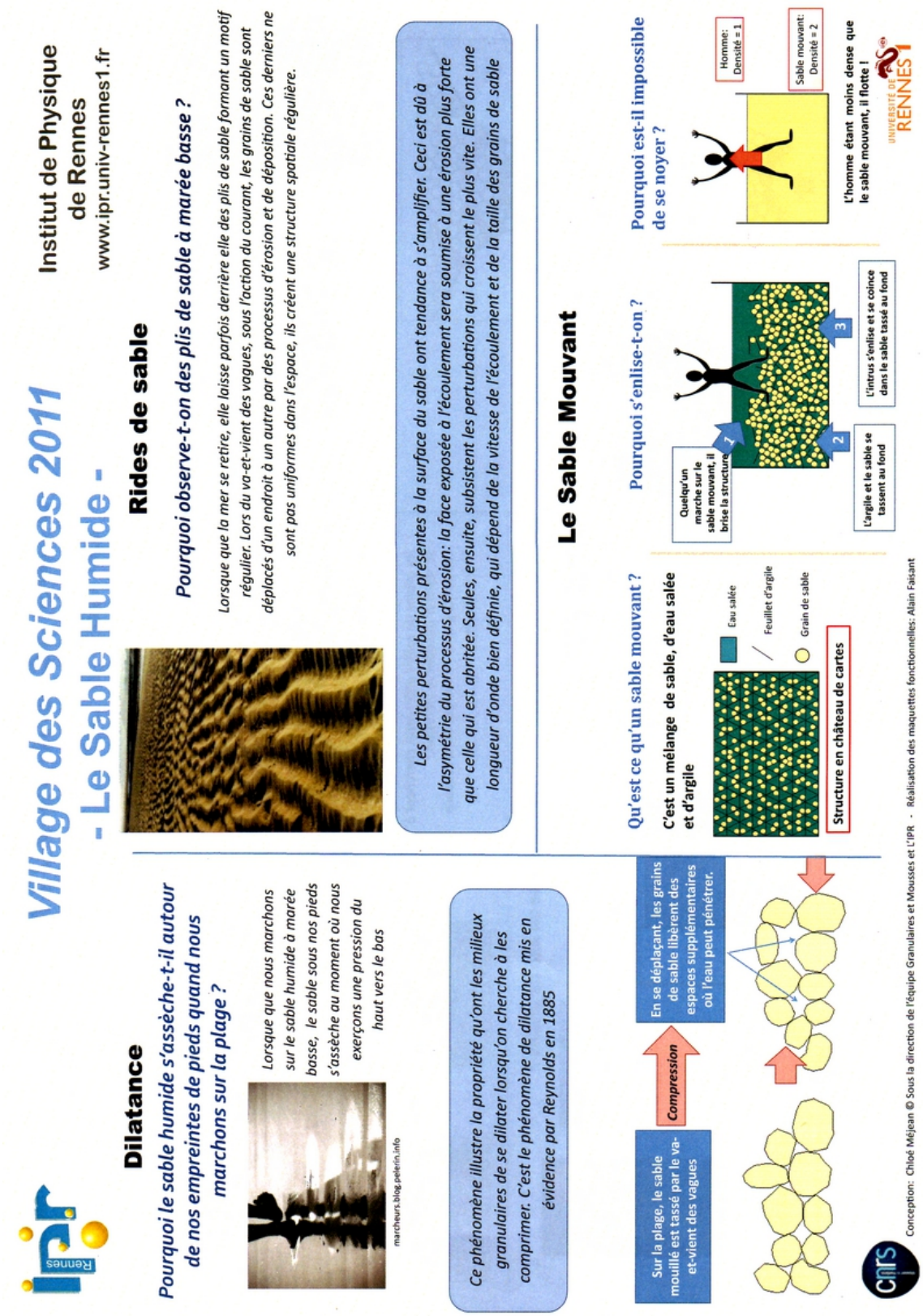


Illustration 154: IPR – Poster « Le sable humide »*

Annexe 37 - Lucie, Entretien préalable 1/3 – Salle de manip

(27/09/2013) Durée 08 :54

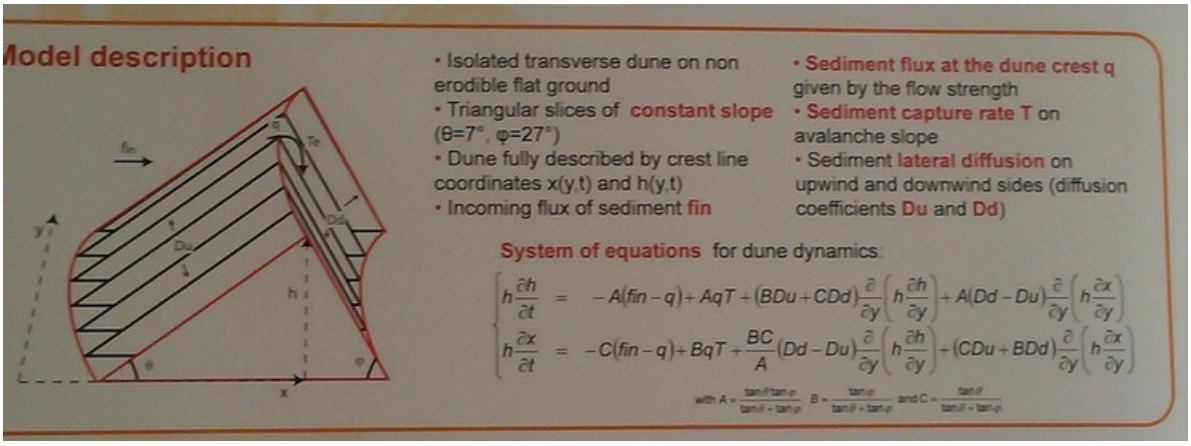
tdp	Loc.	Production verbale et non verbale
1	C	(0 :00 :00.0)ça c'est ta salle de manip
2	L	voilà
3	C	(0 :00 :35.5)voilà donc ça c'est
4	L	ça c'est le grand chenal expérimental il fait 5 mètres de long 60 centimètres de haut et 40 de large y-a pas de couvercle et c'est utilisé pour modéliser les rivières il a été construit en partenariat avec des géologues (.) l'intérêt c'est qu'il est assez large pour modéliser les petites rivières donc ça c'est intéressant pour les géologues mais pas trop large non plus il tient dans une salle quoi y-a beaucoup de chenaux qui sont beaucoup plus longs (.) 5 mètres de large une vingtaine de mètres de long
5	C	et ça ça existait avant toi
6	L	ça existait avant moi ouais ça a été fait avant que j'arrive mais ça n'a pas été utilisé avec des sédiments avant que j'arrive ça n'a pas été utilisé avec du sable fin parce qu'ils ont eu beaucoup de problèmes à la réception, à la mise en place et donc moi quand je suis arrivée ici j'ai commencé à travailler là-dessus pour mon stage de master 2 j'ai commencé par ça en fait à étudier la déformation du fond du sable sous l'effet d'un courant pour regarder l'instabilité qui fait qu'on passe d'un fond tout plat à un fond avec des rides
7	C	donc dès le master 2 tu as fait ça/
8	L	ouais dès le master 2 j'ai fait ça
9	C	et donc c'était une recherche qui était en cours déjà/
10	L	ben du coup c'était la première fois que ce chenal-là était utilisé avec du sable et pour ma thèse j'ai commencé par travailler sur un modèle
11	C	quel modèle/
12	L	un modèle d'évolution des rides d'évolution des dunes un modèle simplifié qui est un modèle théorique en fait
13	C	ça ressemble à quoi/
14	L	à un système d'équations quoi la base c'est y-a de la physique pour décrire le système sous forme mathématique à partir des outils mathématiques on s'en sert pour regarder les rides j'ai des posters dans mon bureau j'te montrerai tout à l'heure
15	C	on regardera ça tout à l'heure h la y-a la jolie affiche ((le sable humide, pour le grand public))
16	L	oui ça c'est Alexandre qui l'avait amenée lors des visites des master2 parce que mon directeur de thèse donne des cours en master2 il est responsable d'un module et y-a une partie du module qui est visiter la salle donc il avait amené ça donc je l'ai affiché, c'est plus sympa affiché on voit pas trop l'autre côté ((verso)) mais bon
17	C	alors là on a

18	L	alors ça c'est le petit chenal j'utilise celui-là pour ma thèse j'utilise très peu l'autre donc là on étudie dans une configuration un peu différente où la canalisation est plus petite et surtout elle est fermée c'est plus pratique pour la visualisation mais ça s'éloigne un peu du système des rivières des géologues y-a pas de surface d'air je peux l'ouvrir si tu veux et voilà à quoi ça ressemble donc là c'est un lit de billes de verre c'est le résultat après une manip où ça a tourné pendant un quart d'heure ((…)) y-a tout un système hydraulique pour faire circuler l'eau y-a une pompe pour le grand chenal c'est dans la salle derrière c'est caché
19	C	[tout ça c'est relié aux ordis]
20	L	[voilà mes objets d'étude] les chenaux eux-mêmes ne sont pas reliés aux ordis c'est les appareils qui sont dessus qui sont reliés
21	C	d'accord
22	L	pour visualiser soit j'utilise un appareil photo que je fixe ici et qui est relié à l'ordinateur je pilote la prise de vue ça c'est un laser et je l'utilise pour étudier le champ de vitesse pour visualiser comment les courants se développent autour des rides tout ça c'est couplé à l'ordinateur celui qui fait beaucoup de bruit-là et ce système-là a 6-7 ans c'est pour ça que l'ordinateur est un peu vieux quoi par rapports aux ordis actuels et j'ai d'autres systèmes de mesure des trucs où je vais visualiser donc je mets un appareil photo j'ai un éclairage et mon miroir pour bien visualiser sur le côté
23	C	ces systèmes-là c'est toi qui les a faits
24	L	ce système-là oui c'est moi qui l'aie fait qui l'aie conçu avec Alain qui fait la mise en place le piège aussi on a réfléchi dessus avec mes directeurs de thèse et on a opté pour cette solution-là et c'est Alain qui a fait la partie réalisation et qu'a toujours des idées pour améliorer nos trucs c'est très agréable de travailler avec lui
25	C	c'est mignon ça/
26	L	ça c'est mignon ouais en fait notre écoulement il est très turbulent donc y-a des gros tourbillons qui se développent surtout quand on passe d'une petite section à une grande section donc pour éviter qu'y-ait des gros tourbillons qui ne sont pas ce que je veux voir on les casse par ce système-là juste des billes et des pailles voilà ça c'est toute une thèse aussi
27	C	y-a quelqu'un qui a fait une thèse là-dessus/
28	L	ouais c'est la troisième thèse qui a sur ce chenal
29	C	là on trouve de magnifiques posters
30	L	ouais ça c'est la thèse précédente juste avant moi alors moi où donc ils ont étudié ce système-là alors moi je mets un lit de sédiments et je regarde comment ça se déforme alors que là y-avait un système d'apport de sédiments donc y-avait pas de lit au début juste des plaques avec un apport de sédiments un apport d'eau et ils observaient différentes configurations donc on voit des configurations bien différentes soit c'est des dunes bien rectilignes soit c'est des dunes en forme de croissant des barquettes un peu plus espacées soit c'est carrément des nappes qui se déplacent voilà c'était comme ça ouais donc à chaque fois on

