



HAL
open science

Problématisation & apprentissage en sciences de la vie et de la terre [Rapport final du Groupe de formation-action (2005-2007)]

Yann Lhoste

► **To cite this version:**

Yann Lhoste. Problématisation & apprentissage en sciences de la vie et de la terre [Rapport final du Groupe de formation-action (2005-2007)]. [Rapport de recherche] IUFM Caen-Basse-Normandie : Rectorat de Caen. 2008. hal-01198460

HAL Id: hal-01198460

<https://hal.science/hal-01198460>

Submitted on 13 Sep 2015

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



Université de Caen
Basse-Normandie



Groupe de formation action (2005-2007)

Problématisation & apprentissage *en sciences de la vie et de la Terre*

Rapport final - Décembre 2008

Sous la direction de Yann Lhoste

IUFM Basse-Normandie – Académie de Caen

Membres du GFA (2005-2007)

Beorchia Françoise, maître de conférence, IUFM, CRESE, université de Caen-Basse-Normandie ; francoise.beorchia@caen.iufm.fr

Buisson Ginette, professeure de SVT, Professeure de SVT, Collège Henri-Sellier, Colombelles ; buissonginou@voila.fr

Cadet Aurélie, professeure de SVT, collège Anne-Frank, Vassy ; lilie.cadet@laposte.net

Canu Jean-Philippe, professeur de SVT, collège Charles-Lemaître, Aunay sur Odon ; jpcanu@hotmail.com

Decussy Claire, professeure de SVT, collège des Douits, Falaise; Decussy.mel@free.fr

Faure Sandrine, professeure de SVT, Collège André-Maurois, Deauville ; sandfaure@yahoo.com

Fouetillou Jean-Marie, professeur de SVT, Collège Villey-Desmeserets, Caen ; Jean-Marie.Fouetillou@ac-caen.fr

Fradot Valérie, professeure de SVT, collège Marcel Gambier, Lisieux ; val.demoulin@orange.fr

Gobert Julie, professeure de SVT, collège et lycée expérimental, Hérouville-Saint-Clair ; Julie.Dif@ac-caen.fr

Henneteau Renée, professeure de SVT, collège de la Vanlée, Bréhal ; renee.henneteau@orange.fr

Le Jossic Annaïg, professeure de SVT, Lycée Littré, Avranches ; IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; annaig.lejossic@caen.iufm.fr

Lhoste Yann, piufm, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; INRP ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Marguerie Gaëlle, professeure de français, collège Le-Hague-Dike, Beaumont Hague (50) ; gaelle.marguerie@wanadoo.fr

Maunoury Aurélie, professeure de SVT, collège Léopold-Senghor, Ifs ; aurelie.maunoury@wanadoo.fr

Pogam Anna, professeure de SVT, lycée Dumont-d'Urville, Caen ; Anna.Pogam@ac-caen.fr

Roland Armelle, professeure de SVT, Collège Jean-Castel, Argences ; armelle.roland@wanadoo.fr

Tanqueray Caroline, professeure de SVT, collège Jean-Moulin, Caen ; tanqueraycaro@orange.fr

Sommaire

Membres du GFA	p. 3
Sommaire	p. 5
Présentation des objectifs du GFA	p. 7
Problématisation & Apprentissage en SVT	
L'analyse épistémologique de l'activité scientifique pour comprendre ce qui se joue dans le cours de SVT	p. 9
	Yann Lhoste
Première partie : la génétique au collège et au lycée	p. 13
Modélisation de la transmission de l'information génétique en classe de 3 ^e : pour quels apprentissages ?	p. 15
	Yann Lhoste & Armelle Roland
Apprentissage du concept de mitose par des élèves de 3 ^e et de 1 ^{re} S : impact d'un dispositif de formation continue d'enseignants sur les apprentissages des élèves	p. 33
	Yann Lhoste, Annaïg Le Jossic, Maunoury Aurélie & Armelle Roland
La transmission de l'information génétique en classe de première S : apprentissage et problématisation	p. 51
	Annaïg Le Jossic
Apprentissage et problématisation d'élèves de classe de 3 ^e et de terminale S sur le thème de la méiose et de la fécondation	p. 73
	Ginette Buisson, Claire Decussy, Anna Pogam & Yann Lhoste
Deuxième partie : le concept de fécondation à l'école et au collège	p. 107
Problématisation et argumentation en SVT : un débat scientifique sur la fécondation en 4 ^e	p. 109
	Sabrina Desrues & Yann Lhoste
Apprentissage du concept de fécondation en classe de quatrième : problèmes construits par les élèves	p. 133
	Aurélie Cadet, Caroline Tanqueray & Yann Lhoste
La procréation : quelles problématisations du CP au collège ?	p. 165
	Françoise Beorchia & Yann Lhoste
Troisième partie : le concept d'évolution et d'ancêtre commun au collège et au lycée	p. 189
L'ancêtre hypothétique commun : une analyse épistémologique	p. 191
	Yann Lhoste
Un dispositif d'enseignement-apprentissage pour construire le concept d'ancêtre hypothétique commun	p. 199
	Sandrine Faure, Jean-Philippe Canu, Armelle Roland & Yann Lhoste
La construction du concept d'ancêtre commun par des élèves de 4 ^e : corpus de données	p. 205
	Sandrine Faure
Comment des étudiants préparant le CRPE construisent le concept d'ancêtre commun	p. 215
	Yann Lhoste
Quelle problématisation sur le thème de l'évolution en classe de première ES ? Dynamique et obstacles	p. 227
	Yann Lhoste & Julie Gobert

Quatrième partie : l'immunologie au collège	p. 275
L'immunologie au collège : une analyse du savoir en jeu dans une perspective épistémologique et curriculaire Yann Lhoste, Jean-Marie Fouetillou, Pascale Henneteau & Valérie Fradot	p. 277
Une évaluation diagnostique sur le thème de l'immunologie dans plusieurs classes de 3 ^e : explications spontanées des élèves Jean-Marie Fouetillou	p. 281
Problèmes construits par des élèves de 3 ^e au cours d'un débat scientifique sur l'immunologie en classe de 3 ^e : premières tentatives d'analyse Pascale Henneteau & Yann Lhoste	p. 285
Cinquième partie : l'autotrophie en classe de 2^{de}	p. 301
Débat scientifique et problématisation en classe de seconde sur le thème de la nutrition des végétaux. Quelle problématisation ? Quels obstacles ? Marie Ehanno & Yann Lhoste	p. 303
Sixième partie : Journées d'étude - « Les apprentissages en SVT de l'école au lycée : Apports des recherches en didactique des SVT » - IUFM de Basse-Normandie, 5 et 6 juin 2007	p. 337
Présentation et compte-rendu Yann Lhoste	p. 339
Apprendre la physiologie nerveuse (à l'école primaire, au collège et plus tard...) Françoise Beorchia	p. 343
La régulation : un concept transversal Patricia Schneeberger	p. 357

Présentation des objectifs du GFA

Les objectifs des Groupe de formatio-action à l'IUFM de Basse-Normandie :

Les GFA assurent « la formation de leurs participants par l'action, c'est-à-dire principalement la création de dispositifs et d'outils d'enseignement, expérimentés dans les classes, et dont le fonctionnement est ensuite analysé à des fins de validation des contenus et des scénarios pédagogiques proposés » (La Lettre de la Recherche, n°1)

Les travaux récents concernant l'apprentissage des SVT montrent l'importance de la problématisation dans la construction des concepts scientifiques (Orange, 2000, 2002). Les activités langagières des élèves, en particulier leurs argumentations, jouent un rôle privilégié dans le processus de problématisation.

Il s'agira au cours de ce GFA :

d'étudier la place et le rôle de la problématisation dans la construction et l'apprentissage des concepts scientifiques et à différents moments de la démarche de l'enseignant ;

d'explorer comment ce processus peut être décrit par rapport aux différents objets d'étude au programme des collèges et lycées ;

de concevoir des outils d'analyse et de conception pour les enseignants et les formateurs.

Problématisation & Apprentissage en SVT

L'analyse épistémologique de l'activité scientifique pour comprendre ce qui se joue dans le cours de SVT

Yann Lhoste, piufm, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie

1. Une approche empiriste versus une approche rationaliste de l'activité scientifique

La représentation la plus fréquente, aussi bien chez les étudiants en sciences expérimentale que chez les enseignants¹, des SVT est qu'elles

correspondent à une somme de connaissances qui pourrait s'acquérir par l'expérience et l'observation. Cette conception empiriste de l'activité scientifique se retrouve actuellement dans les Instructions Officielles de l'enseignement des Sciences à l'école. Cette forte prégnance de l'empirisme conduit à une forte survalorisation de l'expérimentation et de l'observation.

On peut expliquer son origine à partir d'une interprétation de certains comptes-rendus d'expériences de Claude Bernard². Il s'agit d'accéder à un savoir scientifique pré-existant et référé au vrai, grâce à la mise en œuvre d'une démarche précise de type OHERIC (Observation → Hypothèses → Expérience → Résultats → Interprétation → Conclusion). De plus l'enseignement universitaire privilégie ce mode de transmission du savoir scientifique (qui est effectivement le plus efficace en terme de quantité d'informations transmises par unité de temps). Une étude de Mirko Gmerk³, à partir des carnets de laboratoire de Claude Bernard, a montré que ses écrits ne reflètent pas la démarche utilisée mais correspondent à une réorganisation a posteriori de ses travaux en vue d'une communication aisée.

¹ Coquidé M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n° 26, p. 122.

² Bernard C. (1952). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Flammarion, p. 212-213.

³ Grmek M. (1991). *Claude Bernard et la méthode expérimentale*. Paris : Payot.

Cette déconstruction de la vision linéaire de l'activité scientifique faite par Grmek ou par François Jacob⁴ s'inscrit dans la suite des travaux des épistémologues et philosophes des sciences contemporains comme Gaston Bachelard ou Karl Popper.

Gaston Bachelard⁵ propose que les savoirs scientifiques se construisent en rupture à un savoir préalable ou une opinion commune. Cette rupture est pensée par Bachelard, non comme un état mais comme un processus et plus exactement un processus de rectification⁶. Dans ce processus certaines connaissances déjà là peuvent empêcher l'avancée de la pensée. Ces connaissances, il les qualifie d'obstacles épistémologiques⁷. Le travail du scientifique consiste donc à « y voir clair, et se regarder penser pour dépasser l'obstacle ». L'activité scientifique est donc fondamentalement une activité intellectuelle, le volet expérimental n'étant affaire que « d'habileté expérimentale » (*ibid.*). La tradition rationaliste dans laquelle s'inscrit Bachelard rétablit la symétrie entre observation/expérience et le travail d'élaboration théorique. Cette symétrie est souvent mise à mal dans les classes, où traditionnellement, on commence à faire des sciences quand on sort du matériel ou du concret, reléguant le travail intellectuel en début et en fin de cours.

Pour illustrer simplement cette opposition entre la vision rationaliste et empiriste de l'activité scientifique, on peut considérer l'assertion suivante : « l'eau boue à 100°C » peut permettre :

- une approche empiriste peut nous amener à dire que cette assertion n'est pas scientifique et que l'activité scientifique consiste à déterminer toutes les conditions qui fondent cette affirmation (pour une eau de quelle composition ?, pour quelle condition de pression ? etc.).
- une approche rationaliste qui propose que le problème posé par cette assertion n'est pas dans la détermination des conditions où cette affirmation est « vrai ». Quand on dit « l'eau boue à 100°C », qu'est-ce que l'on veut expliquer avec cela, qu'est-ce que cela veut dire ? Ce qu'il y a à expliquer, c'est la nécessité que l'eau boue à 100°C, même si on augmente la température sous la casserole. Cette nécessité dépasse la pensée commune, et c'est bien cette rupture avec le sens commun qui caractérise l'activité scientifique (« *L'opinion a nécessairement tort* » (*ibid.*)).

2. L'approche rationaliste pose la question de la vérité en sciences d'une nouvelle façon

L'approche empiriste tient la recherche de vérité comme but ultime de la science. L'observation et

l'expérimentation sont les moyens qui permettraient d'accéder à cette vérité préexistante.

Depuis 1950, Karl Popper a permis de repenser le problème de la vérité en Sciences et du rapport à l'expérience. Il a montré qu'une expérience ou une observation ne pourra jamais prouver une théorie ou un modèle scientifique. On peut seulement montrer la compatibilité

⁴ Pour qui la recherche scientifique ne peut pas commencer par l'observation, voir F. Jacob. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.

⁵ Bachelard G. (1972). *Le matérialisme rationnel*. Paris : PUF, p. 207-213.

⁶ Bachelard G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF, p. 112.

⁷ Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, p.13.

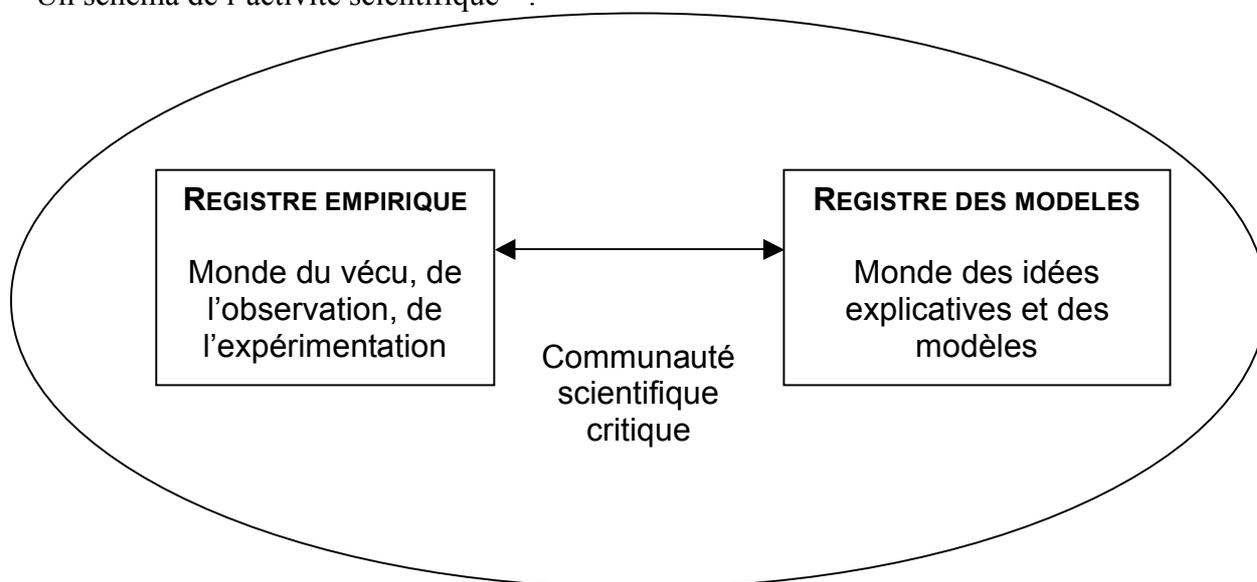
entre la théorie/modèle et les résultats expérimentaux. Ainsi une théorie sera admise tant qu'elle résiste aux observations ou à une expérience. Popper fait de ce critère de réfutabilité une des conditions de la scientificité : « *c'est la falsifiabilité et non la vérification d'un système, qu'il faut prendre comme critère de démarcation* »⁸. La réfutation est une condition nécessaire de scientificité, mais ce n'est pas une condition suffisante.

3. L'activité scientifique comme production d'explication

Bachelard, Popper et Toulmin, on peut dire que l'activité scientifique est mue par l'intention qui est de fournir des explications qui sont en rupture avec l'opinion commune. Même si la notion d'explication n'est pas clairement référencée d'un point de vue épistémologique, on peut poser, à la suite des travaux menés par Jean Louis Martinand & Christian Orange⁹ qu'il existe une proximité forte entre explication et modélisation pour les SVT.

Si l'on cherche à comprendre la façon dont l'opinion commune se construit, elle articule des résultats d'observation et d'expériences quotidiennes (chaque jour, il y a une alternance jour/nuit) avec des idées explicatives (la Terre tourne autour du soleil ou le soleil tourne autour de la Terre). L'activité scientifique consiste à retravailler ces premières articulations pour pouvoir les dépasser et arriver à une articulation plus raisonnée de ce que Martinand appelle le registre empirique (monde du vécu, de l'observation, de l'expérimentation) avec le registre des modèles (monde des idées explicatives et des modèles).

Un schéma de l'activité scientifique¹⁰ :



⁸ Popper K. (1934). *La logique de la connaissance scientifique*. Paris : Payot, 1973, p. 36-39.

⁹ Martinand J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, p.7-22.

¹⁰ Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en SVT*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'éducation non publiée, université de Nantes, Nantes.

4. La place du problème dans le travail de modélisation et son rapport au savoir en science

L'analyse didactique de cette conception de l'activité scientifique faite par l'équipe de Christian Orange

conduit à montrer que faire des sciences à l'école ne correspond pas seulement à passer d'une conception à une autre, mais accéder à un savoir problématisé (mettant en tension le registre empirique et le registre des modèles). Dans ce cadre, le débat de classe doit permettre de passer d'un certain nombre d'idées, d'opinions communes à la construction du monde des possibles, des contraintes et des nécessités, c'est-à-dire à la construction des raisons¹¹.

¹¹ Orange C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'Education pour l'ère nouvelle*, vol. 35, n°1.

Première partie

La génétique au collège et au lycée

Cette partie est composée de plusieurs articles dont les deux premiers ont été publiés :

1. Modélisation de la transmission de l'information génétique en classe de 3^e : pour quels apprentissages ?

Yann Lhoste & Armelle Roland

Article à paraître dans Coquidé M. (dir.). La génétique. Paris : Adapt SNES.

2. Apprentissage du concept de mitose par des élèves de 3^e et de 1^{re}S : impact d'un dispositif de formation continue d'enseignants sur les apprentissages des élèves

Yann Lhoste, Annaïg Le Jossic, Maunoury Aurélie & Armelle Roland

Texte d'une communication 2007. Colloque international des IUFMs du Pôle Nord-Est : Les effets des pratiques enseignantes sur les apprentissages des élèves, Besançon, 14 et 15 mars 2007 (actes sur cédérom).

3. La transmission de l'information génétique en classe de première S : apprentissage et problématisation

Annaïg Le Jossic

4. Apprentissage et problématisation d'élèves de classe de 3e et de terminale S sur le thème de la méiose et de la fécondation

Ginette Buisson, Claire Decussy, Anna Pogam & Yann Lhoste

Modélisation de la transmission de l'information génétique en classe de 3^e : pour quels apprentissages ?