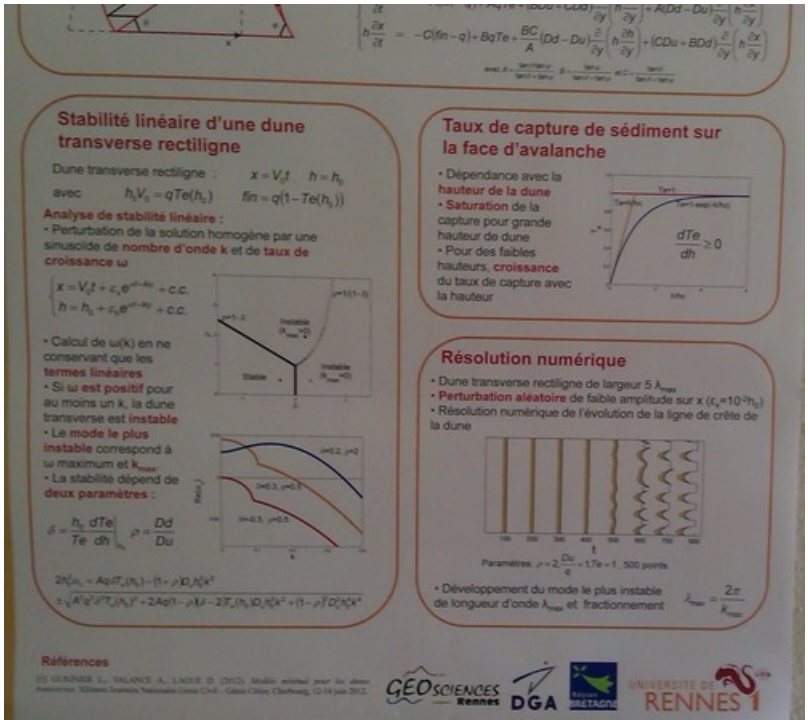
		change y-a encore plein de choses à faire avec
31	C	y-a beaucoup de math là
32	L	là c'est surtout de l'analyse de données un côté un peu plus statistique pour voir ce que l'on peut en sortir et ça c'est autre chose c'est sur les particules pour étudier la façon dont elles se déplacent y-a des façons où elles font des sauts donc ça c'est une étude qui a été faite je crois en soufflerie donc ça correspond pas à la manip qui est ici
33	C	ok et alors c'est pour la déco ou alors y-a un lien quand même
34	L	quand y-a de visiteurs on peut montrer tout ce qui est fait sur le transport des sédiments même sur des manips la manip là elle est à Nantes par exemple enfin elle était à Nantes et maintenant ils sont en train de construire quelque chose sur la saltation sur le rebond l'impact c'est ce qui était dans l'autre salle où on était l'autre jour
35	C	ouais
36	L	et voilà tous ces ordinateurs pour piloter tout ça parce qu'évidemment quand on a un appareil photo qui a un certain âge on ne peut pas le faire tourner avec un ordinateur trop récentui (0 :08 :54.3)

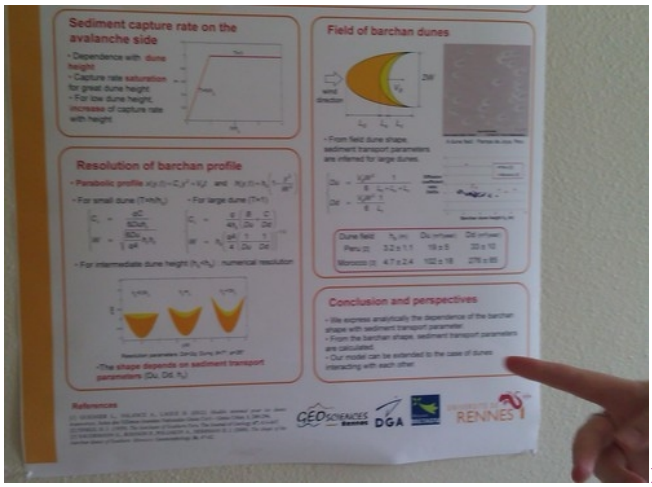
Annexe 38 - Lucie, Entretien préalable 2/3 – Bureau et posters

(27/09/2013) Durée 06 :03



td p	Lo c.	Productions verbales et non verbales
1	L	((Devant les posters affichés))ça c'est le modèle que j'ai étudié en début de thèse
2	C	alors, qu'est-ce que tu appelles modèle là-dessus ((ensemble des deux posters affichés))/
3	L	ce que j'étudie c'est l'évolution d'une dune, c'est quelque chose qui est assez compliqué une dune de sable qui évolue sur un fond plat sous l'effet d'un écoulement d'eau. L'idée de ce modèle c'est de faire des approximations. La première approximation principale c'est de considérer que la tranche d'une dune si on la coupe ça va être un triangle, quelque chose comme ça ((en montrant sur le poster)) et que partout sur la dune, si on se déplace, on aura les mêmes angles parce qu'on aura toujours les mêmes forces.A partir de ça à partir de ce modèle-là on va avoir un flux de sédiments qui va entrer sur la dune qu'arrive de derrière la dune du sédiment qui va passer au sommet de la dune qui va pouvoir être capté avec une certaine efficacité dans la phase d'avalanche-là et on va avoir du couplage latéral entre les tranches c'est-à-dire du sable qui va passer d'une tranche à l'autre. Et uniquement avec ces paramètres-là qui sont sur le graphique on sort des bilans de masses disant si ça se déforme comme ça la masse va partir par là. Le modèle ça se réduit à une équation : ça c'est le modèle mathématique. On a une équation qui décrit complètement l'évolution de notre système
4	C	ça ça été découvert quand/ ce modèle-là il date de quand/
5	L	ce modèle-là date de d'il y a 5 ans ça a été fait par une équipe de japonais à la base et mon directeur de thèse a vu ça lors d'un congrès il a discuté avec la personne qui a fait le modèle ; lui avait une vision un peu différente de comment on peut utiliser le modèle et donc il a lancé une collaboration avec lui et du coup j'ai travaillé aussi sur ce modèle-là. Toute cette partie description du modèle c'est le modèle comme il était
6	C	le modèle-là n'est pas lié au nom de quelqu'un

7	L	 non((hésitation)) là non effectivement (.) donc ce modèle-là moi je l'ai utilisé pour regarder quand une dune rectiligne allait se déformer, comment elle allait se déformer ça c'est plutôt ce poster-là et j'ai fait une partie théorique où en regardant les équations mathématiques ce qu'on pouvait déduire et une partie numérique où à partir de ces équations-là je les rentre dans un solveur numérique qui peut me résoudre l'évolution du système pour différentes conditions initiales. Et je trouve qu'il y a un bon accord entre les deux. En regardant par-dessus la dune, ça c'est ce que j'obtiens. J'ai une dune dont la crête va se déformer et va y-avoir fragmentation
8	C	ça c'est ta thèse
9	L	oui ça c'est ce que j'ai fait. Et donc la suite après c'est que j'ai étudié une dune isolée comme ça : quelle pouvait être sa forme et savoir si elle était stable ou pas. Donc ça c'est ce poster-là ((autre poster))(0 :15 :18.0)

10	L	 Donc ce poster-là je l'ai présenté à une journée des doctorants le premier ((dunes rectilignes)) au mois de janvier et le deuxième quelques mois plus tard à une autre journée des doctorants. ça à une journée de l'école doctorale et ça de l'INSA, sur la modélisation.
11	C	ah y-en a un en français et un en anglais
12	L	oui y-en a un en français et un en anglais parce qu'après j'allais partir à Vienne et je ne savais pas si à Vienne j'allais faire une présentation orale ou un poster à la conférence donc j'avais préparé un poster en anglais que j'aurais pu réutiliser là-bas finalement j'ai fait une présentation orale (.) c'était à préparer à peu près au même moment
13	C	bien
14	L	moi ce que j'aime bien dans ce modèle-là c'est que c'est visuel tous les paramètres sont assez accessibles
15	C	même au grand public
16	L	quand je suis allée à Vienne je l'ai présenté à des géologues des gens qui n'aiment pas manipuler de grandes équations, je le passais rapidement. ça a besoin d'être là parce que c'est là-dessus que je travaille mais c'est pas là-dessus que je centre mon discours
17	C	et donc ce n'est plus discuté ce modèle-là
18	L	ça ça correspond à ça. après y-a d'autres types de modèles qui permettent de regarder l'évolution d'une dune (.) des modèles beaucoup plus compliqués où on calcule tout le déplacement du fluide et tout le déplacement des grains un par un ou par groupe ou en mettant des (.) c'est très compliqué comme systèmes parce que les particules sont très petites(.) y-a des méthodes qui résolvent complètement mais là l'idée de ce modèle-là c'était d'avoir des paramètres plus extérieurs plus macroscopiques et regarder si ça marchait juste avec ça et donc pour certains trucs ça marche bien pour d'autres ça marche moins bien donc on voit les limites du modèle par rapport à ce qu'on voit sur le terrain et par rapport aux autres modèles qui sont plus complexes mais qui demandent aussi beaucoup plus de temps de calcul et qui ne sont pas analytiques comme ça. Là j'ai une équation je peux faire beaucoup de choses avec(0 :17 :52.3)

Annexe 39 - Lucie, Entretien préalable 3/3 (extrait) – Salle de réunion

(27/09/2013) Durée 27 :24

C : A quel moment tu as commencé à voir les granulaires ?

L : Les granulaires j'en n'ai pas entendu parler pendant mes trois ans d'école d'ingénieur. Ensuite, mon master 2 c'était un master sur les systèmes complexes. Y-avait de la mécanique y-avait des fluides y-avait un peu de biomécanique aussi, biophysique et donc moi j'ai commencé les granulaires en spécialisation, à la fin sur mon stage. Y-a un cours de granulaires qui était prévu dans le cursus mais il était pendant mon stage donc du coup j'ai pas pu le suivre vu que c'était à Paris et que j'étais à Rennes et j'ai suivi le cours de granulaires qui est proposé ici aux étudiants de master2 d'ici le master s'appelle Master systèmes complexes

C : et ici y-a pas de granulaires avant le Master 2

L : non les granulaires ça arrive vraiment très tard

qu'est-ce que vous y faites c'est si complexe que ça/

L : faut avoir des bonnes bases en mécanique\ faut aussi connaître un côté d'hydro pour appréhender le fait qu'il y ait les deux\ je pense que c'est pour ça que ça arrive si tard parce que c'est quelque chose d'assez particulier finalement donc y-avait 2 parties\ y-avait une partie cours en salle on a appris l'effet Janssen des choses comme ça et une partie qui était modélisation\ parce que tout de suite les granulaires c'est compliqué si on veut résoudre grain par grain faut tout de suite de la modélisation sinon c'est pas possible

C : et la modélisation

L : La modélisation on avait un système on prenait une boite on mettait des grains dedans et on les faisait s'entrechoquer en fait et on voyait si les grains étaient comme au début s'ils se déplaçaient s'ils allaient sédimenter fallait résoudre les problèmes de contact entre les grains

C : quand tu dis modélisation tu décris quelque chose de physique/ une manip/

L : c'était de la modélisation numérique

C : c'est à dire que ce que tu m'as décrit-là c'était pas réel/

L : on n'avait pas des grains non on avait des fichiers avec une position de points de grains une position de rayons de grains un certain temps et un temps suivant c'est ça la modélisation qu'on faisait\ où est-ce qu'ils sont à un instant où ils vont être à l'autre et et c'est ça qu'on résolvait par de la modélisation numérique\ on faisait un modèle qui faisait que ça allait s'entrechoquer ou les grains vont se rentrer dedans et se séparer donc ils vont arriver à une certaine position on itérait au temps d'après

C : la manip c'est un modèle/ c'est une simulation/

L : c'est une simulation numérique ouais

C : la simulation doit utiliser le modèle

L : oui

C : si c'est numérique c'est que sont rentrés dans l'ordinateur des paramètres qui sont connus qui permettent la simulation et vous vous ne faisiez que changer certains paramètres<1684267> (0 :28 :04.3)

L : on avait certains paramètres on avait un certain état de grains et fallait calculer ce qui se passait à l'étape suivante c'était vraiment de la dynamique en fait après on pouvait changer les paramètres et regarder comment ça évoluait mais le plus gros du

travail c'était vraiment réussir à avoir la dynamique

ça c'était des cours pratiques\ on avait aussi de la théorie où ils nous expliquaient quelles étaient les interactions qu'il y avait entre les grains et après on était devant l'ordinateur à écrire le programme

<C : et par exemple l'expérience de Janssen puisque t'en parlais tout à l'heure on vous l'a présentée comme Alain la présentée l'autre jour/ ou aussi sous une forme avec un modèle mathématique/ comment il l'a exprimée Janssen/ c'est une manip/ c'est quoi/

L : C'est plutôt une approche mécanique donc on écrit un problème on dessine le problème donc je considère que j'ai un cylindre je mets des grains dedans je regarde les forces qui s'exercent dessus je fais un bilan mécanique de forces je regarde comment ça a évolué et du coup j'en déduis qu'il va se passer ça ce qui est en fait cette démarche-là la démarche de Janssen c'est comme ça qu'on l'apprend en fait\ on commence par dessiner le problème on fait des bilans de forces on arrive à établir l'équation et donc le phénomène et ensuite on compare avec l'autre et si c'était de l'eau ça ferait pas ça

C : et vous la voyez l'expérience avant/ ou après/

L : non y-a pas de manip encore on fait travailler notre esprit quoi on n'a pas de visualisation\ la seule visualisation qu'on a eue dans ce cours c'est un diaporama au début les grains y-a ça y-a ça y-a du béton y-a des graviers des choses comme ça mais au niveau du cours c'est que on écrit on écrit on parle et puis voilà

C : et on ne vérifie pas

L : non

C : on vérifie que par les math en fait/

L : voilà<1807787> (0 :30 :07.8)

Annexe 40 - Thao, Entretien préalable – Bureau

(27/09/2013) Extrait

Tdp	Loc	Production verbale et non verbale
1	C	**comment tu vas te préparer pour ces animations/**
2	T	je vais chercher les mots plus simples pour expliquer les enfants sinon on comprend pas
3	C	tu crois que le secret c'est de trouver des mots plus simples
4	T	OUAIS je vais trouver les mots plus simples plus faciles
5	C	tu crois que tout à l'heure ((lors de la présentation de sa manip))tu m'as parlé avec des mots trop compliqués/ quels mots tu choisissais pour m'expliquer/
6	T	dans ma manip/ c'est ça /
7	C	oui/ est-ce que tu m'expliquais avec les mots que tu utilises d'habitude avec tes collègues/
8	T	c'est le phénomène erosion et déposition c'est plus facile/
9	C	c'est simple/
10	T	Ouais
11	C	et après tu communiques avec les chiffres/ les graphiques/
12	T	les graphiques et les figures
13	C	oui les figures et les chiffres
14	T	les chiffres ouais c'est les premiers mots pour moi ((rire))
15	C	((rire)) c'est peut-être ça effectivement qui est difficile pour les enfants\
16	T	OUais

Annexe 41 - Mickaël – Entretien préalable – Bureau, salle de manip et poster

Entretien avec Mickaël (27/09/2013) Durée 16 :37

Tdp	Loc	Production verbale	Episode
1	**C**	**((dans le bureau))l'idée c'est de voir ton environnement y-a deux ordis ça veut dire que vous êtes deux/**	**Dans le bureau,** **Environnement matériel et social** 00 :00 – 00 :50
2	M	oui	
3	**C**	**c'est un autre doctorant/**	
4	M	oui il vient de partir à l'école doctorale pour emmener son dossier de thèse qu'il va soutenir bientôt juste avant moi (..)	
5	**C**	**alors ça ce sont des posters ils sont à toi/**	
6	M	ah non les miens sont de l'autre côté	
7	**C**	**d'accord l'armoire là-bas ce sont des bouquins/**	
8	M	non c'est du matériel pour les non-permanents des consommables, des flûtes du champagne des assiettes pour les pots de thèses	
9	**C**	**super intéressant au niveau scientifique**	
10	M	((rires))	
11	**C**	**et puis à côté attention sol glissant ((lecture d'une affichette collée sur la porte de la salle de manip attenante au bureau.)) ah oui là ça va être chaud ((la salle, plongée dans le noir, va être difficile à filmer))**	**Salle de manip** **Introduction** **Luminosité et nom** 00 :50 – 01 :23
12	M	oui la lumière est faiblarde	
13	**C**	**et c'est fait exprès/**	
14	M	non sinon je peux ouvrir les volets	
15	**C**	**ah non y-a l'ambiance\ et alors ça c'est quoi c'est ta salle/ comment ça s'appelle/**	
16	M	une salle de manip	
17	**C**	**une salle de manip**	
18	M	oui	

19	C	**ok et là ce coup-ci ce sont tes posters/**	**Salle de manip** **Présentation des deux posters** 01 :23 – 03 :32
20	M	oui ces deux-là	
21	C	**et c'est à quelle occasion que tu as fait ça/**	
22	M	ça c'était pour la journée des doctorants de l'école doctorale sciences de la matière de Rennes y-avait 300 doctorants et 200 posters présentés j'ai d'ailleurs eu le prix du meilleur poster avec celui-là	
23	C	**bravo**	
24	M	merci	
25	C	**sur 300 posters/**	
26	M	euh sur 200 y-en avait 200	
27	C	**ben quand même**	
28	M	ben y-avait 3 prix pour les posters j'avais présenté celui-là en janvier 2013 et celui-là c'est un plus vieux février 2012 on avait un workshop aux Houches près de Chamonix y-a un village de CNRS là-bas on a écouté des conférences et présenté aussi des travaux et j'avais présenté un poster un soir voilà\	
29	C	**très bien et ces posters pourquoi ils sont là/ c'est de la nostalgie ou ça sert aussi**	
30	M	souvent par exemple toutes les semaines y-a un séminaire et souvent la personne quand elle est d'un domaine relativement proche on lui fait visiter les manips et c'est plus facile pour montrer les expériences et quand on veut montrer les résultats comme ça on s'approche et c'est plus facile de discuter que d'aller devant l'ordinateur allumer chercher le fichier c'est plus direct c'est pour ça que souvent dans les couloirs de laboratoires y-a beaucoup de posters on peut plus facilement discuter avec les gens	
31	C	**ça a toujours été comme ça**	
32	M	oui tous les laboratoires que j'ai fréquentés j'en connais quatre ils sont tous comme ça	
33	C	**en fait c'est la communication pour des visiteurs**	
34	M	oui	
35	C	**avertis**	
36	M	voilà	

37	**C**	**pas pour moi mais je peux en comprendre le sens quand même**	
38	M	oui	
39	**C**	**très bien et toutes les manip' ce sont les tiennes-là**	**Salle de manip** **L'ancienne manip** 03 :32 – 03 :48 **La manip de Mickaël** 03 :48 – 07 :51
40	M	euh celle-là c'était à mon prédécesseur qui avait fait une thèse sur le même sujet et moi j'ai pris la continuité de la thèse donc j'ai commencé à faire des expériences avec ce dispositif et j'ai été amené à faire évoluer la manip donc on a acheté du matériel et j'ai mis à peu près 10 mois de ma thèse à construire ce nouveau dispositif	
41	**C**	**d'accord tu peux nous raconter à quoi tu travailles/ vu comme ça je dirais comme ça qu'y-a quelque chose qui glisse/ y-a des avalanches dans l'air/**	
42	M	voilà j'étudie les précurseurs d'avalanches (.) donc en fait on a un empilement granulaire à l'horizontale et après on incline très lentement donc ça met à peu près un quart d'heure à faire de l'horizontale à cette position qu'on voit maintenant au bout d'un moment à 25-30 degrés une avalanche de grains se produit donc y-a avalanche ici quand les grains sortent de la boite donc on voit que l'angle de la surface change on voit qu'il y a des grains qui sont partis et avant cette avalanche y-a des signes précurseurs donc on peut voir à la surface des grains qui bougent de manière collective tous en même temps et de façon régulière avec l'angle d'inclinaison	
43	**C**	**ça veut dire**	
44	M	c'est à dire que tous les 1 degré on va avoir des mouvements qui s'amplifient de plus en plus à l'inverse des séismes où y-a des répliques là on a un peu le contraire	
45	**C**	**je ne vois pas le rapport avec les séismes**	
46	M	les séismes c'est la croûte terrestre c'est des milieux granulaires mais à plus grosses échelle et c'est les mêmes genres de signaux qu'on observe en fait	
47	**C**	**ah ouais/**	
48		((interruption))	
49	M	donc en fait les précurseurs on les voit surtout avec la caméra et même à l'œil nu on voit les grains qui font tchutt tchutt tchutt comme si le milieu se tassait et ma thèse a plutôt servi aussi à regarder ce qui se passe dans le milieu avec ces	

		transducteurs-là donc en fait on envoie des ondes sonores qui se propagent dans le milieu et quand les grains bougent à l'intérieur le son se comporte différemment se propage différemment donc j'étudie comment le son se propage pour détecter ces précurseurs mieux comprendre pourquoi y-a des précurseurs déjà ça on le sait pas même encore maintenant à la fin de ma thèse on n'arrive pas à dire pourquoi c'est périodique toujours régulier et ça dépend aussi beaucoup des contacts au niveau microscopique nanoscopique même par exemple si je prends mes grains et que je les lave avec de l'alcool pour enlever toutes les impuretés les graisses qui se déposent partout c'est des billes de verre donc ça attrape facilement les impuretés en fait on change complètement les propriétés des précurseurs y-en aura beaucoup plus alors que c'est un détail vraiment microscopique par exemple l'humidité ambiante aussi ça fait jouer par exemple entre 50 % et 80 % d'humidité on peut changer l'angle de 2 degrés facilement	
50	C	**de toute façon l'angle dépend effectivement du matériau/ du granulaire que que tu utilises je suppose/**	
51	M	oui aussi c'est très sensible aussi aux vibrations du sol c'est pour ça que cette expérience a été construite sur coussins d'air donc voilà y-a des petits coussins d'air en dessous (.) c'est pour améliorer aussi la précision des mesures acoustiques c'est vraiment très sensible	
52	C	**d'accord**	
53	M	donc là j'ai pu faire de bonnes corrélations entre les mesures acoustiques et les mesures optiques relier les deux	
54	C	**et comment tu exprimes ça ? parce que ce qui m'étonne un peu c'est que c'est très clair pour moi donc là tu utilises un vocabulaire tu vulgarises déjà là /**	
55	M	oui	
56	C	**ou est-ce que tu t'exprimes comme ça quand t'as des collègues qui viennent/**	
57	M	non non je vulgarise	
58	C	**ça c'est un des sujets de ma thèse c'est les niveaux de langage parce que quand tu vas t'adresser à tes collègues tu utilises des graphiques/ tout à l'heure Antoine utilisait beaucoup de formules mathématiques toi tu en as peu y-en a une là et c'est tout/**	**Salle de manip** **Description du poster de 2013** 07 :51-11 :11
59	M	oui j'ai très peu de formules	
60	C	**et sinon c'est du visuel c'est du graphique**	
61	M	même ceci c'est facile à exprimer par exemple là c'est l'angle d'inclinaison les petits bâtons c'est	

		la fraction de surface qui va bouger c'est une échelle logarithmique c'est pas une échelle linéaire donc là ici on a 1 % de la surface qui a bougé et à la fin 100 % donc c'est l'avalanche et on voit qu'y-a des grands événements collectifs et qui correspondent aux précurseurs qui sont très périodiques donc par exemple j'ai lavé ces grains avec de l'éthanol de l'alcool à 99 % et on obtient un comportement complètement différent des précurseurs très proches (.) et sinon j'ai pris des grains neufs j'ai ouvert un sac j'ai obtenu les mêmes caractéristiques que es grains que j'avais lavés et j'ai sali mes grains propres avec un peu de farine pour faire un peu de poussière en fait et j'obtiens des précurseurs très espacés comme pour mes grains standards qu'on appelle grains vieux voilà\	
62	**C**	**là t'es encore à un niveau de vulgariqation/**	
63	M	non pas trop en fait	
64	**C**	**et des discussions avec des collègues ça va porter sur quoi sur les techniques de recueil de données sur des choses comme ça/**	
65	M	oui plutôt comment on fait pour toute la chaine d'acquisition	
66	**C**	**d'accord**	
67	M	par exemple qu'est-ce qui se passe si on change tel paramètre sur cette courbe-là par exemple si on change la dimension du système la taille des billes c'est des questions comme ça qui peuvent être posées	
68	**C**	**t'as une idée de pourquoi tu as obtenu un prix par rapport à l'affiche/**	
69	M	déjà c'était un des seuls qui était en format paysage et j'ai ma compagne qui a fait les beaux arts donc elle m'a beaucoup aidé c'est surtout ça en fait c'est très visuel elle a fait des études dans le design donc je l'ai fait avec elle	
70	**C**	**très bien**	
71	M	avec Illustrator un logiciel exprès pour faire des choses très bien	
72	**C**	**toutes les commnications se font en anglais/**	
73	M	alors que ça ((autre poster, celui de 2012)) j'lai fait en code par exemple c'est pour ça que c'est moche ça fait un peu trop entassé on va dire	
74	**C**	**tout est en anglais toujours**	
75	M	là j'étais pas obligé mais c'était un choix comme ça je peux l'exploiter pour autre chose et même des fois y-a des collègues étrangers qui passent c'est un peu plus facile pour eux	
76	**C**	**c'est le tien celui-là ((cahier de laboratoire))/**	**Salle de manip Cahier de**