Yann Lhoste, IUFM de Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ;
yann.lhoste@caen.iufm.fr

Armelle Roland, professeure de sciences de la vie et de la Terre, Collège Jean Castel, Argences (14) ; armelle.roland@wanadoo.fr

Introduction

Dans cet article, nous allons tenter de comprendre comment des élèves construisent les mécanismes de la reproduction conforme en classe de 3^e (élèves âgés de 14-15 ans). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur l'observation et l'analyse d'une séance qui propose aux élèves une activité de modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles capables à leur tour de se diviser. Notre analyse devra permettre d'éclairer ce qui se joue au niveau des savoirs scientifiques dans une telle activité de modélisation et de pointer quelques conditions nécessaires à la construction du concept de reproduction conforme.

En effet, nous situons nos travaux dans le champ de l'apprentissage des sciences par problématisation (Fabre & Orange, 1997 ; Orange, 2002, 2005). Ces travaux, qui s'inscrivent dans une tradition rationaliste du savoir scientifique (Bachelard, 1949 ; Popper, 1998 ; Canguilhem, 2003), partent du principe que la construction d'un savoir scientifique n'a aucun sens en dehors des problèmes qui le fondent (Deleuze, 1969). La construction des problèmes est aussi importante que la découverte d'une solution à ce problème. Ce qui importe alors est de pouvoir établir le caractère de nécessité des réponses produites (Canguilhem, 2003, p. 58 ; Fabre, 1999, p. 194). Le processus de problématisation ou construction de problème permet aux élèves, accompagnés par l'enseignant, de soumettre à la critique les premières solutions proposées. L'activité argumentative qui accompagne ce processus permet d'accéder au caractère de nécessité des réponses acceptables.

Afin de comprendre l'activité déployée par les élèves pendant cette activité en classe, il convient de proposer un cadre d'analyse du concept de gène, concept au cœur du développement de la génétique du xx^e siècle. C'est ce cadre et la façon dont nous l'avons construit qui fera l'objet du premier paragraphe de cet article. Dans un deuxième temps,

nous présenterons le dispositif mis en œuvre par Armelle Roland, professeure de sciences de la vie et de la Terre (SVT) impliquée dans la recherche action, dans trois classes de 3e¹². Dans le troisième paragraphe, nous proposerons une catégorisation des productions des élèves. Enfin, nous discuterons de résultats obtenus pour en tirer quelques éléments de conclusion quant aux savoirs mobilisés par les élèves dans une telle activité. Nous indiquerons également certaines conditions à prendre en compte dans la mise en œuvre en classe d'une modélisation de la transmission de l'information génétique.

1. Le cadre d'analyse des conceptions des élèves relatives à l'information génétique

Compte tenu de notre ancrage épistémologique, nous faisons l'hypothèse de la nécessité pour les élèves de construire un problème de même nature que celui qui a conduit aux

concepts de gène et d'information génétique La grille d'analyse des conceptions des élèves concernant l'information génétique / le gène est construite en relation avec la construction du concept de gène au XX^e siècle.

■ 1.1. La construction du concept de gène au cours du XX^e siècle : quelques éléments importants

La génétique est une science du XX^e siècle puisqu'elle se développe, à partir de la redécouverte en 1900 des lois de Mendel, par trois communications publiées simultanément dans les Actes de la société allemande de Botanique¹³, dans le nouveau contexte de la théorie chromosomique¹⁴ et de la fin de l'hérédité des caractères acquis. C'est ce qui a permis aux résultats de Mendel de commencer « à avoir une signification » (Pichot, 1999, p. 31). Neuf ans après ses trois articles, Johannsen introduit le terme de gène pour désigner les facteurs mendéliens¹⁵ et le justifie de la façon suivante : « *le mot gène est libre de toute hypothèse ; il ne fait qu'exprimer le fait évident que, de toute façon, de nombreuses caractéristiques de l'organisme sont spécifiées dans les gamètes au moyen de conditions, de fondements et de déterminants particuliers qui sont présents de manière unique, distincte et de ce fait indépendante : en bref, précisément, ce que nous souhaitons appeler des gènes* » (Johannsen, 1909, p. 124). Il nous semble intéressant de préciser qu'il ajoute plus tard : « *quant à la nature des gènes, il ne sert encore à rien de proposer une quelconque hypothèse ; mais le fait que la notion de gène recouvre une réalité est évident dans le mendélisme* » (Johannsen, 1911, p. 134). Mettre de côté la nature des gènes permet à la génétique formelle et à la génétique des populations de se développer. Ainsi, avec

¹² Classe de 3^e du collège Jean-Castel d'Argences (14).

¹³ Le terme fut proposé par Bateson en 1906 au congrès international de Botanique.

¹⁴ « *Ainsi à la fin du siècle, apparaissent deux éléments nouveaux. D'un côté la cytologie révèle, dans le noyau de la cellule, l'existence d'une structure aux propriétés peu communes. De l'autre, l'analyse critique de la stabilité des espèces et de leur variation conduit à attribuer l'hérédité à la transmission d'une substance particulière. C'est d'un commun accord que l'on loge cette substance dans les chromosomes. Tout les désigne à cette tâche : la constance de leur nombre et de leur forme, la précision de leur clivage et de leur répartition lors de la division cellulaire ; la réduction de leur nombre à la moitié dans les cellules germinales ; leur fusion dans l'œuf par quoi l'enfant reçoit son lot de chromosomes à parts égales de son père et de sa mère. Il n'y a que la substance du noyau pour être en mesure de véhiculer la "tendance héréditaire"* » (Jacob, 1970, p. 237-238).

¹⁵ « *Les caractères ne font que traduire la présence cachée des particules, d'unités, de ce que Mendel appelle des "facteurs"* » (Jacob, 1970, p. 237-238).

Morgan, le « gène¹⁶ est devenu un emplacement sur un chromosome, ce que Morgan et son équipe appellent un locus » (Pichot, 1999, p. 129). Mais le développement de cette théorie chromosomique de l'hérédité qui, associée à l'évolutionnisme darwinien, conduit vers 1930 à la théorie synthétique de l'évolution, n'aborde pas la question de la nature du gène et de son fonctionnement.

Comme le rappelle Fox Keller (2003, p. 7), « le début d'une réponse à la question de savoir de quoi sont faits les gènes fut donné en 1943 avec l'identification, par Avery, MacLéod et McCarthy, de l'ADN comme support de la spécificité biologique chez les bactéries ». La découverte de la structure de l'ADN, par Watson et Crick achève la démonstration que les gènes sont des molécules. Dans les dix ans qui suivirent « furent établis le mécanisme de duplication de l'ADN, l'existence et le rôle des ARN messenger et de transfert, le code génétique, le mécanisme de la synthèse des protéines, et les principes généraux de la régulation de cette synthèse » (Pichot, 1999, p. 207). Le gène correspond alors au segment d'ADN qui détermine une protéine, mais très rapidement cette correspondance sera mise à mal par les différents travaux qui ont mis à jour les mécanismes qui régulent l'expression des gènes. Cela conduit Portin (1993), cité par Fox Keller (2003, p. 68), à « soutenir que le vieux terme de gène, qui fut essentiel dans les premiers temps de l'analyse, n'est désormais plus utile ». En effet, « le mot gène est devenu pluriel. Ce n'est plus une entité unique, mais un mot doté d'une grande plasticité, défini uniquement par le contexte expérimental spécifique dans lequel il est employé » (Fox Keller, 2003, p. 69). Evelyn Fox Keller achève le chapitre « Que fait un gène ? » de son livre *Le siècle du gène* (2003, p. 71) par la conclusion suivante : « les indications accumulées au cours des dernières décennies nous obligent à concevoir le gène comme (au moins) deux types différents d'entités : d'une part, une entité structurale, maintenue par la machinerie moléculaire de la cellule de telle sorte qu'elle peut être transmise fidèlement de génération en génération ; d'autre part, une entité fonctionnelle qui ne se manifeste que par l'interaction dynamique de très nombreux acteurs ».

■ 1.2. De l'histoire du concept à une grille d'analyse des conceptions de l'information génétique / du gène

Il s'agissait, pour nous, de rappeler que le concept de gène a une histoire, et de reprendre une partie de l'analyse développée par Rumelhard qui relève que plusieurs conceptions du gène et de l'information génétique s'enchevêtrent (Rumelhard, 1986, p. 42-44). Quelles sont les grandes catégories de conception que nous pouvons proposer ?

La première correspond à une conception matérielle de l'information génétique / du gène. Cette conception s'intéresse essentiellement à la nature du matériel qui porte l'hérédité. Elle a prévalu au moment des premiers travaux cherchant à identifier la nature de la substance qui assure la transmission de l'information génétique (des biophores et pangènes de Weismann et de De Vries), puis lors des travaux qui conduiront à montrer que les gènes sont constitués par des fragments d'ADN. Cette centration sur la nature de l'information génétique / des gènes peut rapidement devenir un obstacle à la compréhension du concept de gène, comme l'indique Rumelhard (1986, p. 41-42)¹⁷ qui précise qu'en mettant en avant la structure matérielle du gène, « on crée une image matérielle, un "modèle concret" et non

¹⁶ Pour Morgan, le gène est le lieu d'une mutation.

¹⁷ « On croit avoir compris ce qu'est un gène en en faisant une petite particule discrète qu'il serait possible de voir »

pas un modèle opératoire qui permettrait de penser une expérience » (*ibid.*), car pour comprendre le concept d'information génétique, il faut une théorie de l'information. Pichot (1999, p. 30) explique que c'est cette centration des travaux de recherche entre 1860 et 1900 sur la question de la nature matérielle de l'information génétique/ du gène qui ont participé à la non-prise en considération des travaux de Mendel par la communauté scientifique de l'époque.

Une seconde conception correspond à une conception mécaniste de l'information génétique / du gène (« *le gène-particule* » décrit par O'Neil [1972, p. 225] comme une entité isolée dans le chromosome). Elle reprend la définition du gène proposée par la génétique formelle qui décrit l'individu comme « *une mosaïque d'éléments juxtaposés* ». Pour Rumelhard (1986, p. 44), même si ce modèle a permis des avancées importantes, il a également joué comme un obstacle car cette conception de l'information génétique/du gène ne permettait pas de comprendre que les gènes sont fonctionnellement interdépendants. Ainsi, « *ces modèles ne prennent nullement en compte la totalité fonctionnelle que constitue le fonctionnement harmonieux et régulé des gènes d'une cellule ou d'un ensemble de cellules* » (*ibid.*).

Une troisième conception fonctionnelle du gène / information génétique serait celle proposée par Evelyn Fox Keller (2003). Elle permet de faire jouer un rôle à l'information génétique / gène à la fois dans la transmission et la stabilité des caractères d'une génération à l'autre (hérédité) mais également dans l'explication du développement d'un organisme. La notion de programme génétique renvoie à ce type de conception puisque ce concept « *procure l'ingrédient essentiel requis par un discours global sur les gènes qui peuvent être activés de manière variable dans le développement d'organismes parfaitement formés* » (Fox Keller, 2004, p. 155). Toujours selon Fox Keller (*ibid.*), la force de ce concept s'appuie sur « *une ambiguïté fondamentale sur la localisation du pouvoir d'action, et, ensuite [...] en faisant métaphoriquement référence à un programme informatique* ».

C'est avec cette grille d'analyse que nous allons tenter de comprendre comment des élèves de 3^e s'engagent dans une activité de modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles. C'est cette activité que nous allons maintenant présenter en l'inscrivant dans le cadre du programme de la classe de 3^e.

2. La tâche proposée par la professeure

■ 2.1. Transmission de l'information génétique dans le programme de la classe de 3^e

L'enseignement de la génétique débute dans la classe de 3^e (élèves âgés de 14-15 ans), même s'il est préparé par certains enseignements antérieurs¹⁸. Cette première partie du programme de 3^e comprend 4 paragraphes qui précisent les notions à construire :

¹⁸ « L'accès aux notions essentielles de génétique a été préparé dans les classes précédentes (espèces, fécondation,...) » (BO)

« - Chaque individu présente les caractères de l'espèce avec des variations qui lui sont propres. C'est le résultat de l'expression de son programme génétique et de l'influence des conditions de vie.

- Les cellules de l'organisme, à l'exception des gamètes, possèdent les mêmes chromosomes que la cellule-oeuf dont elles dérivent par divisions successives.

- Les chromosomes portent les gènes, unités d'information génétique qui déterminent les caractères héréditaires.

- Chaque individu issu de la reproduction sexuée possède un programme génétique qui contribue à le rendre unique. » (France : MEN, 1998, p. 116-117)

La tâche que la professeure va proposer aux élèves s'inscrit dans le deuxième point du programme qui précise : « * La division d'une cellule : est préparée par la duplication de chacun de ses 46 chromosomes, se caractérise par la séparation des chromosomes obtenus, chacune des deux cellules formées recevant 23 paires de chromosomes identiques à ceux de la cellule initiale » (France : MEN, 1998, p. 116-117). Quelques extraits des documents d'application des programmes (CRDP, 2002, p. 116) permettent de préciser les choses : « Une première approche du déterminisme chromosomique du sexe et de certaines anomalies permet d'établir que le caractère considéré (sexe, anomalies) est lié à une particularité dans le nombre ou l'aspect des chromosomes des cellules d'un individu. On s'appuie pour ce faire sur la comparaison de caryotypes d'hommes, de femmes et d'individus présentant des anomalies chromosomiques. La notion de chromosomes supports du programme génétique dirigeant l'expression des caractères est ainsi établie. [...] Il s'agit maintenant de montrer la reproduction conforme des chromosomes et de faire comprendre que toute cellule possède la totalité du programme génétique dont elle dépend pour son fonctionnement et pour son organisation. [...] On s'attache notamment aux aspects du phénomène qui permettent d'expliquer l'identité du matériel chromosomique et de l'information transmis à toutes les cellules de l'individu. [...] Le lien entre les caractères héréditaires présentés et la possession de gènes, unités d'information, est uniquement constaté — à un allèle donné correspond un état particulier du caractère — ; il n'est pas expliqué au niveau moléculaire. ».

Il s'agit de faire construire aux élèves une première signification du concept de mitose qui correspond à « une étape bien particulière du cycle de vie des cellules eucaryotes, dit "cycle cellulaire", qui est l'étape de séparation de chaque chromosome de la cellule mère et de leur répartition égale dans chacune des deux cellules filles » (Wikipédia, consulté le 12 décembre 2006), ainsi chaque cellule fille possède un ensemble complet et diploïde de chromosomes.

Une première lecture des instructions officielles, orientée par la grille d'analyse proposée au paragraphe précédent nous amène à faire remarquer le point suivant : les trois conceptions de l'information génétique / du gène citées ci-dessus se retrouvent dans l'intitulé du programme de 3e. La phrase : « les chromosomes sont le support de l'information génétique » peut renvoyer à une conception matérielle de l'information génétique même si le mot « support » permet aux auteurs des programmes d'indiquer que l'on ne peut pas réduire l'information génétique aux chromosomes. La formulation du paragraphe suivant : « Les chromosomes portent les gènes, unités d'information génétique qui déterminent les caractères héréditaires » renvoie à une conception mécaniste du gène, telle qu'elle fut formalisée par l'équipe de Morgan. Enfin le terme de « programme génétique » est présent dès le premier paragraphe des notions à construire. Elle est également reprise dans les documents d'accompagnement. L'utilisation du concept de

programme génétique renvoie explicitement à une conception fonctionnelle de l'information génétique, même si on ne sait pas comment cette dimension fonctionnelle sera mise en évidence. Ainsi, il nous semble que la mise en œuvre du programme de 3^e présente le risque de réduire le concept de gène/information génétique soit à une conception matérielle, soit à une conception mécaniste. Comme ces deux conceptions peuvent constituer des obstacles pour construire une conception fonctionnelle, il nous a semblé intéressant de suivre comment les élèves « bricolent » avec ces différentes conceptions de l'information génétique lorsqu'ils sont confrontés à une activité de modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles.

Comme, à ce niveau de la scolarité, la mitose sert à expliquer la transmission à toutes les cellules de l'organisme de la totalité de l'information génétique localisée sur les chromosomes de la cellule œuf et que les documents d'accompagnement indiquent que « *cette étude se prête particulièrement à des activités de manipulations, grâce à l'utilisation de maquettes de chromosomes* », nous avons mis sous observation une activité de modélisation de la mitose¹⁹.

Décrivons maintenant la tâche proposée aux élèves.

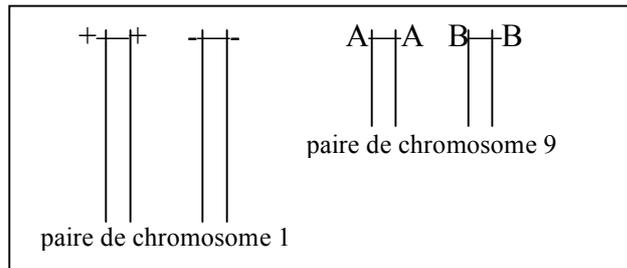
■ 2.2. La tâche proposée aux élèves

Après qu'ont été construites, au cours des séances précédentes, les notions de chromosome, de gène et d'allèle, et conclut que toutes les cellules d'un organisme possèdent la même information génétique portée par les chromosomes, la professeure pose aux élèves la question suivante : « Expliquer comment on passe d'une cellule œuf aux millions de cellules qui forment un organisme adulte ? ». On propose aux élèves de faire une modélisation, réduite au cas prototypique de la division d'une cellule mère en deux cellules filles.

Pour produire l'explication demandée, les élèves disposent d'une cellule œuf dans laquelle ils doivent représenter la paire de chromosomes n°1 et la paire de chromosomes n°9. Les chromosomes seront représentés avec deux chromatides. Pour éviter d'en rester à une conception matérielle de l'information génétique, la professeure a demandé aux élèves de représenter un allèle sur chacune des paires de chromosomes. Les élèves individuellement doivent modéliser une cellule d'un individu porteur, sur les chromosomes 1, des deux versions du gène rhésus : l'allèle rhésus + et l'allèle rhésus – et, sur les chromosomes 9, des deux versions du gène groupe sanguin : l'allèle A et l'allèle B. L'enseignant s'assure que les élèves ont modélisé correctement la cellule mère (figure 1), ces derniers doivent ensuite expliquer, d'autant de façons qu'ils le souhaitent, comment vont se comporter les chromosomes au cours de la mitose.

¹⁹ Il convient de signaler que ce type d'activité est proposée dans la plupart des manuels scolaires pour la classe de 3^e : Belin, 1999, p.27; 2003, p. 27 ; Bordas, 1999, p. 29 ; Nathan, 1999, p. 37; 2003, p. 33.

Figure 1. Modélisation de la cellule mère qui va entrer en division



Suite à cette modélisation, les différentes propositions des élèves seront comparées avec des documents représentant des cellules en division, photographies électroniques et vidéo. Dans cette contribution, nous nous intéresserons uniquement à la modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles.