			laboratoire 11 :11 – 11 :24
77	M	ah non c'était à ma stagiaire	
78	C	**t'avais une stagiaire/**	
79	M	j'en ai eu quatre en tout	
80	C	**et donc là c'est uniquement pour l'acquisition des données en fait ce matériel-là/**	**Salle de manip** **Usages des différents PC (salle de manip et bureau)** **Usage du bureau/salle de manip** 11 :24 – 12 :00
81	M	oui	
82	C	**et les ordis qui sont dans la première pièce c'est le bureau c'est pour écrire/**	
83	M	pour écrire même faire des calculs à partir par exemple mes signaux acoustiques je les enregistre dans l'ordinateur et après je fais des traitements des post-traitements en appliquant des filtres par exemple des choses comme ça et des fois je peux rester bloqué trois jours juste pour faire une opération et	
84	M	sinon j'ai passé au moins deux bonnes années ici dans cette salle donc souvent dans le noir comme ça parce que mon appli ne veut pas que la lumière soit différente à la surface	**Environnement du doctorant** 12 :00 – 12 :15
85	C	**elle est belle cette machine elle a été conçue par toi/ et construite par d'autres/**	**Salle de manip** **Conception et fabrication de la manip** 12 :15 – 13 :34
86	M	avec Alain F. qui m'a aidé on était tous les deux en train de voir les plans	
87	C	**et l'aspect informatique c'est Alain aussi qui s'en occupe/**	
88	M	non non c'est moi je conçois mes programmes ça me permet de traiter ce que je veux ce que je mesure	
89	C	**ça fait partie du boulot de doctorant de chercheur/**	
90	M	oui	

91	**C**	**et lui il fait quoi alors/**	
92	M	lui c'est plutôt la conception mécanique par exemple pour choisir un système pour lever là on a pris un vérin c'est lui qui m'a dit de choisir ça y-avait plusieurs possibilités par exemple là ((ancienne manip)) c'est une vis sans fin qui entraîne tout le bâti donc y-a les inconvénients d'émettre plein de vibrations mécaniques dans tout le bâti donc c'est ça que je voulais éviter	
93	**C**	**donc le reste est très mécanique**	
94	M	c'est lui qui a tout vissé pratiquement à part la boite qui est dessus c'est moi qui aie choisi les dimensions par exemple il m'a proposé de faire un jeu de plaques de tailles différentes comme ça je peux changer toutes les dimensions comme je veux	
95	**C**	**euh t'appelles ça comment/ un objet comme ça/**	**Salle de manip** **Nom de la manip** 13 :34 – 14 :07
96	M	une manip	
97	**C**	**voilà c'est une manip (.)**	
98	M	on pourrait dire un banc de précurseurs d'avalanches	
99	**C**	**mais le terme générique**	
100	M	c'est une manip on peut dire qu'on a plusieurs manips dans une salle	
101	**C**	**et du coup cette manip-là elle ne va pas exister dans un autre labo c'est difficile qu'elle soit reproductible c'est pas du matériel vendu en série c'est entièrement conçu pour la recherche pour cette recherche pour ta recherche**	**Salle de manip** **Originalité de la manip** 14 :07 – 16 :00
102	M	oui c'est assez unique et original en tout cas après y-a d'autres personnes qui ont étudié les précurseurs avec des systèmes un peu différents par exemple pour le système d'inclinaison ils mettent un gros ballon gonflé d'air ils le dégonflent lentement ce qui permet d'incliner	
103	**C**	**et qu'est-ce qui va faire la différence après c'est les captations c'est les méthodes de recueil de données qui vont être différentes d'une manip à l'autre/**	
104	M	déjà les capteurs ça va être complètement différent ceux-là sont faits à la main ça va être 4000 € pièce et y-en a deux je ne pense pas que tout le monde a ça	

		déjà bon la caméra ça va c'est assez répandu c'est une caméra haute résolution elle voit un déplacement de grain d'à peu près un dixième de millimètre c'est la résolution de ce qu'on a c'est déjà pas mal	
105	C	**à cette échelle-là c'est macro/ meso/ c'est pas micro de toute façon encore/**	
106	M	c'est macro (.)) avec l'acoustique on va plutôt voir des trucs à l'échelle micro voire même nano des fois c'est très sensible	
107	C	**tu as autre chose à me montrer/**	**Salle de manip** **Systèmes de régulation de certains paramètres** 16 :00 – 16 :37
108	M	vu que l'humidité et la température sont importantes on a une climatisation on a cet appareil-là qui permet de régler l'humidité on lui dit ce qu'on veut et il souffle il fait tourner un milieu poreux dans une bassine d'eau ça souffle à travers pour augmenter l'humidité	
109	C	**d'accord**	
110	M	au contraire j'ai une machine pour déshumidifier l'air	
111	C	**c'est un des paramètres d'après ce que j'ai compris donc c'est important**	
112	M	ouais il faut souvent surveiller voilà	
113	C	**Merci on va retourner (.)((dans le bureau)) bonjour**	**Départ**

Annexe 42 - Mickaël : Dispositif expérimental pour sa recherche

Image légendée extraite de la thèse de Mickaël (Duranteau, 2013, p. 47)

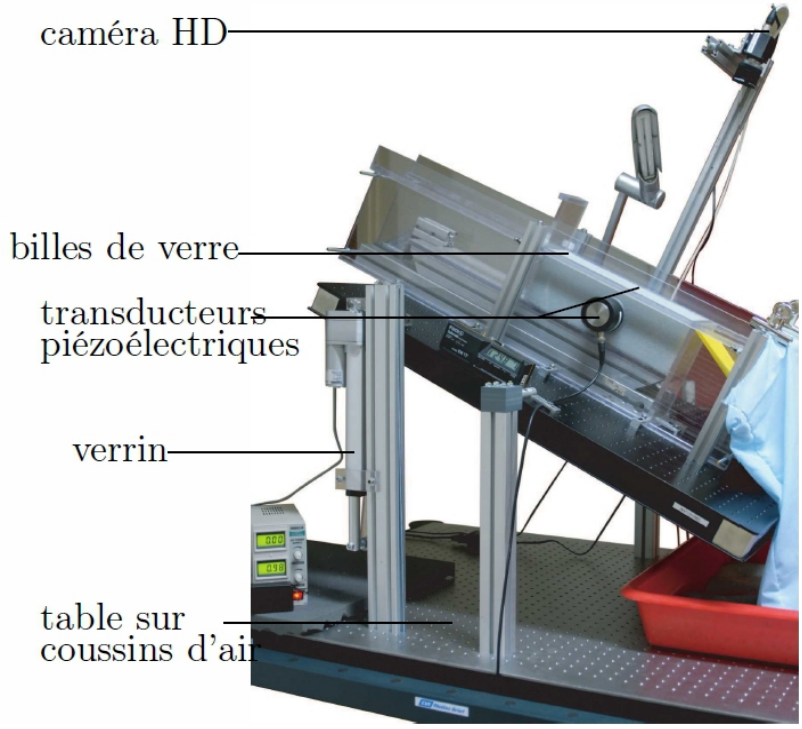


Illustration 155: Dispositif expérimental de Mickaël

« Le dispositif expérimental est placé sur une table sur coussins d'air. Un verrin permet d'incliner un plateau sur lequel est disposé un bac de dimensions variables. » (ibid.)

Annexe 43 - Mickaël – Comparaison du savoir de référence avec le savoir présenté (pendant la visite de la salle de manip)

Savoir de référence Termes spécifiques	Savoir présenté par Mickaël Termes plus génériques
État critique	Avalanche Y-a avalanche ici quand les grains sortent de la boîte donc on voit que l'angle de la surface change on voit qu'il y a des grains qui sont partis
Dynamique granulaire	Mouvements En surface des grains qui bougent
Déstabilisation menant à l'avalanche à partir d'~~une dizaine~~ de degrés avant l'avalanche	avant cette avalanche y-a des signes précurseurs donc on peut voir en surface des grains qui bougent de manière collective tous en même temps et de façon régulière avec l'angle d'inclinaison
Dynamique granulaire à l'approche de	Précurseur de
précurseurs	Précurseurs, signaux
Milieu granulaire tridimensionnel volume	Empilement granulaire (…)dans la boîte
Quasi-statiquement incliné	On incline très lentement
Pseudo périodiquement	De façon régulière des mouvements qui s'amplifient de plus en plus
Réarrangements collectifs réarrangements à la surface ~~et dans le volume~~	Les grains font tchut tchut tchut comme si le milieu se tassait en surface des grains qui bougent
Avec l'angle d'inclinaison	Avec l'angle d'inclinaison (…) c'est à dire tous les 1°
Méthode optique	Avec la caméra
Méthodologie *acoustique* ~~(linéaire et non linéaire)~~ décrite	Avec ces transducteurs-là on envoie des ondes sonores qui se propagent dans le milieu et quand les grains bougent à l'intérieur le son se comporte différemment se propage différemment et j'étudie comment le son se propage pour détecter ces précurseurs mieux comprendre pourquoi y-a des précurseurs
Paramètres	ça dépend aussi beaucoup de
Liste non exhaustive	– contacts au niveau microscopique – humidité ambiante – vibrations du sol
l'état de surface des grains	si je prends mes grains et que je les lave avec de l'alcool pour enlever toutes les impuretés les graisses qui se déposent partout c'est des billes de verre donc ça attrape facilement les impuretés en fait on change complètement les propriétés des précurseurs
la mesure de la variation des paramètres élastiques	
Faire des corrélations	Faire des corrélations (…) relier les deux

Vue_synoptique 25: Comparaison du savoir de référence avec le savoir présenté

Annexe 44 - Communication de l'IPR autour de la visite d'un potentiel partenariat

Rencontre Excelcar – IPR

Publié le 30 novembre 2015

Le 26 Novembre dernier, une délégation de la plateforme de R&D automobile ExcelCar est venue visiter quelques unités de recherche de Rennes 1 dont l'Institut de Physique de Rennes.

Objectif : faire converger le potentiel des laboratoires et de la plateforme, pour définir les technologies embarquées dans les prochaines générations de véhicules .

Illustration 156: Visite des salles de manip et exposés devant les posters (Billet de blog sur le site de l'IPR https://ipr.univ-rennes1.fr/archives/8684)

Annexe 45 - Un enseignant chercheur sur le stand « Milieux divisés » Extraits 1

EC – Le sablier, c'est un ancien appareil de recherche parce que on ne travaille plus là-dessus. Alors après, on en a construits pour la démo car y-en a qu'ont été cassés. Il est conçu pour les démos parce qu'il est protégé. Le matériel de recherche n'est pas garanti antichoc. Là c'est pour pouvoir le transporter sans risquer de l'abîmer.

C – Au départ, il était comme ça pour la recherche ?

EC – Je pense que celui-là ((sablier intermittent)) il était au départ pour la recherche et il a été recyclé. On a simplement fait un habillage extérieur. Mais je sais qu'il y en a plusieurs qui ont été cassés avant qu'on fasse ces trucs-là. Mais je ne peux pas garantir que celui-là ne soit pas un de ceux qui ont été refaits parce que les autres étaient cassés.

C – Et quand vous dites la recherche, c'est une recherche qui date de quand ?

EC – Je pense que c'était dans les années 90 que les recherches ont été faites. Entre 90 et 2000, ils travaillaient là-dessus. Peut-être même entre 95 et 2000, je dirais.

C – Donc là on ne cite pas les personnes qui ont inventé ça ?

EC – Ils ont leur nom dans les publi, oui, mais sinon je ne suis pas sûr que ça intéresserait fondamentalement les gens qui passent de savoir leur nom.

C – On m'a parlé de l'effet Janssen

EC – ça c'est le nom du phénomène, c'est pas le nom de la manip

C – oui, d'où vient la maquette ?

EC – ça, ça été conçu au cours du temps, ça fait très longtemps que l'équipe présente des trucs dans des collèges, dans des lycées, bien avant qu'il n'y ait la fête de la science. Y-a aussi toute une période où y-avait un collège aux Sables d'Olonne qui a monté un musée du sable et donc ils nous faisaient venir tout le temps. On allait plusieurs fois par an faire des démonstrations aux collégiens, et même avant que la fête de la science existe ils faisaient déjà des portes ouvertes du musée du sable, et donc cette manip-là est l'héritière de toute une série de générations de manips de démo. Elle a été conçue pour illustrer ce qu'on pourrait appeler l'effet Jansen, ou les effets de voûte, de manière plus générale, et c'est l'ultime avatar/ au fur et à mesure on fait des trucs qui résistent mieux au transport, qui coûtent pas chers parce qu'il y a des trucs qui cassent donc il faut pouvoir les remplacer facilement. Y-a même des manips qui ont été conçues pour être emmenées dans d'autres pays donc dans ce cas-là il faut pouvoir les transporter en avion, il ne faut pas que ça fasse sonner les détecteurs.

C – Ce matériel, c'est un travail d'équipe ?

EC – y-a un historique, en fait cette manip est héritière de 20 ans de démonstrations scientifiques.

C – Et elle n'a pas existé ailleurs ?

EC – si peut-être parce qu'on fait partie d'un groupement de recherche. Y-a des idées qui circulent. Les gens amènent des fois des manips pour les montrer au cours des conférences soit pour illustrer un exposé scientifique, à partir d'une petite manip, soit, à côté de la manifestation scientifique, ça peut aller jusqu'à, à Cargese, y-a un centre de physique à Cargese, où y-a des écoles, pour chercheurs, pour physiciens. Et des fois, pendant cette période-là, y-a une démonstration qui est faite au village, pour les habitants. Les gens construisent pendant une école, fabriquent, avec les moyens du bord, des manips de démo, et après en revenant dans les labos, chacun après peut la refaire

C – On est sur une science qui est en train de se faire, est-ce que quelqu'un se charge de l'écrire ?

EC – Alors ça je sais ! ça vient de nos activités de recherche ((sablier intermittent)). ça c'est nous aussi ((sablier de ségrégation)) d'ailleurs si on regarde sur le web on peut le trouver celui-là. C'est le sablier de ségrégation. et ça je sais qui l'a fabriqué, ce dispositif-là, c'est notre ancien assistant ingénieur

C – D'accord, mais la conception était antérieure

EC – L'idée et la conception étaient antérieures, mais ça venait de l'équipe aussi.xxx Il avait dû le faire à cause d'une exposition sur les granulaires. xxx

C – et la ségrégation elle-même, le phénomène

EC – le phénomène, je pense qu'il a été observé par les géologues, ça fait sans doute 100 ans ou 200 ans qu'il y a des gens qui savent

C – y-a pas de nom derrière, non plus ?

EC – alors il y a plusieurs formes de ségrégations. Y-a une des formes qu'on appelle le phénomène des noix du Brésil, ça a été observé par des gens qui allaient sur des marchés au Brésil et qui transportaient ce qu'ils allaient vendre dans une remorque attachée derrière leur vélo et c'était secoué pendant le trajet et ils avaient observé que les noix qui étaient grosses arrivaient à la surface. ça c'est le phénomène des noix du Brésil. ça a dû être décrit par je ne sais pas qui mais y-a longtemps. Mais des fois on attribue mais pas tout le temps à la bonne personne.

C – Pour l'effet Janssen, j'ai trouvé des formules mathématiques et des bilans de forces

EC – c'est lui qui a modélisé, mais c'est sans doute pas lui qui a découvert le phénomène

C – effectivement, dans d'autres articles, au moins deux ans avant, Richards, je crois, qui avait déjà émis / il ne l'a pas déposé, il n'a pas fait l'article

EC – y-a des fois les articles existent et les gens ne s'en rendent pas compte parce que y-a un côté sociologique, donc, le nom, souvent, c'est pas celui qui a découvert, c'est celui qui l'a fait connaître, c'est-à-dire, c'est celui qui a eu une audience pour qu'il y ait d'autres personnes qui se penchent sur la question. Xxx Janssen est le premier à avoir posé des équations. Tout le monde est resté avec le nom effet Janssen mais c'est pas lui qui a mis en évidence le truc, et je pense que c'est extrêmement courant en sciences. xxx y-a beaucoup de trucs qu'ont pas le nom de quelqu'un, ce sont des observations qui font partie de la culture quasiment populaire dans certains cas

C – On peut retrouver ces manip ailleurs ?

nous les montages-là, ils n'ont pas une finalité en eux-mêmes, ils sont destinés à être jolis parce qu'ils sont présentés au public, mais l'idée c'est d'expliquer quelque chose à partir du montage donc après s'il existe un montage dans la nature qui satisfait au besoin d'explication, je ne vois pas trop l'intérêt d'en inventer un autre. Si on peut, à partir d'un montage qui n'est pas forcément original mais qui est très explicite et qui sert l'explication, ce truc-là on va pas le réinventer. On va éventuellement l'adapter parce qu'en conditions humides il ne marche pas bien, il faut mettre des joints, ou je ne sais pas, pour le transporter il faut ceci cela

C – Et du coup vous appelez ça un montage, parce que là j'ai tout entendu montage, maquette, modèle, manip

EC – soit manip, soit montage. Manip on utilise ça pour des montages de recherche. Un montage c'est plus générique. ça peut être utilisé aussi bien pour une démonstration que pour de la recherche. Le terme générique pour moi c'est montage.

C – Et dans les labos, ils m'ont tous dit voilà mon expérience

EC – Alors l'expérience pour moi c'est le fait d'utiliser le montage à une fin de compréhension ou d'explication. C'est plutôt une action la notion d'expérience. C'est l'idée qu'on fait quelque chose avec le matériel à visée soit pédagogique pour nous pour comprendre ce qui se passe, ou pour les autres

C - Est-ce que vous les utilisez pour les formations ?

EC – ça peut arriver, c'est-à-dire que quand quelqu'un fait un cours sur les milieux granulaires, un cours d'introduction on va dire, pour des étudiants à l'université, il amène en cours ces manip-là, pour illustrer.

C – Les étudiants, en cours, l'effet Janssen, ils ne l'étudient que sous la forme modélisée ?

EC – nous on essaie, celle-là on l'a, alors tant qu'à faire, tant qu'on l'a à disposition parce que si je reviens à la notion d'expérience, c'est une sorte de question qu'on pose à la nature aussi. De montrer ce qui se passe, c'est aussi une façon de solliciter la curiosité, et puis de voir quelle est la réponse à la question qui est posée. Donc c'est bien pédagogique aussi bien pour les étudiants que pour le public. À partir du moment où on a le montage à disposition ce serait dommage de ne pas le faire, ça nous coûte rien. Faut juste les transporter, mais ils sont faits pour être transportés. Parce que souvent ce qui limite, c'est quand on n'a pas le matériel à disposition. Quand c'est un matériel compliqué. Quand je fais un cours de mécanique des fluides, je fais mes expériences en cours parce que y-en a il faut un sèche-cheveux et une balle de ping-pong, donc ça c'est pas très dur mais pour certaines choses il faut du matériel qui a été bien conçu, sinon ça rate, quoi ((…)) Quand la manip est compliquée, j'aime pas trop parce que ça peut avoir un effet négatif si jamais on fait une manip qui rate. Il faut que la manip soit robuste, qu'elle fonctionne en toute circonstance. Et en fait c'est pas si facile que ça d'épurer un montage au point où il marche presque tout le temps. Xxx La conception de manips de démonstration c'est finalement y-a des contraintes qui sont telles des fois que c'est pas si simple, c'est un art

C – Y-a moyen d'expliquer un certain nombre de choses très simples que les enfants peuvent observer

EC – y-a plein de choses à faire avec peu de matériel : le bac à sable suffit.

Annexe 46 - Un enseignant chercheur sur le stand « Milieu divisé » Extraits 2

EC : à l'intérieur de la physique, c'est pas toujours facile de faire admettre aux collègues physiciens que de faire de la physique avec du sable, c'est faire de la physique. Ils ont du mal, parce que beaucoup de physiciens considèrent qu'il n'y a de physique qu'à partir du moment où il y a des électrons : il n'y a que la matière microscopique et le passage micro macro, mais du vrai micro, des atomes

C : **ça veut dire que même au niveau de la recherche vous avez du mal à exister en tant que physiciens ?**

EC : ça dépend auprès de quelle communauté, mais y-a des gens, au sein de la communauté qui considèrent que ce que eux font, c'est de la vraie physique, et que ce que nous nous faisons ce n'est pas de la vraie physique. Et y-a autre chose, le sable c'est un matériaux naturel. Déjà il faut arriver à comprendre qu'il y a plein de questions qui sont très difficiles à résoudre sur un matériaux aussi courant et banal que celui-là. Ensuite il faut comprendre que ces phénomènes-là ils ont une grande importance, que un géologue il peut se tromper complètement dans l'interprétation de dépôts parce qu'il de connaît pas la physique des milieux granulaires. Donc ils disent, ben ce que vous faites c'est de la géologie. Alors là si on leur explique qu'il y a des implications dans l'industrie, là ils disent qu'on est dans l'ingénierie. C'est pas facile de leur faire comprendre qu'il y a des questions physiques, je dirais même que par rapport à des physiciens que l'on voit dans la plupart de leur activité ou laboratoire, qui, en fait, passent leur temps à faire tourner des logiciels // quand on fait de la mécanique quantique, on utilise, on n'écrit pas soi-même les programmes parce que c'est les communautés, qui ont construit les programmes, chacun a ajouté sa brique mais après on a énorme truc qui est mutualisé et qui tourne à l'échelle d'un pays ou de plusieurs pays. Tout le monde utilise le même logiciel, et, à la limite, personne ne maîtrise vraiment ce qui a dedans. Donc ils font tourner le truc, ils ne travaillent pas sur les lois qui a dedans, elles ont été établies avant. Et c'est ça faire vraiment de la physique. Mais nous on travaille sur un matériaux dont on ne connaît pas vraiment le comportement. Il reste à découvrir. Le travail de modélisation est à faire, alors que eux il est déjà fait. Nos codes de calculs, on les fait complètement car ce sont des choses qui doivent être adaptées à telle ou telle situation, donc y-a pas un code universel que tout le monde doit utiliser. Les bouts d'autres codes, on les ré-écrit en général pour les optimiser. Le problème c'est que dans les codes on est limité dans les codes dans le nombre de grains que l'on peut prendre en compte. Donc il faut que le code soit optimal. Pour simuler une situation donnée, on part d'un autre code, mais on l'optimise. Ce qui fait qu'on connaît bien mieux ce qu'il y a dans le code qu'en physique ((…)) En plus, on teste le code qu'on met en place : si jamais on retire telle force, qu'est-ce qui se passe. Les interactions avec les parois, est-ce qu'on en met, est-ce qu'on n'en met pas ? On change les frottements à tel endroit, en intervenant directement, en sachant ce qu'est un code. Donc finalement on est beaucoup plus près de l'objet, on s'intéresse beaucoup plus à la modélisation de l'objet, que eux ne le font. Eux ne voient pas les objets qu'ils manipulent, ils voient juste des codes qu'ils n'ont pas écrit. Xxx S'intéresser à un objet physique qu'on voit et sur

lequel on peut essayer de mettre des modèles, ce qui est le travail premier de la physique, quand même, ben ça, pour eux, y-a pas d'électrons, c'est pas de la physique.