3. L'activité déployée par les élèves dans la tâche proposée

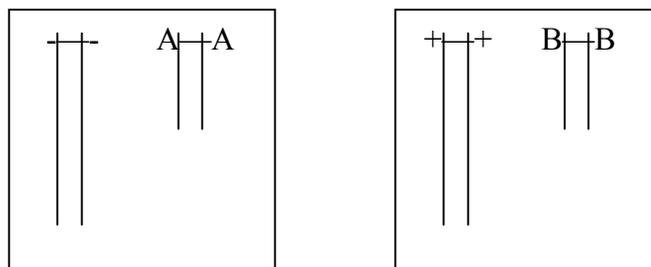
Pour les élèves, plusieurs comportements sont possibles pour les chromosomes au cours de la division cellulaire. Il en résulte des cellules filles ayant un matériel chromosomique divers. C'est à partir de ces productions que nous allons inférer les procédures probablement mobilisées par les élèves. Nous pensons que ces procédures pourront nous renseigner sur les conceptions des élèves par rapport au concept d'information génétique / de gène.

Plusieurs procédures ont été utilisées par les élèves pour répartir les chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles. Sur l'ensemble des trois classes de 3^e observées, 123 propositions ont été faites. Nous avons regroupé ces 123 propositions en 6 procédures. Ce sont ces six procédures que nous allons présenter par ordre décroissant d'occurrence dans la classe. Le tableau 1 indiquera les résultats obtenus.

■ 3.1. La procédure la plus utilisée

Les productions qui entrent dans cette catégorie correspondent à la répartition des chromosomes dans les deux cellules filles représentée sur la figure 2.

Figure 2. Répartition n°1 des chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles



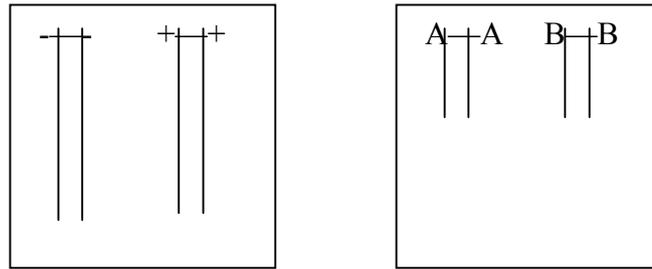
Pour produire ces répartitions $\{(A,-) / (B,+)$ ou $(A,+)$ / $(B,-)\}$, les élèves ont pu procéder de la façon suivante : par paire de chromosomes de la cellule mère, ils ont attribué un

chromosome à une cellule fille, et l'autre chromosome à la seconde cellule fille. La deuxième procédure se rapproche de la première.

■ **3.2. La deuxième procédure**

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats présentés sur la figure 3.

Figure 3. Répartition n°2 des chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles

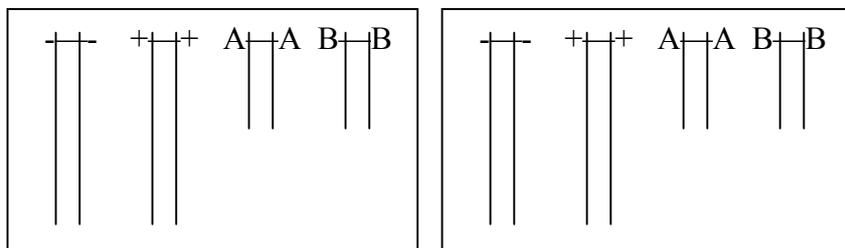


Pour obtenir ce résultat les élèves ont, sans doute, réparti la totalité des chromosomes de la cellule mère en séparant la paire de chromosome 1 que l'on retrouve dans une cellule fille et la paire de chromosomes 9 que l'on retrouve dans l'autre cellule fille. Alors que ces deux premières procédures consistent en une séparation des chromosomes disponibles, la troisième procédure fait appel à un nouveau matériel.

■ **3.3. La troisième procédure**

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats présentés sur la figure 4.

Figure 4. Répartition n°3 des chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles



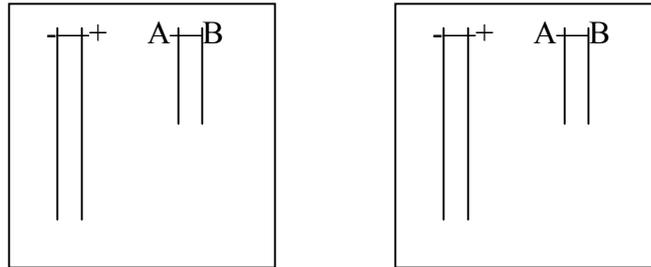
Ce résultat peut, dans un premier temps, sembler satisfaisant. Les deux cellules filles possèdent les mêmes chromosomes que la cellule mère. Mais, il faut préciser que les élèves ont procédé de la façon suivante : après avoir attribué tout le matériel chromosomique à une des deux cellule fille, la seconde cellule fille se retrouve sans chromosomes. Les élèves ajoutent alors du matériel chromosomique pour qu'elle soit, au final, identique à la première cellule fille.

La quatrième procédure traduit une nouvelle façon de faire, puisque les élèves vont décomposer les chromosomes qui, jusque là, avait été transmis intacts.

■ **3.4. La quatrième procédure**

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats présentés sur la figure 5.

Figure 5. Répartition n°4 des chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles



L'obtention de ce résultat implique plusieurs étapes :

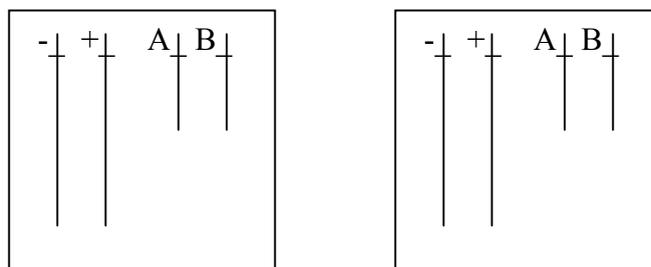
- la séparation des deux chromatides d'un chromosome ;
- la répartition des chromatides dans les deux cellules filles de sorte que chacune d'elle dispose des mêmes chromatides ;
- la reconstitution d'un chromosome à deux chromatides par fusion des deux chromatides provenant des deux chromosomes de la même paire.

Les deux dernières procédures correspondent à des variantes de cette procédure.

■ **3.5. La cinquième procédure**

Les productions qui entrent dans cette catégorie correspondent à la répartition des chromosomes dans les deux cellules filles représentées sur la figure 6.

Figure 6. Répartition n°5 des chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles

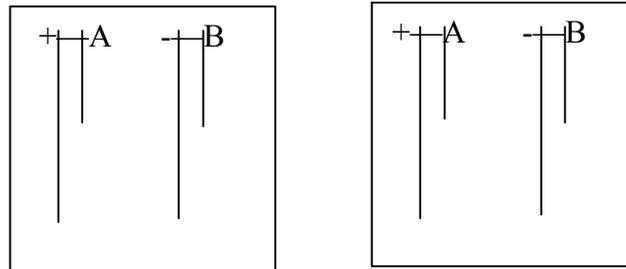


Cette répartition est obtenue en séparant les chromatides de chaque chromosome et en attribuant une chromatide de chaque chromosome à chaque cellule fille. C'est la procédure représentant la reproduction conforme attendue, même si une duplication de l'information génétique sera nécessaire pour que chaque cellule fille puisse de nouveau se diviser.

■ 3.6. La sixième procédure

Les élèves qui ont mobilisé cette procédure produisent des résultats représentés sur la figure 7.

Figure 7. Répartition n°6 des chromosomes de la cellule mère aux deux cellules filles



Il s'agit d'une variante de la procédure 4. Lors de la reconstitution des chromosomes, les chromatides associés proviennent pour la première du chromosome 1 et pour la seconde du chromosome 9.

■ 3.7. Les résultats globaux

Le tableau 1 présente les résultats obtenus dans les trois classes de 3^e observées.

Tableau 1. Les procédures mobilisées par les élèves des trois classes

Procédure utilisée	1	2	3	4	5	6	Autres
Classe 1	20	16	5	8	1	2	0
Classe 2	15	5	4	3	3	0	1
Classe 3	20	8	8	2	1	0	1
Dont redoublants	3	2	1	1	2		
Total	55 44,7%	29 23,6%	17 13,8%	13 10,6%	5 4,1%	2 1,6%	2 1,6%

Il convient maintenant de discuter ces résultats pour répondre à nos questions, ce qui nécessite de faire appel à la façon dont les élèves conçoivent l'information génétique et sa transmission lors de la division cellulaire.

4. Discussion

Nous formulons l'hypothèse suivante : les élèves sont engagés dans une activité authentique, c'est-à-dire qu'ils ne font pas n'importe quoi, mais qu'ils cherchent à trouver une solution ayant du sens par rapport à la question posée et aux connaissances qui sont à leur disposition. C'est à partir de cette hypothèse que nous allons discuter des procédures utilisées par les élèves pour modéliser la transmission des chromosomes. Notre discussion portera sur quatre points :

- l'identification des éléments de la situation pris en compte par les élèves pour expliquer la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles ;
- la construction d'un espace de contraintes de référence qui propose une représentation du concept de transmission de l'information génétique d'une cellule à deux cellules filles ;
- les inférences que nous pouvons en faire par rapport à la conception des élèves à propos de l'information génétique/gène ;
- quelques indications concernant la mise en œuvre en classe d'un tel dispositif de modélisation.

■ **4.1. Les éléments de la situation pris en compte par les élèves en fonction de l'activité mise en œuvre**

Les résultats obtenus doivent nous permettre de comprendre quels sont les éléments de la situation pris en compte par les élèves pour assurer la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles. Parmi les différentes procédures identifiées, nous pouvons repérer deux groupes d'élèves.

Les élèves qui mobilisent les procédures 1 ou 2 (procédures les plus souvent proposées 68,4% des cas) partagent équitablement le nombre de chromosomes dans chacune des deux cellules filles sans procéder à une déstructuration du chromosome, ni en ajoutant du matériel chromosomique. Alors que la cellule mère possédait 4 chromosomes à 2 chromatides, chaque cellule fille possède au final 2 chromosomes à 2 chromatides. Le résultat n'est pas conforme à une notion travaillée précédemment : « toutes les cellules d'un organisme, à l'exception des gamètes, possèdent les mêmes chromosomes » qui aurait pu avoir statut de contrainte dans cette explication. Cet élément n'est pas mobilisé par les élèves dans cette activité. De la même façon, cet élément n'est pas mobilisé pour les productions 4 et 6 qui conduisent les élèves à proposer des cellules filles à 2 chromosomes à 2 chromatides par appariement de chromatides issues de la déstructuration du chromosome de départ.

Nous pensons que ces différentes façons de procéder peuvent se comprendre en raison de la polysémie de la formulation « les mêmes chromosomes ». Dans le sens attendu par l'enseignante, le terme « mêmes » renvoie à la conservation de l'information génétique devant se traduire ici par la conservation du nombre de chromosomes (qu'ils soient à 1 ou 2 chromatides). Mais il est possible que « mêmes chromosomes » soit compris autrement. Dans cette formulation, on peut entendre que les chromosomes dans les cellules fille doivent être structurellement identiques à ceux de départ, c'est-à-dire composés de 2 chromatides. Cela pourrait expliquer que les élèves recomposent des chromosomes avec des chromatides différentes. « Mêmes chromosomes » peut encore être entendu dans un troisième sens : il ne s'agirait pas de chromosomes identiques, mais des chromosomes de la cellule mère eux-mêmes. Dans cette troisième acception de « mêmes chromosomes » il est logique de répartir les chromosomes existants dans les cellules filles, comme le font les élèves qui proposent les procédures 1 et 2.

Alors que la question de la conservation du nombre de chromosomes n'est pas mobilisée dans les cas 1, 2, 4 et 6, les deux dernières procédures permettent d'assurer, comme les productions 3 et 4 d'ailleurs, la transmission de toute l'information génétique de la cellule

mère aux deux cellules filles, puisque ces deux cellules possèdent un allèle A et un allèle B pour le gène groupe sanguin et un allèle + et un allèle – pour le gène rhésus. La procédure 3 permet d'expliquer que toutes les cellules aient les mêmes chromosomes (même nombre et même forme des chromosomes à 2 chromatides) et que toute l'information génétique soit transmise d'une génération à l'autre, mais elle implique, dans une des deux cellules filles, la formation spontanée d'un matériel chromosomique identique à celui de la cellule mère. Cette procédure, permise par le dispositif, relève d'un processus quasi-magique qui n'est pas sans poser un problème didactique à l'enseignant puisque le résultat produit est conforme à ce que l'on souhaitait expliquer alors que le processus n'est pas recevable en l'état. Il conviendra, sans doute, de resserrer le dispositif pour traiter cette difficulté. La procédure 5 permet d'expliquer le mécanisme de la reproduction conforme, c'est-à-dire que les deux cellules filles sont génétiquement identiques à la cellule mère, sans nécessiter, à ce stade de la division, un apport de matière. C'est lorsque les cellules filles devront entrer à leur tour en division que se posera la question de la duplication de chacune des chromatides pour reformer des chromosomes à deux chromatides. La nécessité d'une duplication qui rend nécessaire un apport de matière fait partie du problème de la transmission de l'information génétique et sera abordée par la professeure dès la séance suivante²⁰.

À partir de cette analyse, nous allons construire une représentation du concept de transmission de l'information génétique (section 4.2) puis nous interroger sur les difficultés rencontrées par les élèves pour construire le principe du mécanisme de la reproduction conforme (section 4.3.).

■ 4.2. Un espace de contraintes de référence pour représenter le concept de transmission de l'information génétique

L'analyse de l'activité des élèves nous a permis d'identifier :

- les éléments à prendre en compte pour modéliser la transmission de l'information génétique de la cellule œuf à toutes les cellules de l'organisme ;
- la façon dont il faut combiner ces éléments pour produire une réponse conforme aux connaissances actuelles.

Si nous utilisons une représentation inspirée des travaux de Martinand (1994) et Orange (2000), nous pouvons représenter ces éléments et leur mise en relation dans un espace de contraintes qui articule des contraintes et des nécessités (figure 8)²¹. Cet espace de contraintes reprend différents éléments qui pourraient avoir, à ce stade de la progression de la professeure, soit le statut de contrainte, soit le statut de nécessité. Il convient d'indiquer que cet espace ne décrit pas ce que les élèves ont effectivement mobilisé dans les cas rapportés plus haut (aucune des solutions proposées par les élèves ne prend en compte l'ensemble de ces contraintes et nécessités, y compris la 5, qui ne prend pas en compte la nécessité d'une duplication) mais à ce qui pourrait être construit par les élèves dans le

²⁰ Pour des raisons d'organisation des activités dans le temps, l'enseignante a choisi de traiter la question en deux étapes : les mécanismes de la reproduction conforme puis la duplication.

²¹ L'idée de contrainte est ici dissociée de celle de « *contrainte empirique* » (comme dans les schémas de Martinand et Orange) et celle de nécessité est dissociée de celle de « *nécessité sur les modèles* » puisqu'il s'agit d'un espace de contrainte de référence qui ne représente pas le processus de problématisation ou de modélisation.

cadre d'un débat scientifique en classe où les modèles proposés seraient soumis à une discussion critique.

Compte tenu de la façon dont nous concevons l'apprentissage, faire apprendre quelque chose aux élèves de 3^e sur la transmission de l'information génétique de la cellule œuf à toutes les cellules de l'organisme implique probablement que les élèves connaissent le résultat de la division d'une cellule, mais surtout qu'ils sachent en quoi ce résultat est nécessaire et ne peut être autrement. C'est à cette condition que le savoir construit aura un caractère fonctionnel et opératoire²². Quelques conséquences de ces considérations seront présentées à la section 4.4.

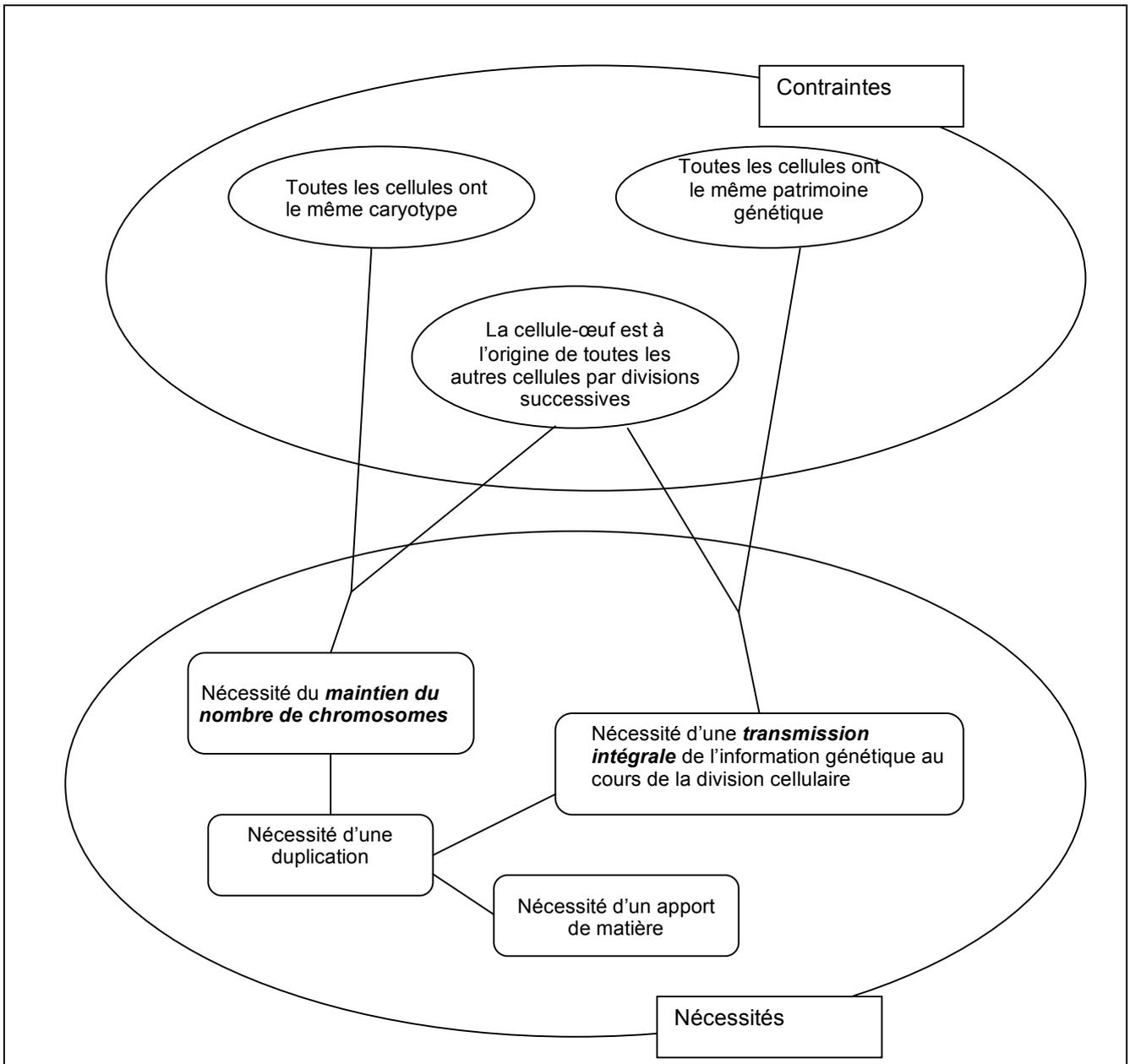
■ **4.3. Les procédures mobilisées renseignent sur la conception des élèves sur l'information génétique**

Lors des séances précédentes, les élèves ont observé l'organisation du chromosome, le fait que chaque chromosome pouvait avoir une ou deux chromatides au cours de la vie de la cellule. De la même façon, les notions de gène et d'allèle ont été construites et utilisées par les élèves dans des exercices, les exercices ont mobilisé des modèles de chromosomes à 1 ou 2 chromatides.

Ainsi compte tenu des analyses précédentes, il nous semble qu'une difficulté importante rencontrée par les élèves pour expliquer que toutes les cellules de l'organisme possèdent la même information génétique relève de la conception qu'ils peuvent avoir, à ce moment de la scolarité, de ce qu'est l'information génétique / le gène et des conséquences que peut avoir cette conception sur les points sur lesquels les élèves contrôlent leur activité.

²² « La connaissance par principes ne se ramène jamais à la possession d'un stock de savoirs; elle est foncièrement active. Elle permet de résoudre des problèmes nouveaux et surtout d'en inventer. » (Reboul, 1995, p. 86).

Figure 8. Espace de contrainte de référence : la transmission de l'information génétique de la cellule œuf à toutes les cellules d'un organisme



Nous avons montré précédemment (section 4.1.) que la polysémie du terme « mêmes chromosomes » peut expliquer la façon dont les élèves ont modélisé la transmission de l'information génétique d'une cellule aux deux cellules filles. Parmi les trois acceptions possibles, deux acceptions renvoient à la structure des chromosomes (les chromosomes identiques qui ne feraient que se déplacer de la cellule de départ aux cellules filles, les chromosomes structurellement identiques à ceux de départ, c'est-à-dire des chromosomes à deux chromatides) et se traduisent par des productions qui ne respectent pas les conditions indiquées dans l'espace de contraintes de référence (figure 8). Cette centration sur la structure du chromosome et sa dimension matérielle renvoie selon nous à une conception matérielle de l'information génétique et du gène. Comme l'activité des élèves est fortement organisée par cette centration malgré les savoirs disponibles (ils ont observé des

chromosomes à un ou deux chromatides et les redoublants qui ont déjà eu connaissance de ce mécanisme produisent également des réponses non-conformes – tableau 1), nous pensons que la conception matérielle de l'information génétique / du gène constitue un obstacle à l'acquisition de la formalisation des mécanismes chromosomiques de la reproduction conforme. Il convient d'ajouter que d'autres difficultés liées à la conception du chromosome (entité indivisible ou divisible, confusion entre paire de chromosome et nombre de chromatide d'un chromosome) viennent sans doute renforcer cet obstacle. Cette proposition rejoint l'analyse proposée il y a plusieurs années par Rumelhard (1986).

Nous pensons également que les élèves qui mobilisent les procédures 4 et 6 effectuent la division de la cellule mère de façon à assurer la présence de toute l'information génétique dans les deux cellules filles. Dans ce cas, l'information génétique / le gène est considéré comme une particule que l'on peut déplacer, sans condition, sur les chromosomes. Cela renvoie à la conception mécaniste de l'information génétique telle que nous l'avons définie précédemment. Il nous semble que cette conception seule peut constituer un obstacle pour penser les mécanismes chromosomiques de la transmission de l'information génétique d'une cellule à deux cellules filles. En effet, seule une conception mixte de l'information génétique, matérielle et informationnelle²³, va permettre aux élèves de comprendre les mécanismes de la reproduction conforme. Tenir à la fois la dimension informationnelle du gène / de l'information génétique et sa dimension matérielle permet de penser la transmission à l'identique de cette information par perte d'une chromatide pour chaque chromosome ce qui pourrait être une formulation du problème de la transmission de l'information génétique. La conception matérielle de l'information génétique et la conception mécaniste de l'information génétique sont individuellement deux façons de penser qui empêchent d'accéder au problème de la transmission de l'information génétique, c'est pourquoi nous les considérons toutes les deux comme des obstacles.

Notre dernière partie doit nous permettre d'étudier les implications de ces analyses sur la situation proposée aux élèves.

■ 4.4. Discussion sur le dispositif mis en œuvre en classe

Le dispositif proposé aux élèves permet de construire plusieurs modèles de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles et la mise à l'épreuve de ces solutions possibles avec des données microscopiques permettra de valider/invalidier les différentes propositions des élèves.

Cependant, ce travail de modélisation a été accompagné d'une confrontation des modèles proposés entre eux, au cours d'un débat scientifique par exemple, ce qui pourra permettre de remonter des solutions possibles vers les conditions de possibilité de ces solutions. Proposer aux élèves un débat scientifique autour de leur modélisation²⁴ sera un moyen de les engager dans un processus de problématisation tel que nous le définissons dans l'équipe de didactique des SVT du CREN, université de Nantes, c'est-à-dire de permettre aux élèves d'articuler les contraintes qu'ils mobilisent dans leur explication avec des nécessités, condition d'accès à un savoir scientifique.

²³ Il nous semble que cette conception double d'une information génétique informationnelle/matérielle pourrait être une étape préalable à la conception du gène telle que la propose E. Fox Keller.

²⁴ L'analyse du débat scientifique qui a suivi la phase de modélisation sera présentée dans une autre contribution.

Enfin, il nous semble indispensable, compte tenu de nos analyses sur les liens entre les conceptions des élèves au sujet de l'information génétique / du gène et la façon dont ils s'engagent dans la transmission de l'information génétique, de leur proposer une modélisation qui les oblige à mobiliser, à la fois, une dimension matérielle et une dimension informationnelle. Cela valide, *a posteriori*, notre parti pris de proposer une modélisation qui mêle les chromosomes et allèles.

5. Conclusion

Cette étude, menée à partir des productions des élèves confrontée à l'activité classique de modélisation de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles, nous a permis de proposer différentes analyses concernant :

- la définition du problème de la transmission de l'information génétique sous la forme d'un espace de contraintes de référence qui traduit ce concept scientifique en termes de contraintes et de nécessités ;
- la mise en relation entre les procédures utilisées par les élèves pour effectuer la tâche demandée et les conceptions de l'information génétique / du gène.

Cela nous a conduit à proposer que seule une conception mixte informationnelle / matérielle de l'information génétique, étape préalable pour accéder à une conception fonctionnelle de l'information génétique, pourra permettre aux élèves de construire les principes des mécanismes chromosomiques de la reproduction conforme. Prise l'une indépendamment de l'autre, la conception matérielle ou la conception mécaniste de l'information génétique constitue un obstacle pour accéder au problème de la transmission de l'information génétique.

Cette étude devra être poursuivie par l'analyse des débats scientifiques qui ont suivi cette activité de modélisation. Cela permettra de mettre à l'épreuve les différentes propositions avancées ici.

Bibliographie

- Bachelard G. (1949). *Le Rationalisme Appliqué*. Paris : PUF.
- Canguilhem G. (1965/2003). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- CNDP (2002). *Programme et accompagnements Sciences de la vie et de la terre 3^e*. Paris : CNDP.
- Deleuze G. (1969). *La logique du sens*. Paris : Les Editions de Minuit.
- Fabre M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- Fabre M. & Orange C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, n°24, p. 37-57.
- Fox Keller E. (2003). *Le siècle du gène*. Paris : Gallimard.
- Fox Keller E. (2004). *Expliquer la vie*. Paris : Gallimard.
- France : Ministère de l'Éducation Nationale (1998). *BO Hors série* n° 10 du 15 octobre 1998.

- Jacob F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.
- Johannsen W. (1909). *Elemente der exacten Erblchkeitslehre*. Iena: Gustav Fischer.
- Johannsen W. (1911). The genotype conception of heredity. *American Naturalist*, n°45, p. 129-159.
- Martinand J.-L. (1992). Présentation. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Morange M. (2003). *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris : Éd. La Découverte.
- O'Neil W.M. (1972). L'hérédité et la théorie génétique. In *Faits et théories*. Paris : Armand Colin.
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissage scientifique et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, vol. 35, n°1, p. 25-41.
- Orange C. (2005). Problématisation conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 3, p. 69-93.
- Pichot A. (1999). *Histoire de la notion de gène*. Paris : Flammarion.
- Reboul O. (1995). *Qu'est-ce qu'apprendre ?* Paris : PUF.
- Rumelhard G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.

Apprentissage du concept de mitose par des élèves de 3^e et de 1^{re}S : impact d'un dispositif de formation continue d'enseignants sur les apprentissages des élèves

Yann Lhoste, IUFM Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes , INRP ;
yann.lhoste@caen.iufm.fr

Annaïg Le Jossic, IUFM Basse-Normandie ; lycée Emile Littré, Avranches (50),
annaig.le-jossic@ac-caen.fr

Maunoury Aurélie, collège Léopold-Senghor, Ifs (14) ;
aurelie.maunoury@wanadoo.fr

Armelle Roland, collège Jean-Castel, Argences (14) ;
armelle.roland@wanadoo.fr

Résumé

Cette communication vise à mettre en évidence les implications sur les apprentissages des élèves de classe de 3^e et de 1^{re}S du concept de mitose, d'une formation continue d'enseignants de lycée et de collège impliqués dans un groupe de formation action de l'IUFM de Basse-Normandie.

L'analyse que nous allons proposer mobilise le concept de problématisation développé par l'équipe de Christian Orange et de Michel Fabre au sein de l'université de Nantes. La reconstruction des concepts de problème, de problématisation par les enseignants a permis de proposer une analyse didactique du savoir en jeu, sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre (mitose). Des situations d'apprentissage ont été construites à partir de cette analyse a priori. Leurs mises en œuvre en classe ont permis de recueillir des données. Ces données sont analysées en mobilisant la méthodologie décrite par Orange (2000), ce qui nous permet de déterminer les problèmes construits par des élèves de 3^e et de 1^{re}S. Pour finir, nous discuterons les résultats issus de cette étude de cas.

Introduction et problématique

Les travaux des didacticiens des sciences montrent qu'apprendre les sciences ne revient pas à accumuler des faits d'expérience²⁵ et d'observation²⁶.

La convocation par l'enseignant d'une démarche scientifique²⁷ qui permettrait d'atteindre (à chaque fois) une vérité scientifique préexistante constitue aussi un obstacle pour faire entrer les élèves dans une véritable culture scientifique. En effet, la mise en œuvre de ce type de démarche reste très prégnante chez les enseignants de sciences (Coquidé, 1998, p.122), ce qui les conduit à présenter « *une image déformée des connaissances et des travaux scientifiques* » (Porlan-Ariza *et al.*, 1998, p. 209). Et, bien que la « contestation de ce modèle soit devenue un classique de la didactique des sciences » (Clément, 1998, p.76), il semble que cette prescription, bien que non inscrite dans les instructions officielles, ait conduit à un enseignement dogmatique des sciences. Il est intéressant de préciser avec Jouary que « *cette conception cohabite avec la conception inverse* » (2002, p.24), c'est-à-dire avec une vision totalement relativiste de la science. Puisqu'on ne peut pas montrer qu'une théorie est vraie ; que dans le passé, d'autres théories ont longtemps été considérées comme vraies et que certaines de nos théories seront réfutées dans les années qui viennent, alors toutes ces théories se valent. La double critique de cette image du savoir scientifique n'est pas neuve. Bachelard, dès 1938, critique cette image dogmatique du savoir scientifique. Cette critique, reprise par Deleuze²⁸, se poursuit actuellement chez un philosophe comme Jouary : « *à enseigner les sciences comme des vérités enfilées comme des perles, on enseigne tout sauf des sciences* » (2003, p. 162). On enseigne les bonnes réponses et on souhaite que les élèves les acceptent sans les questionner, sans leur montrer les autres solutions possibles. De là à encourager les élèves à envisager d'autres solutions, il n'en est même pas question. C'est bien dans une position qui évite à la fois le dogmatisme et le relativisme qu'il nous faut mettre les élèves si l'on veut qu'ils accèdent à une culture scientifique. Rumelhard donne quelques pistes de réflexion pour que la biologie devienne constitutive d'une culture : « *l'initiation au savoir conçu comme processus d'objectivation doit inclure un travail de détour, de décentrement, de déplacement des intérêts immédiats, d'épreuves à surmonter. Mais le savoir scientifique doit se réintégrer dans les représentations et les pratiques individuelles et sociales* » (1992, p. 145). Il met ici en avant une tension entre les aspects méthodologiques et les résultats visés. Fourez, dans la même direction, propose qu'un objectif possible de l'enseignement des sciences soit celui « *d'une éducation à une culture et [dans ce cas, il] pourra rejoindre un réel humanisme* » (1991, p. 36).

²⁵ « *Si toute notre connaissance débute avec l'expérience, cela ne prouve pas qu'elle dérive de l'expérience* », Kant, *La Critique de la raison pure*.

²⁶ « *L'observation première est toujours un obstacle pour la culture scientifique* » (Bachelard, 1993, p. 19).

²⁷ Ou méthode scientifique pour parler comme Popper, comme celles qui sont mises en œuvre dans les classes : la méthode OHERIC, PHERIC (un pseudo-problème venant remplacer l'observation) voire DiPHTeRIC.

²⁸ « *Et, c'est un préjugé social, dans l'intérêt de nous maintenir enfant, qui nous convie toujours à résoudre des problèmes venus d'ailleurs, et qui nous console ou nous distrait en nous disant que nous avons vaincu si nous avons su répondre : le problème comme obstacle, et le répondant comme Hercule. Telle est l'origine d'une grotesque image de la culture, qu'on retrouve aussi bien dans les tests, dans les consignes du gouvernement, dans les concours des journaux* » (Deleuze, 1968, p.205).

Ces ambitions affichées pour l'enseignement des sciences à l'école impliquent d'éviter de présenter une image dogmatique de la science. Selon nous, la présentation dogmatique du savoir scientifique provient d'une confusion entre le savoir formel et le savoir fonctionnel. Le savoir formel correspond à un savoir assertorique, constitué d'un ensemble de propositions indépendantes. Un savoir fonctionnel entretient une relation dynamique avec les problèmes qui le fondent (Bachelard, 1993, p. 14 ; 1998, p. 35). Canguilhem met en avant le caractère apodictique du savoir lorsqu'il affirme que « *connaître, c'est moins buter sur le réel que valider un possible en le rendant nécessaire* » (2003, p. 58) ; le savoir scientifique possède donc un caractère de nécessité²⁹. Orange (2002, p. 30) le désigne comme un savoir à valeur apodictique. C'est à « *savoir pourquoi cela ne peut être autrement* » qu'il faut mener les élèves plutôt qu'à des « *savoir que* » car, comme le précise Reboul, « *réduire l'enseignement à l'apprendre que, c'est vouer l'esprit à rester passif, à apprendre sans comprendre* » (1995, p. 27). Nous pouvons conclure avec Fabre que si « *les explications perdent tout caractère de nécessité* », ce ne sont plus des savoirs scientifiques, mais de « *simples réponses factuelles qui se succèdent au hasard* » (Fabre, 1999, p. 194).

C'est avec l'intention de permettre aux élèves de construire un savoir fonctionnel sur la notion de mitose³⁰ qu'un groupe de professeurs de sciences de la vie et de la Terre (SVT) de l'académie de Caen s'est engagé dans un travail de formation dans le cadre d'un groupe de formation action (GFA)³¹. Le travail du GFA s'appuie principalement sur le produit des recherches menées en didactique des SVT par l'équipe du CREN et c'est le cadre de la problématisation qui a été mobilisé (Fabre, 1999, 2005 ; Orange, 1997, 2000, 2002, 2005) pour concevoir les situations mises en œuvre en classe et analyser l'activité des élèves dans ces situations.

C'est ce parcours, de la formation à ses effets sur les apprentissages des élèves, qui sera présenté dans cette contribution.

2. Articulation formation des enseignants / dispositif d'enseignement mis en œuvre / activité des élèves

Le thème de la génétique a été choisi car peu de travaux de didactique des SVT portent sur les questions d'enseignement/apprentissage des

concepts de génétique et car le thème de la mitose nous permettait de mettre en place une étude curriculaire de la classe de 3^e à la classe de 1^{re}S³².

■ 2.1. Une analyse didactique a priori du savoir en jeu

En 3^e, la notion de mitose³³ est décrite dans les programmes de la façon suivante : « * *La division d'une cellule est préparée par la duplication de chacun de ses 46 chromosomes,*

²⁹ Est nécessaire ce dont le contraire est impossible.

³⁰ D'autres membres du GFA travaillent sur d'autres objets : reproduction, méiose, immunologie, évolution.

³¹ La particularité de ce dispositif est de proposer une formation qui s'inscrit dans la durée (3 ans, 24h de formation par an).

³² Élèves de 14-15 ans en 3^e, 16-17 ans en 1^{re} S.

³³ Même si le terme n'est pas exigible en classe de 3^e.

se caractérise par la séparation des chromosomes obtenus, chacune des deux cellules formées recevant 23 paires de chromosomes identiques à ceux de la cellule initiale » (France : MEN, 1998, p. 116-117). En 1^{re}S, la notion de mitose apparaît dans la partie : « la morphogenèse végétale et l'établissement du phénotype » du programme de sciences de la vie. Le terme de mitose est explicitement cité dans le programme et les trois points suivants doivent être abordés : « - au cours de l'interphase du cycle cellulaire, la réplication de l'ADN s'effectue selon un mécanisme semi-conservatif, fondé sur la complémentarité des bases ; - les structures cellulaires se modifient lors de la mitose ; - chaque cellule fille issue de la mitose contient le même patrimoine génétique que la cellule initiale » (France : MEN, 2000, p. 219). En 3^e, on en reste au niveau d'organisation chromosomique globale alors qu'en 1^{re}S, l'étude est réalisée à l'échelle moléculaire, même si, dans les deux cas, une double dimension matérielle et informationnelle est en jeu.