C : **La différence aussi c'est un problème d'échelle, de temps : vous êtes sur une science qui est en train de se faire, et eux sont héritiers d'une science**

EC : j'ai vu des gens qui disaient mais à quoi ça sert ? ça parait tellement rudimentaire de travailler avec du sable

C : **y-en a qui travaillent avec de l'eau !**

EC : oui mais à la limite la mécanique des fluides c'est quelque chose qui existe depuis longtemps, y-a tout un aspect mathématique parce que c'est bien formalisé que le gros de la difficulté après qu'on a des équations compliquées qu'on ne sait pas très bien comment résoudre en fonction des situations dans lesquelles on est. Mais y-a une reconnaissance, personne ne va dire que les math c'est pas de la science d'une certaine manière, alors que nous, y-a un côté physique sale, dans le sens où on n'a pas vraiment les équations du truc. Donc les modèles ils sont forcément un peu bricolés. Y-a beaucoup de statistiques en plus, parce que ce sont des objets dont la répétabilité n'est pas toujours assurée. Donc ce comportement se reproduit, mais en moyenne. Il faut faire beaucoup d'expériences pour trouver quelque chose qui soit régulier, et Mickaël, je ne sais pas si vous avez vu ses expériences, par nature, c'est des expériences où y-a des fluctuations de ((..)) à l'autre. Mais il n'empêche qu'il est obligé de faire un certain nombre de manips dans des conditions les plus stabilisées possibles, de faire des moyennes, et là il obtient des choses qui sont reproductibles en moyenne. Et déjà c'est un peu plus compliqué que le truc où on tourne un bouton on a le machin, et on tourne le bouton ((…))et on a le même résultat. Ça dépend, il faut faire attention à l'humidité, il faut faire attention à l'état de surface des grains, s'ils sont usés, ça ne donne pas le même résultat. En fait on est plus près de la réalité. (0 :37 :32.3)

Annexe 47 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 3 : Famille d'Yvan et Eric

Durée : 03 :36

Tdp	Loc	Production verbale et gestuelle
1		(0 :00 :00.0) Une famille (hypothèse) arrive devant le stand. La maman circule dans l'allée. Les enfants s'approchent de la table. La maman prend connaissance des posters. (0 :00 :05.9)
2	L	BONjour ((Lucie s'adresse aux enfants qui se sont collés à la table))
3	Y	[bonjour]
4	E	[bonjour](0 :00 :08.1)
5	L	alors qu'est-ce qui vous intrigue sur le sable/ ((la maman rebrousse chemin et observe ses enfants))
6	E	ah c'est sur le SABLE /
7	L	ouais c'est sur le sable/ alors là c'est le sable MOUILLE/ les GRAINS MOUILLES/ et là c'est le sable SEC\(0 :00 :17.0) qu'est-ce qui vous plaît/
8	Y	((Yvan montre du doigt la zone « sable mouillé »))
9	E	le MOUILLE ((Eric, en regardant dans la direction du pot de sable mouvant))
10	L	ÇA/(0 :00 :21.1) ça c'est les sables mouvants en fait\ (.) donc le sable mouvant/ (.) c'est un mélange d'EAU/ (.) de SABLe/ (.) et d'arGILe\ (.) et donc là j'ai deux petits bonshommes/ (.) un qui a la densité du PLOMB un petit bonhomme en plomb/ (.) et un qui a la densité PROCHe de l'humain\ (.) donc si je les mets tous les deux sur le sable/ (..) comme ça/ je les POSE/ (..) LÀ/ (..) ils arrivent/ ils ne bougent PLUS là vous voyez\ par contre/ si je dis que c'est des petits bonshommes/ qui commencent à piétiner\ (.) ça va faire bouger le sable autour\ (.) et si je fais bouger le sable autour/ vous voyez celui-LÀ ((le bonhomme de plomb)) il COULE\ (.) il coule COMplètement\ (.) on ne le voit plus\ si je fais bouger autour de celui-LÀ/ ((celui qui a la densité de l'humain)) (.) il coule auSSI/ (.) on voit qu'il diminue/ qu'il baisse un peu/
11	Y	Beaucoup moins\
12	E	MOINS /
13	L	un peu moins ouais\ (.) et LÀ/ (..) je SEcoue je SEcoue/ [(..) il ne descend plus\]
14	E	[et l'autre il s'enfonce de plus en plus\]
15	L	et l'autre il desCEND\ il desCEND\ il desCEND\(.)(0 :01 :22.9) la conclusion de ça C'EST (.) si on va au Mont St MiCHEL
16	E	((Eric, l'ado prend la baguette pour agiter le sable))
17	L	(.) essaie de le faire descendre/ tu vas voir tu n'y arriveras pas\ (.) si on va au Mont St Michel (.) dans les sables mouvants/
18	P	[t'y as été
19	M	tu t'en souviens/] ((à Yvan))
20	L	[si on marche qu'on piétine un peu/(.) on va s'enfoncer/] mais jusqu'à un certain niveau\

Tdp	Loc	Production verbale et gestuelle
21	Y	((geste pour montrer son frère)) c'est Eric qu'est allé
22	L	on va se retrouver coinCÉS/ mais pas jusqu'au dessus de la tête\ ((mime)) on va PAS disparaître **[dans les sables mouvants\]** (0 :01 :45.4)
23	M	**[ah oui en CE1/]**((en interrogeant du regard Eric))
24	E	**[ben NOUS]** en fait/ c'qu'on s'amusait à FAIRE/ c'est qu'on s'amusait à en avoir jusqu'aux CH'VILLES/ quoi\
25	L	jusqu'aux CH'VILLES/ ça c'est possible ouais\
26	E	et après/ on s'en sortait/ on SORTAIT/ et on r'commençait/ plus loin/ c'était marrant/
27	L	ben ouais/ tu allais un peu plus loin/ parce que plus LOIN/ c'était encore SOLIDE/ jusqu'à temps que tu piétines dessus/ et là tu t'enfonces\
28	E	c'est marrant\
29	L	c'est marrant hein/
30		((rires des parents))
31	Y	((pendant ce temps Yvan agite le sable mouvant autour des bonshommes)) DOUCEment les garçons\
32	P	on t'a dit que tu n'y arriverais PAS Yvan\
33	L	il va BIEN le mélanger c'est bien\(0 :02 :10.6) ((devant le poster)) en fait l'argile qui est [dedans]/
34	M	[écoute]
35	L	c'est des petits FEUILLETS/ qui forment une structure en château de cartes/ et ça fait/ tu sais comme quand tu arrives à un endroit où personne n'a marché/ c'est DUR\ (.) c'est bien ce que tu as remarqué/
36	E	hum\ ((Eric acquiesce))(0 :02 :24.8)
37	L	Et si tu piétines/ tu vas CASser toutes ces structures d'argile/ et tu vas t'enfoncer/ TOI jusqu'aux chevilles/ tu ne vas pas plus loin/ t'es prudent c'est BIEN\ tu t'enfonces comme ça jusqu'aux chevilles/ et donc APRÈS/ tout se casse/ et c'est pour ça que tu t'enfonces\ (0 :02 :40.8) mais tu ne peux PAS t'enfoncer complètement/ parce que la DENSité du sable mouvant/ c'est une densité autour de DEUX/ et la densité de l'HOMME/ c'est autour de UN\ on est principalement fait avec de l'eau/ donc tu vas t'enfoncer JUSQU'À un certain niveau/ et tu vas avoir un Équilibre\ comme une BOUEE qui va flotter dans l'EAU/ mais qui va s'arrêter à un CERTAIN niveau\ ben TOI c'est paREIL/ dans le sable mouvant/ tu ne vas PAS pouvoir t'enfoncer plus\(0 :03 :02.2)
38	L	**[reGARDE/]**
39	M	**[on pouvait PAS]** se débarrasser de vous en fait/ ((en regardant son mari)) **[zut on va être obligé de revoir notre plan hein/] ((rires)))**
40	L	**[ça n'a pas coulé plus**
41	Y	**ouais mais CELUI-LÀ il a coulé/]**
42	L	celui-là il coule COMplètement\ parce que CELUI-LÀ il est beaucoup

Tdp	Loc	Production verbale et gestuelle
		plus DENSE/ du coup LUI il va descendre au DESSOUS du niveau(0 :03 :13.9)
43	M	alors si on vous met du PLOMB autour de la taille/ on peut vous perdre dans les sables mouvants/
44	L	ah ça c'est POSSible\(0 :03 :18.8) (.) et si vous allez au Mont St Michel/ et que vous êtes pris jusqu'à la TAILLE/ par exemple/
45	Y	((Yvan se déplace devant le micro chenal))
46	E	ÇA c'est quoi/
47	L	Ben là vous n'allez pas être noyés PAR les sables mouvants\ mais par contre vous allez avoir la MAREE qui arRIVE\ il faut réussir à sortir assez VITE/ pour pas se faire noyer/ par l'EAU qui reMONTE\
48		((rires Yvan et al))
49	E	et ÇA c'est quoi/ ((Lucie s'approche du chenal))0 :03 :36.0)

Annexe 48 - Tableau synoptique de l'épisode des sables mouvants entre Lucie et la famille d'Yvan

n°	ini	Parties	Durée min : s	Phases
1	EY	Passage, affordances, sélection	00 :03	Introduction, présentation de l'objet du stand
2	E	Arrêt	00 :03	
3	L	Civilités	00 :02	
4	L	Présentation générale du stand	00 :09	
5	E	Choix des garçons entre les 2 zones + dispositif SM	00 :04	
6	L	Modèle analogique	01 :02	Expérimentation sur le modèle analogique des sables mouvants
7	L	Exemple stratégique (SM) : Mt-St-Michel	00 :22	Relation entre un exemple et l'expérimentation : exemple stratégique (potentiellement vécu) et témoignage (vécu d'1 personne)
8	M	Témoignage Eric	00 :25	
9	L	Poster 1 – argile en château de cartes	00 :07	Apports théoriques Relation théorie – témoignage d'Eric
10	L	Relation Poster 1 – témoignage	00 :07	
11	L	Poster 2 – agitation suivie de la liquéfaction	00 :05	
12	L	Relation Poster 2- témoignage	00 :10	
13	L	Poster 3 – poussée d'Archimède et densité	00 :14	
14	L	Exemple stratégique (densité) : bouée	00 :04	
15	L	Relation Poster 3 – témoignage	00 :04	
16	L	Relation Poster 3 – modèle analogique	00 :12	Relation théorie – modèle analogique
17	M	Exemple stratégique(densité) : ceinture de plomb	00 :05	
18	L	Exemple stratégique (danger SM) : Mt-St-Michel	00 :04	Différenciation des rôles des SM et de la marée dans les accidents mortels au Mt St Michel
19	E	Tentative d'échappée vers le chenal	00 :03	
20	L	Exemple stratégique (danger SM vs marée) : Mt-St-Michel	00 :09	
21	E	Échappée vers chenal : changement de jeu	00 :02	
		Total	**03 :36**	

Vue_synoptique 26: Séance de la famille d'Yvan avec Lucie et les sables mouvants

Annexe 49 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 4 : Ben (02:45)

Ben arrive rapidement seul devant le stand. Il ralentit, repère la partie « sable sec » et se dirige vers le bout de la table où se trouvait, la veille les sables mouvants. Il voit le chenal à la place, et se déplace le long de a table. Il voit le pot de sable mouvant, et se place dans la zone « sable humide », dans le champ de vision de Lucie qui est occupée avec des visiteurs du côté « sable sec ». Il attend en la regardant, et en faisant des trous dans le sable mouillé avec son doigt.

Son père apparaît. Il repère Ben et vient le rejoindre.

- Je suis venu ici hier/
- ah ouais/ c'est quoi/
- c'est du sable mouillé\
- ah bon\ allez viens/ on va xxx ((le père s'éloigne du stand))
- attends j'voulais voir un trUc

Ben suit son père en discutant avec lui. Après une dizaine de mètres, Ben fait demi-tour. Son père le suit des yeux et reste au milieu de l'allée, le dos tourné ; il consulte quelque chose

Ben est de retour seul et bougon devant la table du stand Il met son doigt dans le sable mouillé qui est devant lui.

- Regarde\ si tu appuies comme ça/ ça devient tout sec à côté/
- oui mais j'ai vu déjà/ mais COMment on fait pour sortir du sable mouvant/>
- comment on fait pour sortir du sable mouvant/ alors le sable mouvant j't'explique
- Ben se retourne vers son père qui est encore dans l'allée, le dos tourné
- c'est un mélange d'eau d'argile et de sable et l'argile ça fait comme des châteaux de cartes c'est solide<122892> et si tu marches dessus tu les casses\<124613> si tu as marché dessus/ à côté/ tu n'as pas marché\ tu vois/ à côté c'est solide\ donc tu sors ta jambe/ tu la mets à côté où c'est solide/ et là/ tu vas pouvoir sortir\ en fait/ c'est solide/ jusqu'à temps que tu tapes\ quand tu fais vibrer/ comme ça/ tu vas casser/ et du coup c'est ça qui va faire que tu vas t'enfoncer\ et à côté/ si tu n'as pas cassé la structure/ tu peux marcher dessus\ donc faut y aller TOUT doucement\
- Ben s'éloigne doucement et part dans la direction opposée à celle où il a laissé son père5828
- le petit xxx
- Je ne sais pas s'il a compris ((rire))
- ouais mais il veut toucher comme ça ((Thao met son doigt dans le sable))
- oui il veut toucher
- il veut essayer ((Thao montre à Lucie, avec ses deux mains, l'ensemble des dispositifs))
- Ben a rebroussé chemin. Il repasse devant le stand et prend l'allée empruntée avec son père quelques minutes ((01 :30)) plus tôt.

Annexe 50 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 5 : Charlotte et sa grand-mère

Lucie (L) ; Thao (T) ; Grand-mère (Gm) ; Grand-père (Gp) ; Charlotte (Ch) – (02:41)

Tdp	Loc	Production verbale et gestuelle
1	Ch	(0 :00 :00.0)((Arrivée de Charlotte, suivie de sa Grand-mère avec sa petite sœur)) ça j'aime bien ((à sa grand mère)) ça j'aime bien
2	L	tu aimes bien ça/(0 :00 :08.9) ça c'est des sables mouvants en fait\ là j'ai deux petits bonhommes qui sont sur le sable mouvant\ j'en ai un qui est en plomb qui est très très lourd/ très très dense/ et j'en ai un qui a une densité proche de l'homme\ je les pose tous les deux dessus ils ont la même masse\ ils ont le même poids\ je les pose dessus ils tiennent sur le sable mouvant\ ça ça reproduit un sable mouvant/ c'est un mélange d'EAU/ d'arGILe/ et de SAble\ et donc maintenant/ je vais faire comme si ils marchaient sur le sable\ comme s'ils marchaient sur le sable ce qui va se passer c'est que ça va faire vibrer le sable\ si je fais vibrer le sable/ lui il coule t'as vu/(0 :00 :44.6)
3		et c'est lui qui est lourd/
4		lui il est très dense c'est-à-dire qu'il a tout son poids sur un tout petit volume alors que lui il a la densité de l'homme du coup il a son poids qui est le même que l'autre mais sur un plus grand volume(0 :00 :58.6) et donc si je fais vibrer aussi autour / (..)
5		il coule moins vite quand même
6		il coule moins vite oui\ on voit qu'il coule quand même (.)
7		oui un petit peu ouais
8		mais pas jusqu'au bout
9		et on a le temps de s'échapper/
10		ah ça dépend de la grandeur que tu as à faire ma chérie
11		tu vois il va couler un petit peu mais pas complètement/
12		tiens un bâton pour taper
13		ah oui/ c'est mieux en tapant/ ah oui d'accord\
14		ouais c'est plus facile\
15		d'accord donc là il s'enfonçait un petit peu mais maintenant il s'enfonce plus même si je tape encore\(0 :01 :35.2) et en fait ce qui se passe c'est que\ le sable mouvant c'est un mélange d'eau de sable et d'argile(0 :01 :41.1) et l'argile ça se met sous la forme de feuillets
16		ouais
17		des petits feuillets comme ça
18		d'accord
19		du coup quand on arrive à un endroit sur un sable mouvant qui est comme ça qui est resté depuis un moment/ les feuillets d'argile vont prendre une structure comme des châteaux de cartes\ tu vois/ comme des petits châteaux de cartes donc si tu arrives dessus/ ben tu tiens\ (0 :01 :57.3) par contre si tu marches/ si tu piétines/ tu vas casser ces structures-là/ tu vas t'enfoncer\ OK/ (0 :02 :05.6) mais tu vas t'enfoncer pas complètement tu vas pas

Tdp	Loc	Production verbale et gestuelle
		t'enfoncer jusque comme ça»
20		non non
21		(0 :02 :11.0) «parce qu'en fait la densité du sable mouvant est autour de DEUX et la densité de l'homme est autour de UN\ (0 :02 :16.9) du coup ça veut dire
22		on se noie pas dans les sables mouvants/
23		on ne va pas se noyer comme ça juste dans les sables mouvants\
24		ah non/
25		non ça c'est pas possible\(0 :02 :23.7) c'est Indiana Jones qui a inventé ça\ c'est pas physique\ voilà\(0 :02 :27.2)
26		et ça c'est quoi/
27		et par contre si vous allez au Mt St Michel et que vous vous enfoncez jusqu'à un certain niveau
28		oui
29		et que la marée qui remonte/
30	Gp	alors là tu meurs noyée\
31		là vous pouvez vous noyer mais à cause de la marée qui remonte/ mais pas enfoncée dans les sables mouvants\ voilà\
32	Gm	ah d'accord\ OK (0 :02 :40.9)

Annexe 51 - Lucie et les sables mouvants – Présentation 11 : Rody

Episode 15 (1:25:52.5– 1:32:57.6) Durée 00:51 + 04:27 = 05:18

Tdp	Loc	Production verbale	commentaires
	L	(1:25:52.5)((arrivée des ados aux capuches. Ils ont pu entendre une partie de l'exposé de l'épisode 10 sur les sables mouvants)) et par contre si on est enfoncé dans le sable mouvant et qu'on veut s'en sortir à côté en fait de l'endroit où on a piétiné on a cassé les structures mais à côté on les a pas cassées donc si à côté on arrive à s'appuyer en se penchant en tendant le bras en sortant juste un genou et en le posant à un endroit où on n'a pas piétiné sans paniquer parce que si on panique on va casser les structures on peut s'en sortir en prenant appui sur des endroits où XXX voilà voilà mais des sables mouvants au Mont St Michel y-en a pas partout on a vu qu'il faut de l'argile dans le milieu y-en a principalement autour du mont en fait(1 :26 :43.3)	Fin présentation n°10
Dilatance de Reynolds			
1	L	(01 :28 :30.60) ça vous laisse sceptiques	Présentation n°11
2	ado1	et pourquoi ce gros-là il s'enfonce pas comme le petit/	
3	L	en fait ils ont le même poids mais tu vois le poids il est pas réparti de la même façon	
4	adulte1	c'est une question de surface de contact au sol/	
5	L	c'est une question de densité en fait tu vois le poids il est réparti uniquement sur cette partie-là alors que là y-a la même masse répartie sur un volume différent c'est comme si tu prends deux trucs qui ont les mêmes masses mais des volumes différents ben ils ne vont pas s'enfoncer de la même façon là c'est un sable mouvant ça ça a une densité proche de 2 ça veut dire qu'si tu mets quelque chose avec une densité plus faible il va flotter si tu mets par exemple un ballon plein d'air il va flotter sur le dessus quand tu es à la plage et que tu lances ton ballon sur la mer il va rester dessus par contre si tu lances quelque chose qui est beaucoup plus lourd pour le même volume lui il va couler au fond	
6	ado1	d'accord	
7	L	ben là c'est pareil en fait tous les deux ils ont le même poids mais par contre ils n'ont pas le même volume donc celui-là on dit qu'il est plus dense et celui-là on dit qu'il est moins dense et donc celui-là il est plus dense de ce qui y-a dessous et celui-là il est moins dense de ce qui y-a dessous du coup lui il va couler complètement et lui il va rester un petit peu il va flotter un petit peu	
8	ado1	ah ouais/ et c'est un mélange d'argile c'est ça/	

9	L	là c'est du sable mouvant donc c'est un mélange d'eau de sable et d'argile ouais c'est ça	
10	ado1	d'eau de sable et d'argile	
11	L	et en fait l'argile ça se présente sous forme de petits feuillets voilà et donc quand tu as un mélange d'eau de sable et d'argile ça va se présenter sous cette forme-là ((poster))	
12	ado1	d'accord	
13	L	et donc du coup mes deux petits bonhommes je les pose dessus ils ne bougent pas donc c'est quelque chose de solide par contre si je tape ce qui va se passer c'est que je vais casser toute cette structure-là et comme je casse les structures ils vont pouvoir s'enfoncer	
14	ado1	donc si on se débat c'est ça qui se passe	
15	L	si on se débat c'est ça qui se passe on va casser les structures d'argile et du coup on va couler tu vois lui	
16	ado2	[il s'enfonce]	
17	L	[il descend très vite] il s'enfonce c'est ça (.) lui il s'enfonce mais un peu moins	
18	adulte2	faut rien faire finalement	
19	L	faut rien faire c'est ça faut pas paniquer si on passe sur un sable mouvant et qu'on ne piétine pas sur place on ne va pas s'enfoncer mais si on commence à se débattre ah ah je suis sur un sable mouvant ben là on va casser les structures on va pouvoir s'enfoncer et du coup on va arriver à une situation comme ça où on s'enfonce mais vu que ils n'ont pas la même densité y-en a un qui (.) la densité du sable mouvant c'est autour de 2 si on a une densité plus faible on va flotter c'est ce qui se passe lui il va s'enfoncer mais pas complètement mais si on a une densité beaucoup plus forte comme ce petit personnage en plomb on va c'il va couler complètement dans un sable mouvant nous on va flotter on va s'enfoncer juste un petit peu	
20	ado1	et pourquoi dès que j'essaie de tirer pour l'enlever il reste collé/	
21	L	pourquoi il reste collé/ c'est parce qu'il préfère rester dedans parce que si tu veux le tirer il faut faire rentrer de l'air dessous ou de l'eau dessous et les grains ils aiment bien rester attachés les uns aux autres ça crée des chaines de forces tu pourras aller voir à côté après	
22	ado1	et comment on va l'enlever/	
23	L	du coup si tu vas tout doucement t'arrives à enlever ta jambe et ensuite pour sortir du sable mouvant tu t'appuies à un endroit où y-a pas eu de vibrations où la structure est encore bien faite et tu	

		t'appuies dessus et là ça va tenir et tu vas pouvoir sortir de ton sable mouvant	
24	ado1	d'accord donc là si j'y vais tout doucement normalement ça devrait y aller	
25	L	voilà tu y vas tout doucement	
26	ado1	ah ouais	
27	L	et normalement tu devrais pouvoir le poser à côté(.) là il est attaché mais (.) si je le pose à côté il tient	
28	ado1	ah oui ah il a fait un trou	
29	L	il a fait un gros trou	
30	ado1	et lui	
31	L	lui c'est la même chose	
32	ado1	ah ouais	

Annexe 52 - 19Mickaël – Sables mouvants – Scolaires : CP 2B (groupe de Ben)