À partir de cette analyse des programmes, nous avons choisi de modéliser le problème de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles génétiquement identiques en utilisant une distinction introduite par Martinand (1992) et reprise par Orange : distinguer les éléments qui relèvent du registre empirique (ce qui est observable, mesurable...), des éléments qui relèvent du registre du modèle. Orange indique que la problématisation « met en tension critique le savoir, c'est-à-dire qu'elle articule explicitement des contraintes empiriques, repérées comme pertinentes, avec des conditions de possibilité des modèles explicatifs » (2000, p. 27). Mais la problématisation, telle qu'elle est décrite par Orange correspond à l'activité que l'élève doit accomplir pour construire un problème scientifique. Dans cette première phase du travail, nous faisons simplement une description des éléments que nous voudrions voir utiliser par les élèves et la façon dont ils doivent être mis en relation pour permettre de construire le problème de la mitose. Pour ne pas risquer de confusion entre ce travail d'analyse du savoir préalable et l'analyse qui sera faite des débats scientifiques enregistrés en classe, nous utiliserons, dans ce premier temps, la distinction entre des éléments qui pourraient avoir un statut de contrainte et ceux qui pourraient avoir un statut de nécessité³⁴. Nous avons identifié plusieurs éléments qui pourraient devenir des contraintes :

- toutes les cellules d'un même individu ont le même caryotype (même nombre de chromosomes qu'ils soient à 1 ou 2 chromatides). Il s'agit d'un élément que les élèves de 3^e et de 1^{re} S ont pu observer aux cours des séances précédentes (par observation et comparaison des caryotypes) ;
- toutes les cellules ont la même information génétique ;
- la cellule-œuf est à l'origine de toutes les autres cellules par divisions successives (les cycles de développement construits depuis la classe de 6e reposent sur cette notion).

Des éléments qui pourraient acquérir le statut de nécessité peuvent être associés :

- la nécessité du maintien du nombre de chromosomes permet d'expliquer que toutes les cellules de l'organisme issues de la division de la cellule œuf ont le même caryotype ;
- la nécessité d'une transmission intégrale de l'information génétique au cours de la division cellulaire permet d'expliquer que toutes les cellules de l'organisme issues de la division de la cellule œuf ont la même information génétique ;

³⁴ Ce statut de contrainte et de nécessité est construit lors des débats scientifiques lorsque des éléments du registre empirique sont articulés de façon fonctionnelle (dans un raisonnement plus ou moins explicite) avec des éléments du registre du modèle.

- la nécessité d'une duplication de chacun des chromosomes pour que chaque cellule fille issue de la division cellulaire puisse de nouveau entrer en division. La duplication nécessite un apport de matériel constituant les chromosomes.

La construction du concept de mitose est à l'articulation entre ces différentes nécessités qui ne se situent pas exactement sur le même plan épistémologique. En effet, la nécessité du maintien du nombre de chromosome se situe à un niveau matériel alors que la nécessité de la transmission intégrale de l'information génétique se situe à un niveau informationnel et nous avons fait l'hypothèse que la prise en compte de ces différents niveaux indépendamment l'un de l'autre par les élèves pourrait constituer un obstacle pour accéder au problème de la transmission de l'information génétique (Lhoste & Roland, à paraître).

■ 2.2. Le dispositif mis en œuvre en classe

Suite à l'analyse du savoir en jeu, nous avons construit le dispositif qui repose sur une activité de classe classique que l'on retrouve dans de nombreux manuels³⁵. Il s'agit d'un travail individuel de modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule-mère à deux cellules filles (tableau 1). Compte tenu de l'analyse préalable du savoir, nous avons souhaité mettre à disposition des élèves des éléments qui relèvent des deux niveaux cités ci-dessus : les chromosomes pour la dimension matérielle et les allèles ou la couleur indiquant l'origine du chromosome pour la dimension informationnelle. Nous avons couplé cette activité classique à un débat scientifique car il nous semble nécessaire *« qu'à côté des activités "pratiques", les élèves, de l'école au lycée, aient la possibilité de développer des idées explicatives qui ne se réduisent pas à la production d'une ou deux hypothèses rapidement collectées par le professeur mais qui donnent lieu à de véritables débats scientifiques dans la classe »* (Orange, 2002, p.20). Ces débats n'auront pas pour fonction de valider l'une ou l'autre des propositions des élèves, mais de permettre aux élèves de construire le problème de la mitose dans le cadre d'une activité de problématisation.

Tableau 1. Tâche proposée aux élèves en 3^e et 1^{er}S

	3 ^e	1 ^{er} S
But	« Expliquer comment on passe d'une cellule œuf aux millions de cellules qui forment un organisme adulte ? ». On propose aux élèves de faire une modélisation, réduite au cas de la division d'une cellule mère en deux cellules filles.	Les élèves doivent représenter, à partir d'une paire de chromosomes à deux chromatides, comment une cellule-mère donne deux cellules filles.
Contraintes de situation	<ul style="list-style-type: none"> - représentation de la paire de chromosomes n°1 et la paire de chromosomes n°9 ; - les chromosomes seront représentés avec deux chromatides ; - modéliser une cellule d'un individu porteur, sur les chromosomes 1, des deux versions du gène rhésus : l'allèle rhésus + 	<ul style="list-style-type: none"> - les chromosomes portent 2 couleurs différentes pour indiquer l'origine (paternelle ou maternelle) de chacun de ses chromosomes ; - les chromosomes sont représentés avec deux chromatides.

³⁵ Ce type d'activité est proposée dans la plupart des manuels scolaires pour la classe de 3^e : Belin, 1999, p.27; 2003, p. 27 ; Bordas, 1999, p. 29 ; Nathan, 1999, p. 37; 2003, p. 33. Notons également que les dispositifs proposés sont différents de celui que nous avons mis en œuvre. Nos choix didactiques reposant sur l'analyse didactique présentée à la section 2.1.

	et l'allèle rhésus – et, sur les chromosomes 9, des deux versions du gène groupe sanguin : l'allèle A et l'allèle B.	
--	--	--

■ 2.3. Les analyses menées et la méthodologie d'analyse des données

Les deux dispositifs ont été mis en œuvre dans trois classes de 3^e³⁶ et une classe de 1^{re}S³⁷. Les productions individuelles des élèves ont été recueillies³⁸. Les débats scientifiques ont été enregistrés puis retranscrits. Ces données ont été analysées durant les séances de formation.

Les résultats que nous allons présenter reposent sur l'analyse de deux débats scientifiques, l'un mené en classe de 3^e et l'autre en classe de 1^{re}S³⁹. Ce que nous souhaitons présenter, c'est la façon dont les élèves construisent le problème de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles. Nous souhaitons également mettre à l'épreuve l'hypothèse présentée précédemment selon laquelle la prise en compte simultanée des niveaux matériels et informationnels, pour ce qui concerne l'information génétique/le gène, pourrait constituer un obstacle pour construire le concept de mitose.

La méthodologie d'analyse des échanges entre élèves utilisée est celle proposée par Orange (2000) et mise à l'épreuve dans différents champs des SVT (Orange, 2002 ; Beorchia, 2005, Lhoste, 2005 ; Orange-Ravachol, 2005). Orange (2000) distingue les éléments du registre empirique⁴⁰, des éléments du registre du modèle⁴¹. La mise en relation entre des éléments du registre empirique et des éléments du registre du modèle permet d'établir le caractère de contrainte ou le caractère de nécessité des ces différents éléments.

Nous allons présenter maintenant certains résultats de notre étude.

3. Les problèmes construits par les élèves

L'analyse des débats selon la méthodologie rapidement explicitée ci-dessus nous a permis d'identifier les problèmes construits par les élèves de 3^e et ceux de 1^{re}S. Nous allons présenter la problématisation qui s'est développée dans la classe de 3^e, celle qui s'est développée dans la classe de 1^{re}S puis nous discuterons les résultats obtenus.

³⁶ Classes d'Armelle Roland, Collège Jean Castel, Argences (14).

³⁷ Classe d'Annaïg Le Jossic, Lycée Emile Littré, Avranches (50)

³⁸ L'analyse des procédures des élèves reposant sur une grille d'analyse épistémologique du concept de gène a été présentée dans un autre article (Lhoste & Roland, à paraître).

³⁹ Le script complet du débat de 3^e est présenté dans l'annexe 1 de cet article. Le script complet du débat mené en classe de 1^{re}S est présenté dans l'annexe 1 de l'article suivant (Le Jossic & Lhoste).

⁴⁰ Ces éléments seront catégorisés, dans les analyses que nous mènerons, en RE.

⁴¹ Ces éléments seront catégorisés, dans les analyses que nous mènerons, en RM.

■ 3.1. Problème construit par les élèves de 3e

À partir de l'analyse d'un débat conduit dans la classe de 3^e, nous avons identifié les contraintes empiriques et nécessités suivantes que nous présentons à partir de l'analyse de 3 extraits du débat.

Extrait 1

24	Ens.	Bon, qu'est-ce que tu as fait là, Camille ?	
25	Camille	J'ai réparti pour que les cellules soient pareilles, pour que chaque cellule ait le même nombre.	RE-RM

Dans cet échange, nous avons identifié une nécessité sur les modèles, celle d'une équirépartition des chromosomes, articulée à la contrainte empirique formulée par Camille de la façon suivante : « pour que les cellules soient pareilles, pour que chaque cellule ait le même nombre ». Pour nous, il s'agit d'une contrainte empirique puisqu'elle repose sur l'analyse et l'observation de documents dans les séances précédentes. Le « pour que » indique le caractère explicite de la mise en relation.

Extrait 2

31	Ens.	D'autres solutions ? J'ai vu d'autres choses en passant. Claire, tu vas nous faire ça, s'il te plaît. (Claire dessine le cas 6.) Qu'est-ce que tu as fait, toi, Claire ?	
32	Claire	J'ai partagé les chromosomes pour qu'il y ait une partie de chaque.	RE-RM
33	Ens.	Une partie, ça s'appelle comment, tu te rappelles ?	
34	Collectif	Chromatide.	
(...)			
37	Coralie	C'est plus logique que ce soit le troisième cas. [celui présenté par Claire en 32]	
38	Ens.	Pourquoi ?	
39	Claire	Parce que toutes les informations sont transmises dans chaque cellule-fille.	RE-RM

Ici, la nécessité d'un partage des chromatides est articulée, dans un raisonnement (« pour que »), à une contrainte : les deux cellules filles ont la même information que la cellule mère. Il s'agit également d'une contrainte empirique dans le même sens que celle présentée précédemment. Son statut de contrainte semble construit par les élèves puisqu'elle permet d'établir l'impossibilité des deux premières propositions présentées.

Extrait 3

47	Baptiste	Dans le cours on avait dit que les chromatides, elles devaient être identiques.	RMc42
----	----------	---	-------

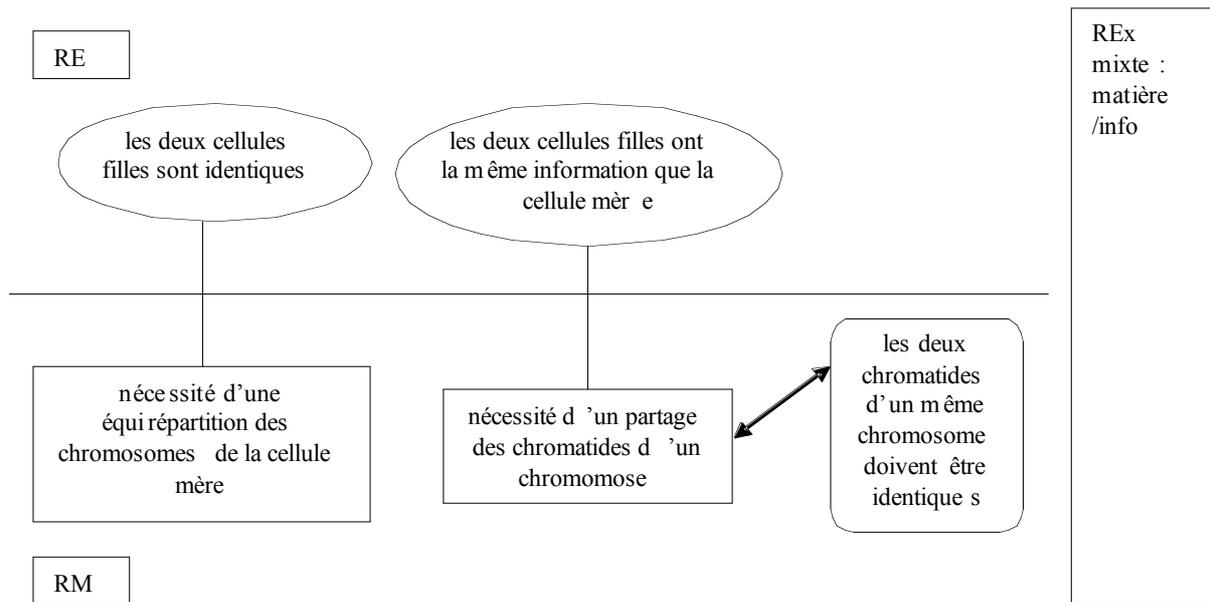
Cet extrait permet de pointer une nouvelle contrainte : « les deux chromatides d'un même chromosome sont identiques ». Pour nous, le statut de contrainte de cette proposition semble acquis puisqu'il permet à Baptiste de rejeter proposition présentée par Claire en 32.

⁴² RMc : Élément du registre des modèles comportant une dimension critique.

Par contre, nous pensons qu'il s'agit d'une contrainte théorique puisqu'il s'agit d'une règle imposée par la professeure à ce moment du cours⁴³.

La mise en relation entre ces différentes contraintes et nécessité provoque une fermeture du problème qui va permettre à Rémi de proposer un nouveau modèle qui respecte les différentes contraintes et nécessités formulées jusqu'ici (Rémi en 55 : « On met une seule chromatide de chaque chromosome »). L'espace de contraintes qui reprend ces différentes contraintes et nécessité est représenté sur la figure 1. Ce débat se développe dans un registre explicatif mixte qui mêle les niveaux matériel et informationnel.

Figure 1. L'espace de contraintes représentant le problème construit par les élèves de la classe de 3e



■ 3.2. Problème construit par les élèves de 1^{re}S

La principale différence, entre les deux dispositifs mis en œuvre, concerne l'introduction, dès le début du travail en 1^{re}S, d'un graphique qui représente l'évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire.

Analysons quelques extraits du débat en classe de 1^{re}S pour caractériser le problème construit par les élèves.

Extrait 1

10	Ens.	En dessous, est-ce que tu pourrais me tracer, et vous l'aidez s'il n'y arrive pas, le graphique de la variation de la quantité d'ADN dans le noyau des cellules qui sont représentées. Vous vous souvenez de l'exercice qu'on a fait ? Tu traces un repère orthonormé, on essaie de représenter schématiquement comment varie la quantité d'ADN d'une cellule mère à une	
----	------	--	--

⁴³ Pour comprendre la raison de cette règle, il faut savoir qu'une chromatide provient de la duplication de la chromatide issue de la mitose. Les élèves traiteront de la question de la duplication à la séance suivante.

		cellule fille ? Dans le noyau d'une des deux cellules filles, on est bien d'accord ? Les chromosomes sont comment au départ ?	
11	Elève	Un couple de chromosomes	
12	Ens.	Chaque chromosome est constitué comment ?	
13	Elève	Deux chromatides	
14	Ens.	Il est double ? on avait vu ça ?	
15	Elève	Oui	
16	Ens.	Cela correspondait à quoi au niveau de la quantité d'ADN de notre graphique ? Le plateau inférieur ou le plateau supérieur ?	
17	Elève	Le plateau supérieur	RE
18	Ens.	Et par rapport à la cellule fille alors ? Pas la cellule intermédiaire, mais ton résultat, voilà	
19	Elève	C'est divisé par deux	RM

Cet extrait présente comment les élèves mettent en relation la contrainte empirique suivante : la quantité d'ADN est divisée par deux au moment de la division cellulaire et la nécessité d'une séparation des chromatides. Nous pensons que la séparation des chromatides des chromosomes a le statut d'une nécessité, et pas seulement d'un possible parmi d'autres⁴⁴, car les élèves remobilisent cette nécessité à plusieurs reprises dans le débat (exemple d'une intervention d'un élève en 52 : « Oui, il faut que les chromosomes se divisent, donc c'est pareil que le groupe d'avant »).

Extrait 2

27	Elève	Et si on place des gènes ?	
28	Ens.	Comment faire ? Il y en a 4 ? Est-ce que les deux chromosomes ont les mêmes gènes ?	
29	Elève	Non	
30	Ens.	Ah bon?	
31	Elève	Si, les deux chromosomes ont les mêmes gènes, mais pas forcément les mêmes allèles, alors ça ne peut pas marcher	RMc
32	Ens.	Pourquoi ? i les versions du gène sont les mêmes ? Et ici, on dit quoi ?	
33	Elève	On s'intéresse à un même gène, mais avec pas les mêmes versions...	
34	Ens.	Pouvez-vous figurer cela sur les schémas ?qu'est-ce qui est discutable ?	
35	Elève	Donc les deux gènes en plus ici ne sont plus présents dans la même cellule ? La cellule fille obtenue ?	RMc
36	Ens.	Comment compléter ? Pourquoi un second gène ?	
37	Elève	Pour qu'ils se retrouvent bien dans les cellules	RE+

Le raisonnement, présenté dans cet extrait, permet aux élèves d'articuler la nécessité d'une séparation des chromatides à la contrainte empirique : les cellules issues de la division doivent avoir la même information génétique que la cellule mère. Le raisonnement ne porte pas directement sur la nécessité, qui reste implicite, mais sur l'inverse de la nécessité car s'il n'y a pas séparation des chromatides alors « les deux gènes en plus ici ne sont plus présents dans la même cellule » et comme « ça ne peut pas marcher », la nécessité est fondée en tant que telle « pour qu'ils [les allèles] se retrouvent bien dans les cellules », c'est-à-dire dans les deux cellules filles.

Extrait 3

116	Ens.	Tu veux toi essayer de représenter la montée progressive de l'ADN ? Et tu représentes directement un bleu un rouge, un bleu un rouge ?	
-----	------	--	--

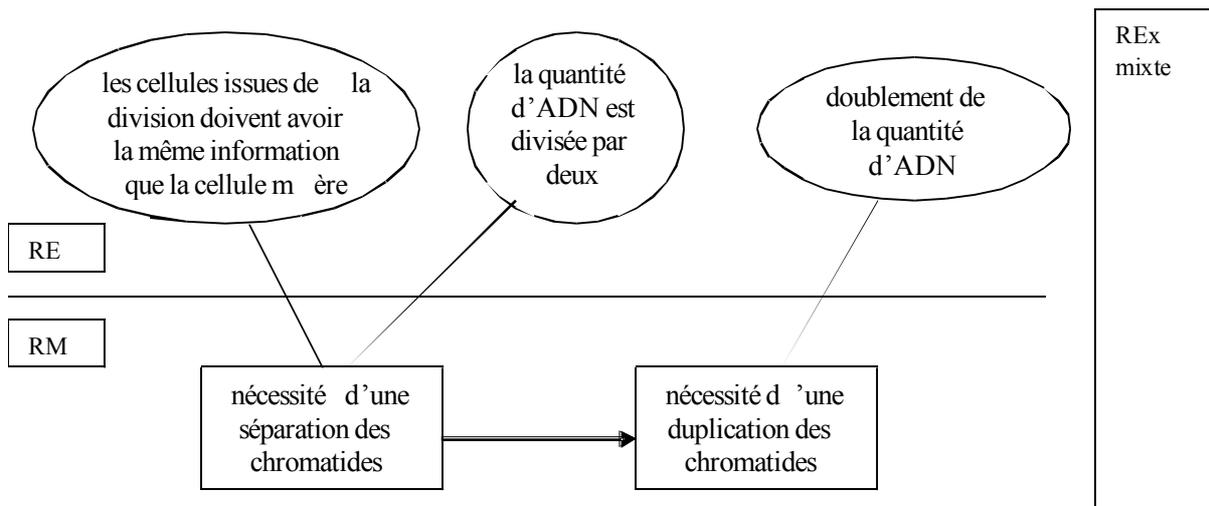
⁴⁴ Le passage de 4 chromosomes à 2 chromatides à 2 chromosomes à 2 chromatides pouvant également expliquer la diminution de la quantité d'ADN par deux.