Tdp	Loc	Production verbale ((et non verbale))
1	M	(2 :15 :48.6)alors ici on a essayé de faire comme un sable mouvant/ vous savez ce que c'est un sable mouvant/
2	E	oui oui/ en fait on s'enfonce dedans et après [on peut plus bouger\]
3	E	[comme de la fausse boue\]
4	M	oui c'est à peu près ça\ en fait un sable mouvant c'est constitué d'eau avec du sable et un peu d'argile\
5	E	l'argile on peut fabriquer XXX avec\
6	M	ici on a deux petites figurines\ alors ici ça représente un humain qui a la même densité que l'eau/ car le corps humain est constitué de beaucoup d'eau/ et à côté/ on a quelque chose de beaucoup plus lourd/ en plomb qui est assez dense/ et on va voir/ en fait ((il tape)) comme c'est assez dense/ ça s'enfonce facilement\ et là on peut imaginer que la personne se débat/ (.) et on voit que celui qui est plus dense s'enfonce assez vite/ alors que celui qui est comme l'eau comme le corps humain/ ne s'enfonce pratiquement pas\ (.) ce qui montre en réalité qu'on ne peut pas s'enfoncer dans les sables mouvants/ sauf si on s'agite/ si on panique/ alors là forcément on va s'enfoncer\ par exemple on peut imaginer si lui il panique il va s'enfoncer à force(..) (2 :17 :21.9)en fait c'est juste parce que dans le corps humain/ on a beaucoup d'eau\ donc normalement c'est impossible de s'enfoncer jusqu'à la tête/ comme on peut voir dans certains films\ (.)
7	E	ça n'existe pas/
8	E	c'est dans les dessins animés
9	M	hein/
10	E	ça s'arrête jusqu'au cou\
11	M	xxx(2 :17 :47.3) en fait/ les gens qui sont morts/ à cause du sable mouvant au Mont St Michel/ par exemple/ c'est parce qu'ils sont restés coincés/ et que la marée est remontée/ et donc l'eau est passée par dessus eux/ et voilà\ ((mouvement d'impuissance des bras))(..) en aucun cas ils se sont enfoncés complètement jusqu'à la tête\ juste qu'ils se sont agités/ et ils restent coincés\ (..) on va recommencer/ vous voulez taper sur [le xxx]/
12	Ben	[ouais moi] j'veux bien/
13	M	tu peux lâcher/ ((à la demoiselle(LD)qui a extrait la figurine de plomb du sable mouvant mais qui tient toujours le filin))
14	Ben	((Ben tape sur le pot pour agiter le sable mouvant))ouahou super/
15	E	ouais tu l'enfonces\ (..)
16	M	vous avez vu/ il s'enfonce très bien/ très facilement/ mais l'autre/ pas du tout\ (..) ((LD tire sur le filin et extrait la figurine de plomb du sable mouvant ; et Ben manipule le filin de la figurine à la densité humaine, comme pour tester la résistance du matériau qui l'emprisonne, sans l'extraire du sable mouvant)) on va passer de l'autre côté de la table\ ((des élèves continuent de manipuler le sable mouvant))/(2 :19 :21.2)

Annexe 53 - Mickaël et Antoine – entretien rétrospectif (1/2) le 14 février 2014

Tdp	Loc	Production verbale
1	C	(0 :24 :07.2)les fameuses visites de labo j'ai été étonnée c'est pratiquement une routine non/ vous recevez des visiteurs/
2	M	oui souvent c'est des gens qui viennent faire des séminaires
3	A	comme y-avait aujourd'hui
4	M	ce matin y-avait un séminaire et beaucoup de gens de l'équipe le rencontre et lui présente sa manip et lui n'est pas forcément spécialiste de tout et du coup il va s'intéresser quand même à des choses différentes et là faut présenter d'une certaine manière
5	C	c'est quoi d'une certaine manière/ c'est codé ou c'est pas codé/ y-a des habitudes/ vous êtes drivés là-dessus/ on vous donne des indications ou pas/
6	M	non pas trop des fois y-a quelqu'un qui débarque vas-y présente ta manip
7	C	t'as des habitudes pour en parler/
8	M	à force oui
9	C	est-ce que tu peux en parler/ qu'est-ce que tu fais quand tu as une visite de labo/ même à l'improviste
10	M	déjà j'emmène la personne le plus près possible de l'expérience je lui fais toucher les billes de verre avec lesquelles je travaille ben voilà on travaille avec ça la finalité c'est de comprendre pourquoi y-a des avalanches peut-on les prédire et après j'explique le mouvement de l'expérience comment ça se passe et après j'arrive à savoir à peu près quel est le niveau de la personne par rapport au domaine donc par exemple si c'est un acousticien ça ira beaucoup mieux dans le discours si il ne connaît pas l'acoustique je peux lui expliquer voilà y-a une onde qui se propage y-a des grains qui bougent à la réception ça va donner quelque chose de différent au niveau du signal j'ai le poster à côté qui me sert beaucoup à montrer les courbes voilà (.) la toute première fois c'est mon directeur de thèse qui avait fait la démonstration la visite et après à chaque fois il m'a laissé la faire en fait
11	C	et toi tu fais comme ça aussi
12	A	ouais mais pour rebondir sur ta premère question au début on est un peu désesparés en fait la première fois qu'on doit présenter on sait pas trop par où commencer et du coup ben voilà j'fais ça et moi ça m'est arrivé ben soit la personne en face dit enfin pose les questions nécessaires pour que je présente un peu dans un ordre plus logique ou soit mon directeur était derrière et il m'a dit en explique d'abord ça il va m'aider à trouver un bon angle d'attaque pour la personne
13	M	c'est pas évident la première fois tu oublies des choses fondamentales pour toi c'est évident mais pas pour la personne qui est en face de toi
14	A	surtout quand la manip n'est pas vraiment simple
15	C	des fois c'est pas visuel

16	M	moi c'est visuel mais c'est pas forcément simple à expliquer la méthode de visualisation n'est pas connue donc s'il faut que j'explique et la méthode de visualisation et la manip et la mécanique qu'y-a derrière
17	C	et le système d'acquisitions de données aussi on n'en a pas parlé chez toi ((Mickaël)) mais je suppose qu'il y a des gens qui sont intéressés pour savoir comment tu t'y prends alors je ne sais pas si le matériel est particulier si tes transducteurs tu m'as dit qu'ils étaient particuliers mais après dans les programmes tu passes peut-être aussi du temps à expliquer ça à des gens qui sont compétents
18	M	oui mais après y-a très peu de questions sur ces problèmes plutôt techniques du post traitement
19	C	y-a pas de question/
20	M	pas vraiment non
21	C	c'est assez étonnant y-a beaucoup de temps qui est consacré au post traitement à faire tous tes programmes qui vont te permettre de faire
22	M	en général la partie post traitement prend beaucoup plus de temps que la partie expérience
23	A	et c'est vrai qu'y-a jamais de questions là-dessus en fait c'est assez évident
24	M	évident que tout le monde doit faire son XX et que c'est un peu pénible mais quand il est bien fait on visualise bien les données mais ça c'est la partie dont on ne parle pas trop c'est juste assez pénible à faire mais ce qui intéresse c'est le résultat on va pas s'embêter avec tous les détails
25	C	mais si quelqu'un avait envie de reproduire il faut bien qu'il connaisse la méthodologie/l'autre jour tu m'as montré ImageJ et t'as fait ton code t'as fait une programmation pour l'utiliser
26	A	un petit peu sous ImageJ mais la plupart sous matlab c'est un autre logiciel en fait j'ai eu le code de la précédente doctorante qu'était avec mes directeurs avant et là je l'ai adapté pour mes manips et j'avais une base de code quoi mais des fois on n'en a pas et c'est à nous de tout faire
27	C	tu me disais que peut-être ce ne serait pas toi qui aurais les résulats parce que tu vas partir
28	A	ah oui oui la personne après mes codes seront faits c'est très important pour celui qui va manipé mais pour celui qui veut comprendre la manip ou voir les résultats c'est la partie la moins intéressante même s'il veut la reproduire il sait bien qu'il faut un code et on peut avoir différentes façons de traiter un signal ou une image en général on récupère toujours le code de l'ancien qui a travaillé dessus avant c'est jamais transmis on te le donne quand tu l'ouvres c'est plein d'équations on comprend rien tu fais start et tu vois que ça marche tu te poses pas trop de questions au début mais après tu veux modifier dedans et là tu dis oh là là c'est dur c'était comme ça au début de ma thèse et c'est comme ça au début de mon post doc en ce moment c'est un peu agaçant y-a pas de transmission du savoir pour ce post traitement là

29	C	y-a quand même une transmission du code parce que dans d'autres cas d'après ce que j'ai compris les chercheurs reçoivent la machine toute faite qui est opaque quoi là c'est open source si je veux aller vite si t'as envie de le modifier tu peux le modifier vous vous savez comment ça marche tandis que dans certains cas ils reçoivent des trucs c'est une boite noire ils ne savent pas comment ça marche vous vous savez de A à Z
30	A	oui oui c'est l'avantage même si on doit le changer s'il est bien commenté parce que quand on fait le code faut essayer de bien le commenter pour celui d'après pour celui qui aura besoin de ce code
31	C	ça rentre dans la cahier de laboratoire ça/
32	A	pour moi non
33	C	y-a que la manip/
34	A	y-a que les paramètres de l'expérience et les résultats de la manip peut-être au début les réglages mais en fait les codes restent sur ordi (0 :32 :54.4)

Annexe 54 - Mickaël et Antoine – Entretien retrospectif -2/2 : titre de la thèse

À l'IPR avec Mickaël (M) et Antoine (A)

Tdp	Loc	Production verbale et gestuelle
1	C	**je vais t'interroger sur le titre de ta thèse, c'est quoi le titre de ta thèse/**
2	M	la dynamique des granulaires à l'approche de l'état critique
3	C	**est-ce que la traduction pour moi ce serait les précurseurs d'avalanche**
4	M	oui
5	C	**pourquoi ce titre plutôt que les précurseurs d'avalanche**
6	M	c'était surtout le choix de mes directeurs de thèse pour que ce soit le plus général possible moi j'aurais mis «précurseurs d'avalanche méthode acoustique» par exemple mais si je mettais juste ces mots-clés ça restreignait trop le public potentiel des scientifiques qui pourraient s'intéresser à ce travail
7	C	**pourquoi/**
8	M	ça a une portée un peu plus grande c'est pas forcément que pour les acousticiens qui travaillent avec des grains c'est aussi pour (.)
9	C	**et précurseurs et avalanche ça fait partie du langage de qui/**
10	M	plutôt des géophysiciens et l'état critique ça fait plutôt appel aux physiciens c'est beaucoup plus large c'est pour ça qu'ils ont préféré garder ce titre-là qu'on m'avait donné de toute façon avant que je commence ma thèse c'est le titre officiel c'est vrai que c'est un titre concis, mais on m'a fait plein de reproches
11	A	moi j'ai été le premier à trouver ça bizarre tu ne parles même pas (.)attends c'est quoi/ dynamique granulaire/ je me disais mais il dit même pas que c'est avec de l'acoustique et c'est quelle dynamique/ on sait pas si c'est des précurseurs/ on ne sait même pas qu'il fait de l'acoustique dans sa thèse alors que c'est un acousticien mais je comprends très bien le raisonnement de tes directeurs qui voulaient vraiment élargir le public au maximum mais pour moi c'est bien de dire tout ce que tu fais
12	C	**y-a des mots-clés derrière quand même/**
13	M	c'est ce qu'on m'a dit c'est surtout les mots clés qui sont importants pour les référencements après dans les mots clés y-a avalanche et précurseur et acoustique (.) aussi expérimental ce n'est pas de la simulation\ parce que avec le titre de la thèse tu ne sais pas trop si c'est de la simulation ou si c'est expérimental
14	A	ou même théorique
15	M	oui
16	A	ça peut être de la théorie pure sans simulation ni expérience