117	Elève	Pardon ?	
118	Ens.	Tu représentes directement les deux chromatides séparées de chaque coté finalement ?	
119	Elève	Ben oui, ça se divise en deux et ça migre chacun vers les cellules	RM
120	Ens.	Mais comment représenter alors l'augmentation progressive de l'ADN, on l'a pas là ?	
121	Elève	Voilà avec les dessins d'après, chaque chromatide chacune les unes après les autres se remultiplient, comme ça ça augmente peu à peu...	RE- RM

Cet extrait fait apparaître l'articulation entre la nécessité d'une duplication des chromatides pour reformer un chromosome à deux chromatides et la contrainte représentées par le graphique de l'évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire. Il convient d'observer que cette idée/nécessité de duplication est présente à plusieurs reprises dans le débat (en 62 et 106) et que l'on trouve seulement à la fin du débat un raisonnement qui permet de fonder la contrainte et la nécessité. Il faut également noter que c'est à partir du moment où les élèves proposent la séparation des deux chromatides d'un chromosome qu'ils envisagent la nécessité d'une duplication.

La figure 2 représente le problème construit par les élèves de 1^{re}S

Figure 2. L'espace de contraintes représentant le problème construit par les élèves de la classe de 1^{re}S



■ 3.3. Discussion

La comparaison entre ces deux problématisations nous permet de discuter quelques points.

Les problèmes construits dans les deux classes ne sont pas les mêmes. On a déjà indiqué en quoi le graphique présentant l'évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire introduit des contraintes empiriques qui permettent aux élèves de construire deux nécessités qui n'apparaissent pas en classe de 3^e. D'une part, l'appui sur les données de ce graphique permet de fonder la nécessité d'une séparation des deux chromatides sur un niveau matériel, en plus de le fonder sur le niveau informationnel (comme en 3^e) ; d'autre part, il permet d'établir la nécessité d'une duplication des chromosomes. Nécessité qui sera

également construite avec les élèves de 3^e à la séance suivante. Ainsi, ce document permet de mettre en relation les deux dimensions matérielle et informationnelle. Dans la classe de 3^e, la mise en relation entre ces deux niveaux n'a pas lieu et c'est la convocation d'une règle (les deux chromatides d'un même chromosome sont identiques) qui permet de fermer le problème.

Il nous semble que les analyses présentées précédemment viennent étayer notre hypothèse d'une difficulté rencontrée par les élèves pour prendre simultanément en charge les dimensions matérielle et informationnelle du concept de gène/information génétique. En effet, les élèves de 3^e n'arrivent jamais à mettre en relation ces deux dimensions (ce qui se traduit dans l'espace de contraintes représenté sur la figure 1 par une non-relation entre les niveaux matériel et informationnel). Dans la classe de 1^{re}S cette articulation est permise par les va-et-vient entre la discussion critique sur les modèles construits par les élèves la mobilisation de l'évolution de la quantité d'ADN dans la cellule au cours du cycle cellulaire. De plus, nous avons relevé certains extraits dans les deux débats qui indiquent des confusions entre ces deux niveaux (tableau 2).

Tableau 2. Confusions entre la dimension matérielle et informationnelle de l'information génétique/ du gène

Extraits	Interprétation
3e – 25 : « J'ai réparti pour que les cellules soient pareilles, pour que chaque cellule ait le même nombre. »	Confusion entre une similitude des cellules filles sur la base du même nombre de chromosomes ou des mêmes allèles représentant l'information disponible. Il peut y avoir une difficulté sur l'identité entre cellules filles et identité entre cellule mère et cellules filles.
3e – 49 : « Je crois que, chaque fois, dans chaque cellule y'a des paires de chromosomes identiques. »	Il y a du flou sur ce qui est pareil dans les deux cellules. Est-ce que c'est la structure du chromosome (chromosomes bichromatidiens) qui doit être conservée ou l'information portée par ces chromosomes.
2 Ens. : Le dessin du milieu, qu'est-ce qui s'est passé alors ? 3 Elève : Ben, les deux chromatides se sont séparées 4 Ens. : Pourquoi ? 5 Elève : Je ne sais pas 6 Ens. : Et alors, le dessin d'en dessous, c'est quoi ? 7 Elève : Une chromatide d'origine paternelle et une chromatide d'origine maternelle qui s'assemblent 8 Ens. : Donc ce sont les deux cellules filles obtenues ? 9 Elève : Oui voilà	Il nous semble que cet extrait du débat de 1 ^{re} S montre une confusion, d'une autre nature, liée au rôle important pour les élèves joué par la structure du chromosome. Dans un premier temps l'élève sépare les deux chromatides d'un chromosome pour ensuite associer une chromatide d'origine maternelle et une chromatide d'origine paternelle afin d'obtenir un chromosome bichromatidien, comme les cellules de départ. C'est la forme du chromosome qui prime.

Nous avons déjà proposé que le terme « même » très polysémique puisse participer à ces confusions (Lhoste & Roland, à paraître). Nous pouvons conclure de ces analyses la nécessité de proposer, dans des activités de modélisation de ce type, deux types d'éléments. D'une part, un élément faisant explicitement référence à la dimension informationnelle de l'information génétique (positionner des allèles sur les chromosomes) et, d'autre part, un élément lié à la dimension matérielle de l'information génétique (comme une courbe représentant l'évolution de la quantité d'ADN dans la cellule au cours du cycle cellulaire).

Un dernier point nous est apparu lors de l'analyse comparative de l'activité de problématisation. Il s'agit de la plus grande facilité des élèves de 3^e à s'engager dans ce

type d'activité comparativement aux élèves de 1^{re}S. En effet, à de nombreuses reprises dans le script de la classe de 1^{re}S, les élèves en restent à l'affirmation de ce que l'on pourrait considérer comme un savoir partagé. Les deux exemples ci-dessous tentent d'illustrer notre propos.

Exemple 1

47	Ens.	Pourquoi représentez-vous les K comme ça ?
48	Elève	Parce que c'est comme cela que ça se représente

Exemple 2

58	Elève	Comme ça c'est clair (pointillés) et puis les chromatides gauches vont en haut et les droites vont en bas, on a donc les chromatides gauches en bas...
59	Ens.	Les gauches ou les droites ?
60	Elève	Non, le contraire
61	Ens.	Donc les gauches en haut et les droites en bas ?
62	Elève	Oui, et la cellule se divise comme ça, et chaque chromatide en fabrique une autre

Ici, il nous semble que les élèves s'appuient sur le registre du savoir scientifique partagé. Comme ils ont compris, qu'à l'école, on doit utiliser des éléments de savoir pendant les activités en classe, ils mobilisent des savoirs formels qui bloquent l'activité de problématisation. Ce constat pose également la question du rôle des interventions de l'enseignant qui doivent permettre, malgré tout, le développement de l'activité de problématisation des élèves. Dans les cas présentés ci-dessus, seul un questionnement en pourquoi permettra de questionner les évidences et favorisera le développement de l'activité de problématisation des élèves.

4. Conclusion

Nous pensons avoir montré comment l'importation des certains produits de la recherche en didactique des SVT dans le cadre d'un stage de formation continue des enseignants peut avoir des conséquences sur les apprentissages des élèves.

En effet, le contrôle didactique des dispositifs proposés, l'articulation entre des moments de construction des modèles et de leur discussion critique permet aux élèves de construire des savoirs scientifiques ayant un caractère de nécessité. Cela permet de dépasser l'accumulation de savoirs figés qui pourrait conduire les élèves à avoir une image dogmatique du savoir scientifique.

Pour finir, nous voudrions affirmer l'importance de ce travail de formation continue des enseignants en lien avec les produits de la recherche. En effet, les outils proposés par les chercheurs permettent aux enseignants de s'engager dans une analyse outillée et rationnelle de leur pratique professionnelle (qu'il s'agisse de la construction de dispositifs d'enseignement, ou de la façon dont ils conduisent les apprentissages) qui nous semble être au cœur de la construction de l'expertise enseignante.

Bibliographie

- Bachelard G. (1938/1993). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bachelard G. (1949/1998). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Beorchia F. (2005). Débat scientifique et engagement des élèves dans la problématisation. Cas d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement en CM2. *Aster*, n° 40, p. 121-151.
- Canguilhem G. (1965/2003). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- Clément P. (1998). *La biologie et sa didactique, dix ans de recherche*. Aster, n° 27, p. 57-89.
- Coquidé M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n° 26, p. 109-132.
- Deleuze G. (1968). *Différence et Répétition*. Paris : PUF.
- Fabre M. (1999). *Situations problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- Fabre M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, vol. 3, p. 53-66.
- Fourez G. (1991). Des finalités des cours de sciences. *Les Cahiers Pédagogiques*, n° 298, p. 33-36.
- France : Ministère de l'Éducation Nationale (1998). *BO Hors série* n° 10 du 15 octobre 1998.
- France : Ministère de l'Éducation Nationale (2000). *BO Hors série* n° 7 du 31 août 2000.
- Jouary J.-P. (1996/2002). *Enseigner la vérité*. Paris : L'Harmattan.
- Jouary J.-P. (2003). Enseigne-t-on les sciences à l'école. In *Prendre la politique avec philosophie*. Paris : Éd. La dispute.
- Lhoste Y. (2005). Argumentation sur les possibles et construction du problème dans le débat scientifique en classe de 3^e sur le thème de la nutrition. *Aster*, n° 40, p.153-176.
- Lhoste Y. & Roland A. (à paraître). Modélisation de la transmission de l'information génétique en classe de 3e : pour quels apprentissages ? In M. Coquidé. *La génétique*. Paris : Vuibert : Adapt-Snes
- Martinand J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Martinand J.-L. (dir.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Orange C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Les Cahiers Pédagogiques*, n° 409, p. 19-20.
- Orange C. (2002). Apprentissage scientifique et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n°1, p. 25-41.
- Orange C. (2005). Problématisation conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 3, p. 69-93.
- Orange-Ravachol D. (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et les lycéens. *Aster*, n° 40, p. 177-204.
- Porlan Ariza R., Garcia Garcia E., Rivero Garcia A., & Martin Del Pozo R. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. *Aster*, n° 26, p. 207-235.

Reboul O. (1980/1995). *Qu'est-ce qu'apprendre ?* Paris : PUF.

Rumelhard G. (1992). L'enseignement de la biologie comme culture. *Aster*, n° 15, p. 145-167.

Annexe 1. Le script du débat mené en classe de 3^e***Premier débat : Phase de mise en commun après la modélisation***

1	Ens.	Au début, notre cellule-œuf a 46 chromosomes et au bout de 9 mois on a donc un individu qui possède plusieurs cellules et chacune étant à 46 chromosomes. Nous ce que l'on va essayer de résoudre, c'est qu'est-ce qui se passe là (montre la flèche).
2	Antoine.	Les cellules, elles se multiplient.
3	Ens.	Ecrit le titre au tableau (La transmission de l'information génétique au sein d'un même organisme. On va s'intéresser dans un premier temps au mécanisme de la division cellulaire.)
4	Ens.	Règle des problèmes matériels.
5.	E	On va pas essayer de comprendre comment la cellule œuf, enfin, on va pas tout faire de ça sinon à la fin de l'année on est encore dans la génétique. C'est comme en mathématique, en mathématique si on sait compter de 1 jusqu'à 100, on sait compter jusqu'à l'infini, c'est toujours la même chose. De la même façon, si on comprend comment on passe d'1 à 2 cellules et ben on comprendra comment on passe de 2 à 4, etc. etc. Nous on va juste travailler sur le passage de 1 à 2 c. Et de la même façon, pour que ce soit plus simple pour nous, on va juste travailler avec 2 paires de chromosomes au lieu des 23 paires, cela va simplifier énormément notre démarche. Donc, finalement nous on va essayer de comprendre comment la cellule œuf, dans cette cellule œuf, j'ai choisi deux paires de chromosomes. J'ai choisi tout d'abord la paire de chromosomes 9. On peut les représenter tout simplement comme ceci. La paire de chromosome porte le gène groupe sanguin et j'y place les allèles A et B. Et l'autre paire de chromosomes que j'ai choisis, c'est la paire de chromosomes n°1 qui le gène rhésus, avec des allèles – et des allèles +. Donc cette cellule, on a dit qu'elle allait se diviser, c'est-à-dire en donner combien ?
6.	collectif	Bah 2
7	E	Et ces cellules, on les appelle des cellules filles. Et ce qui nous intéresse nous, qu'est-ce qui se passe au niveau chromosomique dans ces deux cellules filles.
8	Chloé	Je comprends pas le dessin.
9	E	J'ai une paire de chromosomes que j'ai mis en rouge avec des allèles A et B. C'est une autre façon de représenter les chromosomes et j'ai une autre paire de chromosomes où j'ai indiqué aussi les allèles + et – du gène rhésus, vous savez O+, A-, donc j'ai mis – et + comme allèle. C'est bon ? Donc utiliser les couleurs ça va être très important.
10	E	Alors, ce que je vais vous demander comme travail, et ben c'est d'imaginer ce que l'on va avoir comme chromosomes dans les deux cellules filles. Je vais vous demander de la faire sur un petit papier que je vais ramasser, ce ne sera absolument pas noté. Donc vous me faites ce que vous proposez comme solution et après on en discuter.
11		Pourquoi on appelle ça des cellules-filles ?
12	E	
13	E1	Madame, mais on peut pas l'inventer.
14	E	On peut pas inventer, toujours ça vous bloque parce que c'est des sciences. T'as 4 bonbons en poche, 2 rouges et 2 verts. En face de toi t'as deux enfants, comment tu vas faire ? tu vas partager ? comment tu vas partager ?
15	E1	Je vais donner...
16	E	Ben moi, j'en sais rien, tu te débrouilles, tu partages en tout cas. C'est pareil que les bonbons.
17	Lucie	XXX
18	E	Vous me faites comment vous allez partager les chromosomes, comme vous partageriez les bonbons.
19	E	Oui, c'est très juste, c'est très simple ce que je vous demande. ... J'ai ma cellule-fille qui a deux paires de chromosomes à deux chromatides, on cherche à savoir comment elle va en donner 2, 4, etc. D'accord, ça donne 2 cellules, ça on le sait. Ce qui nous intéresse, c'est les chromosomes, l'information héréditaire, qu'est-ce qui se passe ? Donc, comment je passe d'ici, à l'intérieur de là (montre sur le tableau). C'est le principe des 4 bonbons que je donne aux deux enfants. C'est mathématique, j'ai 4 chromosomes et 2 cellules.
20	E2	(montre son travail) C'est bon ?
21	E	C'est une solution, il y en a peut-être d'autres. Gardez-moi les couleurs ce sera plus facile pour ... Là je vous oblige à... Là c'est une première solution, il peut y en avoir

		d'autres. Ah bah, tout ce qui te vient dans la tête.
22	E	Camille, tu veux bien aller faire ton dessin au tableau ?
23	E	Tu nous places les allèles, s'il te plaît ? Camille dessine.
24	E	Bon, qu'est-ce que tu as fait là, Camille ?
E(	Camille	J'ai réparti pour que les cellules soient pareilles, pour que chaque cellule ait le même nombre.
26	E	Tu as réparti pour que chaque cellule en ait le même nombre ? Oui et quoi d'autre ?
27	Camille	Ben...J'en ai mis un de chaque paire.
28	E	Tu as mis un chromosome de chaque paire dans chaque cellule-fille. Vous êtes beaucoup à avoir proposé cette solution-là. Combien ? Vingt, merci beaucoup. Une autre ?
29	E	Tu as fait quoi, toi David ?
30	David	J'ai mis deux chromosomes différents dans chacune des cellules.
31	E	Tu as séparé les paires de chromosomes ? D'accord. Vous êtes nombreux à avoir proposé ça ? 14...15. Merci beaucoup. D'autres solutions ? J'ai vu d'autres choses en passant. Claire, tu vas nous faire ça, s'il te plaît. (Claire dessine le cas 6.) Qu'est-ce que tu as fait, toi, Claire ?
32	Claire	J'ai partagé les chromosomes pour qu'il y ait une partie de chaque.
33	E	Une partie, ça s'appelle comment, tu te rappelles ?
34	Collectif	Chromatide.
35	E	Elle a séparé les chromatides d'un chromosome. On a parcouru toutes les solutions. Y en a beaucoup qui avaient fait ça. Trois élèves ? quatre élèves ? Je crois que c'est tout, à peu près tout. Vous êtes d'accord, tout le monde ? On a parlé de tout ce que vous avez dessiné.
36	E	Alors je vous écoute. Qu'est-ce que vous pensez de ce qu'il y a au tableau ?
37	Coralie	C'est plus logique que ce soit le troisième cas.
38	E	Pourquoi ?
39	Claire	Parce que toutes les informations sont transmises dans chaque cellule-fille.
40	E	Parce qu'au moins toutes les informations sont transmises ? C'est ça ce que tu dis ? Bon. Euh . Ok. Donc ça voudrait dire que dans les autres cas l'information n'est pas transmise ?
41	E X	Si... mais pas toute l'information dans chaque cellule.
42	E	Pas toute l'information ? Tout le monde est d'accord ?
43	Rémi	Non.
44	E	Non, Rémi, pourquoi t'es pas d'accord ?
45	Rémi	Parce qu'on reçoit pas toutes les informations héréditaires de nos parents.
46	E	Attention, là on n'est pas dans le cas des parents Rémi. On est dans le cas c'est qu'au début on a une cellule-œuf et neuf mois plus tard, je suis un individu composé de nombreuses cellules. Attention on n'est pas chez les parents, Rémi, là. Tu vois ou pas ? Alors, Baptiste ?
47	Baptiste	Dans le cours on avait dit que les chromatides, elles devaient être identiques.
48	E	Donc tu nous dis ...Coralie nous dit que les deux premiers cas ça va pas parce qu'il n'y a pas maintien de l'information génétique. Et Baptiste nous dit oui mais c'est pas possible puisqu'on a vu les chromatides d'un même chromosome devaient être identiques.
49	Edeline	Je crois que, chaque fois, dans chaque cellule y'a des paires de chromosomes identiques.
50	E	Ouais des paires de chromosomes identiques. Donc ça veut dire que lesquelles sont pas bonnes ?
51	E	Toutes ! Alors qui peut aller me rayer déjà les deux premières en expliquant pourquoi on les raye celles-là. Ben, à la limite, Coralie, tu vas y aller puisque c'est toi qui l'as dit. Pourquoi on les raye ?
52	Coralie	Parce que toute l'information n'est pas transmise dans chaque cellule.
53	E	Marque-nous ça. Parce que toute l'information n'est pas transmise. Tout le monde est d'accord ?
		Coralie écrit au tableau.
54	E	La troisième, on a dit qu'on la rayait parce que ... l'information n'est pas identique. Et la deuxième, c'est la même chose donc tu la rayes aussi. La troisième on la dit qu'on la rayait parce que les chromatides sont pas identiques. Qui nous a dit cela ? C'est Baptiste. Tu vas nous rayer ça. Bah, on a un problème là. Alors est-ce qu'il n'y pas moyen de trouver autre chose qui permettrait de quand

		même pas contredire ce qu'on a vu dans le chapitre 1. Rémi ?
55	Rémi	On met une seule chromatide de chaque chromosome.
56	E	Tu peux nous faire un dessin.
57	E X	Ca revient un peu à ce que Claire avait fait.
57	E	Ca revient un peu à ce que Claire a fait. Sauf que Claire, qu'est-ce qu'elle avait fait ?
58	E X	Elle avait mélangés/rassemblés.
59	E	Elle les avait rassemblés. Alors que, là, Rémi, il ne les a pas rassemblés. Est-ce qu'on a maintien de notre information génétique ?
60	collectif	Oui.
61	E	Est-ce qu'on a... euh ...ben ... les chromatides, y a pas de souci. D'un même chromosome elles sont identiques puisse qu'il y en a qu'une. Est-ce que tout colle ?
62	E	J'ai une cellule-œuf avec quatre chromosomes, chacun étant avec deux chromatides. (Montre sur le tableau) Et là, j'ai bien quatre chromosomes qui ne sont qu'à une seule chromatides sauf qu'ils ne sont qu'à une seule chromatide.
63	E X	Et alors comment on fait quand y a trois cellules-filles ? On peut pas reprendre ...
64	E	Elles se divisent par deux. Une cellule en donne deux. D'accord ? C'est bon pour tout le monde ? Donc vous marquez cette hypothèse sur votre cours.

Deuxième débat : explications données par les élèves pour expliquer comment une des deux cellules-filles pourra de nouveau entrer dans une phase de division cellulaire

1	Ens.	Rappel du problème : comportement des chromatides lors de la division. Pour revisualiser tout cela, je vous ai mis sur vos tables ceci. Ceci, ça représente quoi ? Ici, j'ai quoi ?
2	Elèves	Deux chromosomes.
3	E	J'ai deux chromosomes avec des gènes, des chromosomes d'une même paire quand même, avec des gènes, d'accord, donc j'ai placé des gènes et j'ai placé des allèles. Des allèles différentes, ici j'ai le gène groupe sanguin avec l'allèle A et l'allèle O et de l'autre côté donc j'ai une autre paire de chromosomes et c'est les chromosomes quoi ça ?
4	collectif	XY
5	E	XY c'est-à-dire les chromosomes sexuels. Je vais vous demander avec ces deux paires de chromosomes de me faire deux cellules-filles. C'est bon ? Allez-y. (Les élèves effectuent le travail demandé par deux.) OK. Vous avez tous maintenant sur votre table une cellule-fille. Qu'est-ce qui se passe logiquement maintenant ? J'ai une cellule puis deux cellules-filles et donc ces nouvelles cellules-filles elles vont...
6	élève	...se diviser
7	E	Se diviser. Allez-y.
8	élèves	Agitation sonore.
9	élève	Un élève fait semblant de casser la pince à linge.
10	Aurélié	Ben, Madame, on peut pas.
11	E	Pourquoi on peut pas ?
12.	Aurélié	On va pas les casser.
13	E	Si on les casse ? Est-ce que cela fonctionne ?
14	E X	Non
15	E	Pourquoi ça fonctionne pas ?
16	Rémi	Parce qu'y aura plus d'allèle.
17	E X	Parce qu'il en reste que la moitié.
18	E	Y aurait la moitié de quoi ?
19	E X	D'un chromatide.
20	E	Ah, la moitié de la chromatide donc on perdrait ...
21	Rémi	Les allèles.
22	Chloé	Les informations héréditaires.
23	E	Les informations héréditaires. Ben oui, nous, on s'arrête pas à deux cellules. Moi, j'ai bien plus de deux cellules, alors qu'est-ce qui faut faire pour passer à la suite ?
24	Rémi	Si on les cassait dans la longueur ?
25	E	Donc si on les casse sur la longueur, donc on imagine qu'on les casse sur la longueur.
26	Chloé	On perd des informations aussi.

27	E	On perd des informations. Et puis surtout on serait qu'à quatre cellules avec la moitié d'une chromatide. T'imagines dans x divisions ? Alors qu'est-ce qu'il faut faire ?
28	E X	Elles vont se reformer.
29	E	Elles vont ...
29	E X	Elles vont se reconstituer en double pour ensuite se reséparer.
30	E	Et ben c'est notre hypothèse donc dans le cours. Le prof dicte ... Constat : on ne peut pas continuer les divisions à partir d'une cellule-fille telle qu'elle est. Donc notre hypothèse, Benjamin ?
31	Benjamin	Peut-être qu'elles vont se dédoubler ?
32	E	Redoubler, peut-être qu'il va y avoir reformation ...
33	E X	D'une chromatide.
34	E	D'une chromatide manquante. Donc hypothèse : peut-être qu'il va y avoir reformation de la chromatide manquante avant la prochaine division. Petit 2 : on complètera

La transmission de l'information génétique en classe de première S : apprentissage et problématisation

Annaïg Le Jossic, Professeure de SVT, Lycée Émile-Littré, Avranches ; IUFM de Basse-Normandie ; Annaig.Le-Jossic@ac-caen.fr

1. Cadre d'analyse des conceptions des élèves relatives à l'information génétique

Nous allons présenter ici une grille d'analyse des représentations des élèves à propos de l'information génétique/du gène que nous avons précédemment mise à l'épreuve dans un autre article (Lhoste & Roland, à paraître). Nous nous sommes appuyés sur certains travaux de Rumelhard qui relève qu'il existe plusieurs conceptions du gène et de l'information génétique (1986, p. 42-44) qui s'enchevêtrent. Nous pouvons ainsi proposer trois grandes catégories.

La première correspond à une conception matérielle de l'information génétique/du gène. Cette conception s'intéresse surtout à la nature du matériel génétique qui porte l'hérédité. Elle a prévalu durant les premiers travaux de recherche sur la nature de la substance qui assure la transmission de l'information génétique (Weismann et De Vries). Cette centration sur la nature de l'information génétique/du gène peut devenir un obstacle à la compréhension du concept de gène, comme l'indique Rumelhard (1986, p. 41-42). En témoignent les travaux de Mendel, délaissés car « *la majorité des théories développées entre 1860 et 1900 cherchaient à expliquer qualitativement l'hérédité* » (Pichot, 1999, p. 30).

Une seconde conception correspond à une conception mécaniste de gène/de l'information génétique (le gène particule décrit par O'Neil [1972, p. 225], entité isolée dans le chromosome). L'individu est décrit comme une mosaïque d'éléments juxtaposés. Pour Rumelhard (1986, p. 44), là encore, malgré des avancées, ce modèle peut avoir une fonction d'obstacle car il ne permettrait pas de comprendre ce qu'est « *le fonctionnement régulé et harmonieux des gènes d'une cellule ou d'un ensemble de cellules* ».

On montrera qu'une conception mixte peut émerger chez les élèves de collège, est-ce le cas au lycée ?

Une troisième conception correspond à une acception fonctionnelle du gène/information génétique. Elle est développée par Keller (2003). L'information génétique joue alors un rôle dans la transmission et la stabilité des caractères d'une génération à la suivante, mais aussi dans le développement d'un organisme. La notion de programme génétique renvoie à ce type de conception.

Il nous paraît donc que le programme de 1^{er}S risque de réduire la notion de gène/information génétique aux deux premières conceptions. Cela peut donc conduire à un obstacle à la construction du concept fonctionnel du gène, il nous semble intéressant de voir comment les élèves jonglent avec ces diverses conceptions au cours d'un débat scientifique qui confronte leurs modélisations de la transmission de l'information génétique au cours de la mitose.

Le programme leur a permis au préalable, dans la partie « phénotype, génotype, relations avec l'environnement » d'identifier les relations phénotype-génotype et interactions avec l'environnement. Ils ont pu mettre en évidence qu'un caractère peut être codé par plusieurs gènes, non isolément de son environnement.

Cette première étape a-t-elle permis de lever des obstacles quant à leurs conceptions du gène, ? Nous proposons de le diagnostiquer au cours de l'étude de la mitose, et de trouver s'il peuvent aller au-delà de la conception mixte évoquée précédemment.

2. La mitose en première S

■ 2.1. Présentation du dispositif de recueil de données

Les données ont été recueillies dans une classe de 1^{re} S d'Annaïg Le Jossic. La séance a été enregistrée puis transcrite. Les productions des élèves ont été récupérées et c'est l'ensemble de ces données qui devrait nous permettre de comprendre les procédures mobilisées par les élèves pour expliquer le mécanisme de la division cellulaire.

Les élèves viennent d'étudier le mécanisme de croissance des végétaux en longueur déjà traitée au niveau cellulaire. L'enseignante les interroge sur l'existence possible d'autres processus de croissance. Les élèves font référence à la multiplication des cellules.

À partir de là, les différentes zones d'un végétal sont identifiées (telles que l'apex des tiges et des racines) et notamment les zones méristématiques, sièges de divisions cellulaires actives. Les zones sont identifiées dans le végétal (apex des tiges et des racines), puis les zones méristématiques qui sont des zones de division des cellules. Après avoir rappelé qu'une zone de division permet à la fois le renouvellement cellulaire et la croissance du végétal, un rappel de 2^{de} est réalisé sur le rôle du noyau dans la transmission de l'information génétique (expériences de transplantations nucléaires, de type Gurdon) Les élèves sont alors interrogés sur ce que sont les chromosomes et ils sont invités à modéliser la division d'une cellule.

Suite à une discussion en classe, la problématique suivante est formulée : « Comment est transmis le patrimoine génétique, c'est à dire les chromosomes, au cours de la mitose ? »

■ 2.2. Présentation du programme officiel de seconde et de première S

Objectifs notionnels principaux de la classe de seconde :

- Les activités fondamentales des cellules telles que le métabolisme et la division sont sous le contrôle d'un programme génétique ;
- Le matériel génétique est contenu dans un ou des chromosomes ;
- Universalité et variabilité de la molécule d'ADN.

Seconde :

Thème : Cellule, ADN, unité du vivant	
NOTIONS ET CONTENUS	LIMITES
<p>La cellule fonde l'unité et la diversité du vivant. Les cellules sont les unités structurales et fonctionnelles de tous les êtres vivants. Toutes les cellules sont limitées par une membrane plasmique. Elle définit un compartiment intracellulaire où a lieu le métabolisme. L'hétérotrophie et l'autotrophie sont deux grands types de métabolisme. Les activités fondamentales des cellules telles que le métabolisme et la division sont sous le contrôle d'un programme génétique. Le matériel génétique est contenu dans un ou des chromosomes.</p>	<p>Ne sont pas au programme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La description détaillée des organites et de la membrane plasmique. - La structure moléculaire de la membrane. - Les mécanismes des échanges membranaires. - Les mécanismes de l'hétérotrophie et de l'autotrophie. - Le cycle cellulaire. - L'architecture des chromosomes.
<p>Universalité et variabilité de la molécule d'ADN. La transgénèse repose sur l'universalité de la molécule d'ADN en tant que support de l'information génétique. Chaque chromosome contient une molécule d'ADN qui porte de nombreux gènes. L'ADN est formé de deux chaînes complémentaires de nucléotides (A, T, C, G). La séquence des nucléotides au sein d'un gène constitue un message. Les allèles ont pour origine des mutations qui modifient la séquence de l'ADN. Les mutations introduisent une variabilité de l'information génétique. Les conséquences des mutations sont différentes selon qu'elles touchent les cellules somatiques ou germinales.</p>	<p>Ne sont pas au programme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les expériences historiques sur la structure et les fonctions de l'ADN. - La structure détaillée des nucléotides. - La réplication de la molécule d'ADN. - Les mécanismes de l'expression génétique et le code génétique. - Les différents types de mutations (ponctuelles et chromosomiques).

Première S :

Les objectifs notionnels principaux de la classe de 1^{er}S permettent d'approfondir :

- les relations entre l'information génétique et les conséquences phénotypiques de son expression ;
- la relation entre gènes et protéines est établie ;
- la mitose (mécanismes chromosomiques, transmission conforme de l'information génétique).

Thème : Du génotype au phénotype, relation avec l'environnement (durée indicative : 6 semaines)

Cette partie du programme s'appuie sur les connaissances acquises en classe de troisième (génétique) et de seconde (cellule et ADN). Elle permet d'approfondir les relations entre l'information génétique et les conséquences phénotypiques de son expression.

À partir de l'analyse des diverses échelles permettant de définir un phénotype, il s'agit d'étudier les rôles respectifs des gènes et de l'environnement dans la réalisation de ce phénotype.

L'importance des facteurs de l'environnement comme modulateurs de l'activité des protéines enzymatiques est rapprochée de la participation des protéines à la réalisation du phénotype.

La relation entre gènes et protéines est établie. Elle permet de faire le lien entre la diversité allélique au sein d'une espèce et ses conséquences phénotypiques.

Ce chapitre souligne que la diversité phénotypique au sein d'une espèce est le résultat d'interactions complexes entre la variabilité génétique et l'environnement.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
Analyse d'un exemple comme la drépanocytose ou la phénylcétonurie... Comparaison de la structure des protéines en relation avec l'exemple étudié.	La diversité des phénotypes Le phénotype peut se définir à différentes échelles : de l'organisme à la molécule. Les phénotypes alternatifs sont dus à des différences dans les protéines concernées.
Analyse d'exemples : voie métabolique, pigments des yeux de drosophile, albinisme, pigments végétaux. Cas des drépanocytoses, des phénylcétonuries. Exemple d'un cancer, prédisposition familiale, rôle de l'environnement et de l'alimentation.	Complexité des relations entre gènes, phénotypes et environnement Un phénotype macroscopique donné résulte de processus biologiques gouvernés par l'expression de plusieurs gènes. La mutation de l'un seulement de ces gènes peut altérer ce phénotype. Un même phénotype macroscopique peut donc correspondre à plusieurs génotypes. Chez un individu donné, l'effet des allèles d'un gène va dépendre également de l'environnement.

Thème : La morphogénèse végétale et l'établissement du phénotype

Réalisation d'expériences permettant d'identifier les zones de croissance en longueur. Observation microscopique de méristèmes.	La morphogénèse associe la division et la croissance cellulaire au niveau de territoires spécialisés La mitose est localisée dans les méristèmes. Elle permet de produire : - des cellules qui vont ensuite se différencier et participer à la croissance et à la structuration de l'organisme (feuilles, tiges, racines) ; - des cellules qui restent indifférenciées et qui vont à leur tour constituer des méristèmes (apical ou axillaire). Limites : la description détaillée des cellules différenciées, les mécanismes de la différenciation cellulaire et de l'organogénèse, la morphogénèse des feuilles, le contrôle du fonctionnement du méristème et la croissance en épaisseur, ne sont pas au programme.
Réalisation de préparations et (ou) observation microscopique de cellules en mitose. Analyse de l'expérience de Meselson et Stahl. Exploitation de données sur les taux d'ADN à différents moments de la vie cellulaire.	La mitose est un processus commun aux cellules eucaryotes Au cours de l'interphase du cycle cellulaire, la réplication de l'ADN s'effectue selon un mécanisme semi-conservatif, fondé sur la complémentarité des bases. Les structures cellulaires se modifient lors de la mitose. Chaque cellule fille issue de la mitose contient le même patrimoine génétique que la cellule initiale. Limites : le contrôle du cycle cellulaire n'est pas au programme.

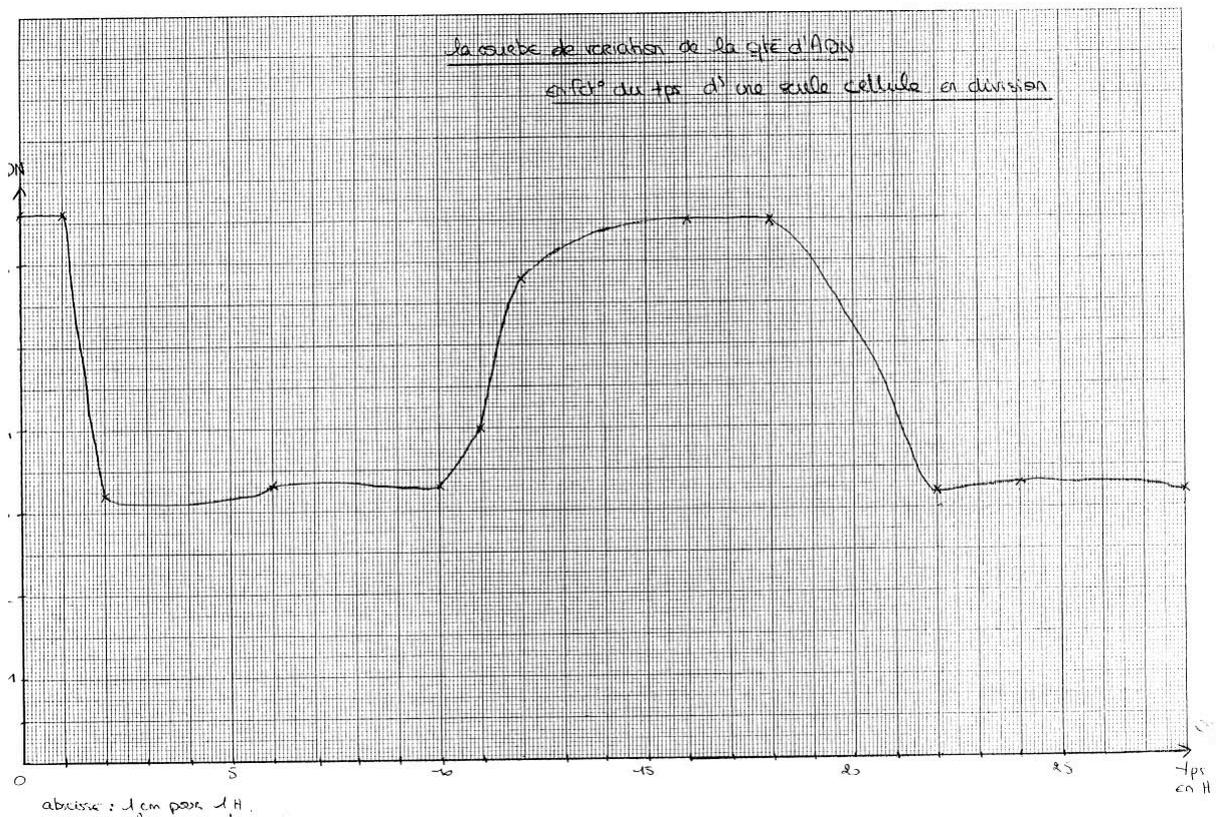
Comme nous l'avons dit, on peut supposer que les prérequis de seconde sur la cellule et l'ADN et le travail préalable sur les relations phénotype-génotype et environnement vont permettre aux élèves de première S de construire une conception mixte de l'information génétique du gène. La tâche que l'enseignante propose alors aux élèves est présentée dans la section suivante.

■ 2.3. La tâche proposée aux élèves

• 2.3.1. Première étape du travail

Il s'agit de la construction d'un graphique qui présente la variation de quantité d'ADN en fonction du temps dans le noyau de cellules qui se divisent. Une fois le graphique construit, on amène les élèves par un (questionnement oral ? des questions écrites ?) à constater que la quantité d'ADN n'est pas constante. Cela nous amène à la production de la trace écrite suivante : « la quantité d'ADN varie périodiquement en variant du simple au double, puis brutalement elle se redivise par deux ». La figure 1 présente un exemple de graphique construit par un élève.

Figure 1. Graphique construit par les élèves présentant l'évolution de la quantité d'ADN au cours de la division cellulaire



Les élèves sont questionnés sur les variations du graphique, plusieurs parties se remarquent et un motif est repéré qui visiblement se répète, la difficulté de compréhension réside alors dans le fait de relier un seul motif à une seule cellule, le suivant correspondant à une nouvelle division...

La réflexion se poursuit alors sur la transmission des chromosomes au cours de la mitose, un rappel est fait en ce sens : « Un élève : il faut aussi mettre ça en relation avec l'aspect des chromosomes puisqu'ils sont constitués d'ADN ». L'enseignante rebondit alors sur cette remarque pour demander aux élèves d'explicitier la structure d'un chromosome : « Comment est un chromosome pour vous ? ».

- **2.3.2. Deuxième étape**

La professeure demande aux élèves de dessiner un chromosome. Un des élèves de la classe dessine alors un chromosome à deux chromatides ce qui révèle probablement la prégnance de ce type de représentations dans leurs esprits, le souvenir de la forme des chromosomes...

Il s'ensuit une discussion qui conduit à se mettre d'accord sur le fait de placer le chromosome à deux chromatides au niveau où la quantité d'ADN qui a doublé car on part de l'hypothèse suivante : la division du taux d'ADN par deux est liée au chromosome qui se divise en deux chromatides.

Après cela, les élèves doivent représenter, à partir d'une paire de chromosomes à deux chromatides, comment une cellule-mère donne-t-elle deux cellules filles. Plusieurs contraintes sont précisées aux élèves :

- les chromosomes portent 2 couleurs différentes (bleu et rouge) pour indiquer l'origine (paternelle ou maternelle) de chacun de ses chromosomes ;
- les chromosomes sont représentés avec deux chromatides.

Les élèves travaillent individuellement dans un premier temps, puis par groupes. Les groupes sont constitués selon le type de production individuelle produit. La catégorisation est effectuée par l'enseignante après un recueil des représentations initiales.

- **2.3.4. Troisième étape**

Les élèves viennent présenter leur affiche par groupe. Le passage est organisé dans l'ordre des représentations les plus éloignées du modèle actuel, vers celles les plus proches de façon à forcer les controverses entre les élèves et à leur permettre de s'engager dans une activité de problématisation autour de la transmission des chromosomes et du gène durant la mitose.

3. Analyse des données recueillies

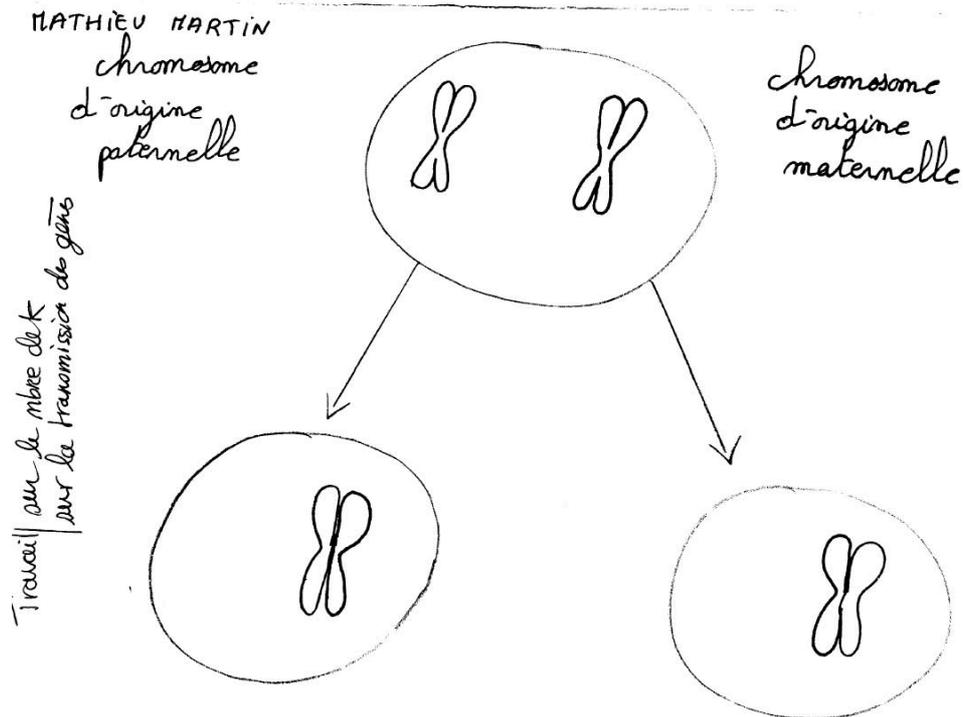
- **3.1. Analyse des productions individuelles des élèves**

La catégorisation faite repose sur trois critères, le nombre de cellules filles obtenues, le nombre de chromosomes et la répartition des chromatides/chromosomes dans les cellules filles.

Voici les catégories de représentations initiales individuelles que nous avons obtenues. :

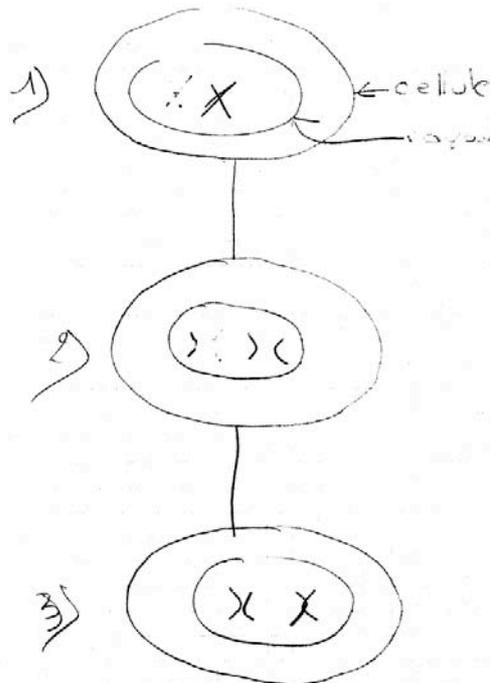
Catégorie 1 : la cellule mère donne deux cellules filles avec des chromosomes recollés bicolores, c'est à dire dont la moitié est rouge et l'autre bleue. Une production de ce type est présenté à la figure 2.

Figure 2. Production d'un élève relevant de la première catégorie



Catégorie 2 : la cellule mère donne deux cellules filles, avec séparation intermédiaire en deux des chromosomes, puis recollage de deux chromatides différentes. Les cellules filles ont donc des chromosomes bicolores là encore, c'est à dire mi-rouges-mi-bleus. Ces productions correspondent à celle présentée à la figure 3.

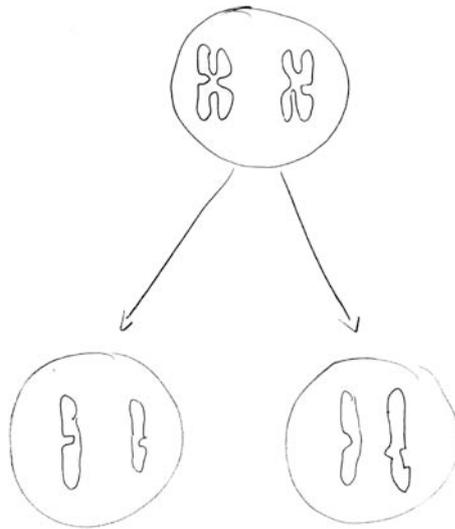
Figure 3. Production d'un élève relevant de la deuxième catégorie



Nous pouvons déjà noter que nous ne nous la retrouverons pas dans les productions de groupes.

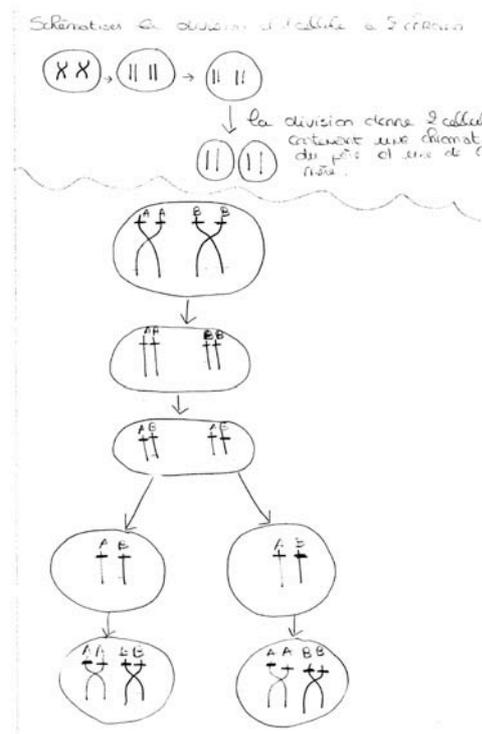
Catégorie 3 : c'est la réponse attendue mais qui n'explique pas les étapes intermédiaires permettant d'aboutir aux deux cellules filles (figure 4).

Figure 4. Production d'un élève relevant de la troisième catégorie



Catégorie 4 : ce sont les élèves experts qui non seulement donnent toutes les étapes, mais qui anticipent sur la transmission d'un gène hétérozygote et sur une duplication ultérieure pour préparer une nouvelle division (figure 5).

Figure 5. Production d'un élève relevant de la quatrième catégorie



Les résultats pour la classe de 1^{re}S considérée sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Résultats pour 15 élèves

Cas 1	2 élèves
Cas 2	6 élèves
Cas 3	3 élèves
Cas 4	4 élèves

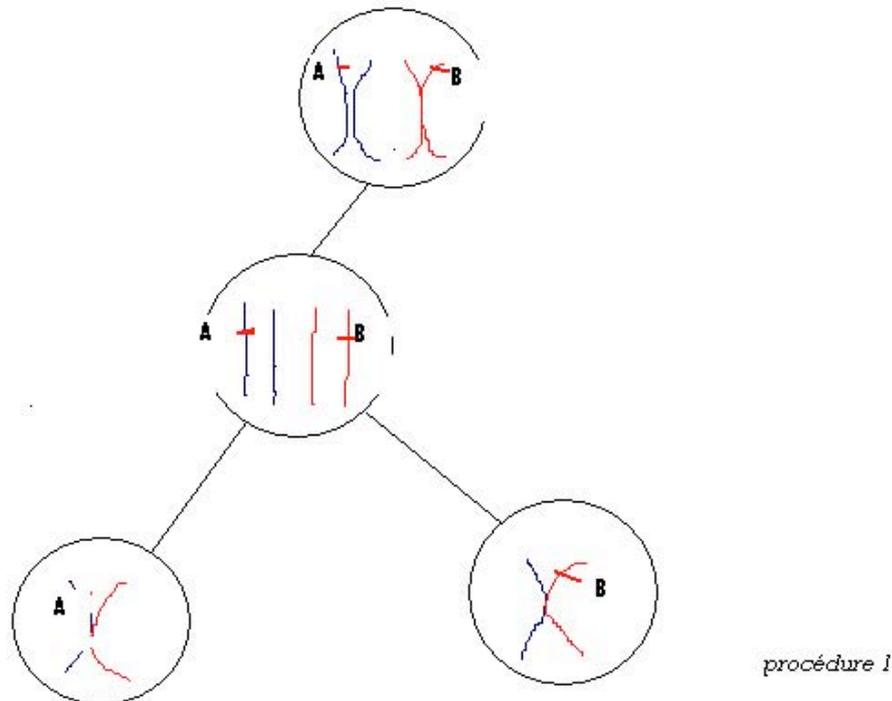
Il n'y a pas assez d'élèves pour en tirer une analyse statistique, mais pour faire le simple constat que l'idée du chromosome à deux chromatides différents ne fait pas l'unanimité, les élèves qui ont produit cas trois et quatre ne le pensent pas comme cela, mais au contraire, que les chromatides d'un chromosome sont identiques, on peut penser que les élèves se souviennent alors de leurs cours de troisième...

Des groupes sont ensuite constitués en début de séance suivante à partir des élèves qui ont exprimé des conceptions convergentes. Le travail de groupe a conduit à la production des affiches que nous allons maintenant présenter.

■ **3.2. Analyse des productions de groupe et des points de discussion à propos de ces affiches**

Affiche 1 : la division s'explique par la séparation des chromatides de chaque chromosome, puis par la répartition d'une chromatide de chaque chromosome dans chaque cellule fille, elles se recollent ensuite. On obtient ainsi un chromosome à deux chromatides différentes dans chaque cellule fille (figure 6).

Figure 6. Affiche 1



La discussion qui a suivi la présentation de cette affiche a porté sur l'adéquation entre le modèle présenté et l'évolution du taux d'ADN au cours du cycle cellulaire. Les élèves précisent que ce schéma permet d'expliquer la division par deux du taux d'ADN au cours de la mitose, mais ils ne peuvent donner aucune explication quant à son doublement progressif qui précède (d'après le graphique).

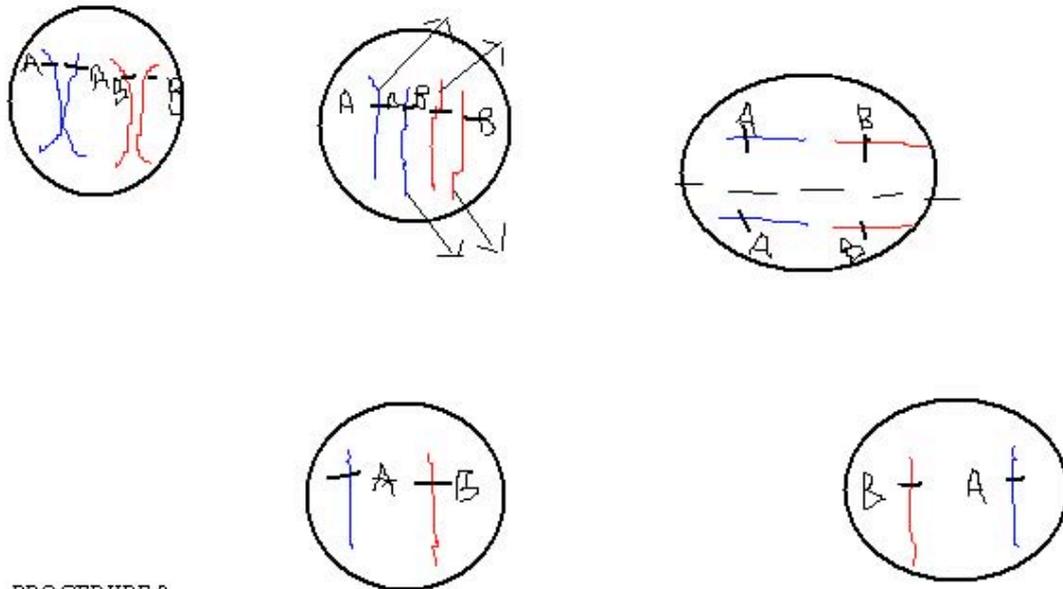
Une controverse se développe sur ce point entre les élèves de ce groupe et les autres élèves. La professeur demande alors aux élèves du groupe de placer un gène à deux allèles distincts (gène hétérozygote) sur les chromosomes de la cellule mère. Les élèves de ce groupe positionnent alors un allèle par chromosome, sur une seule des deux chromatides. Les cellules filles obtenues ne présentent donc qu'un seul allèle, ce qui soulève des questions pendant le débat.

Voici l'extrait de débat enregistré pour ce groupe :

PROF	Comment sont les chromosomes K au cours de la division de la cellule ? On avait dit trois hypothèses : » les K changent de forme ; les K se divisent en deux, les cellules ont parfois des K à une chromatide, parfois à deux chromatides »...la consigne était de représenter les cellules en division avec les K à deux chromatides, un bleu et un rouge, d'origine paternelle et maternelle...
P	Le dessin du milieu, qu'est-ce qui s'est passé alors ?
Élève	Ben, les deux chromatides se sont séparées
P	Pourquoi ?
E	Je ne sais pas
P	Et alors, le dessin d'en dessous, c'est quoi ?
E	Une chromatide d'origine paternelle et une chromatide d'origine maternelle qui s'assemblent
P	Donc ce sont les deux cellules filles obtenues ?
E	Oui voilà
P	Chaque K est constitué comment ?
E	Deux chromatides
P	Il est double ? on avait vu ça ?
E	Oui
P	Cela correspondait à quoi au niveau de la quantité d'adn de notre graphique ? le plateau inférieur ou le plateau supérieur ?
E	Le plateau supérieur
P	Et par rapport à la cellule fille alors ? pas la cellule intermédiaire, mais ton résultat, voilà
E	C'est divisé par deux
E	Et si on place des gènes ?
P	Comment faire ? il y en a 4 ? est-ce que les deux K ont les memes gènes ?
E	Non

Affiche 2 : La division cellulaire s'explique par la séparation des chromatides de chaque chromosome (figure 7), une sur deux va vers « le haut » (pour une des deux cellules filles) et les deux autres vers « le bas » (l'autre cellule fille). Le résultat obtenu est conforme à celui attendu, les allèles étant également bien positionnés au départ puis bien réparties dans les cellules filles. La controverse s'installe là encore pour expliquer les variations du taux d'ADN. Certains pensent que les chromatides vont se remultiplier, d'autres affirment que le taux d'ADN reste constant !

Figure 7. Affiche 2



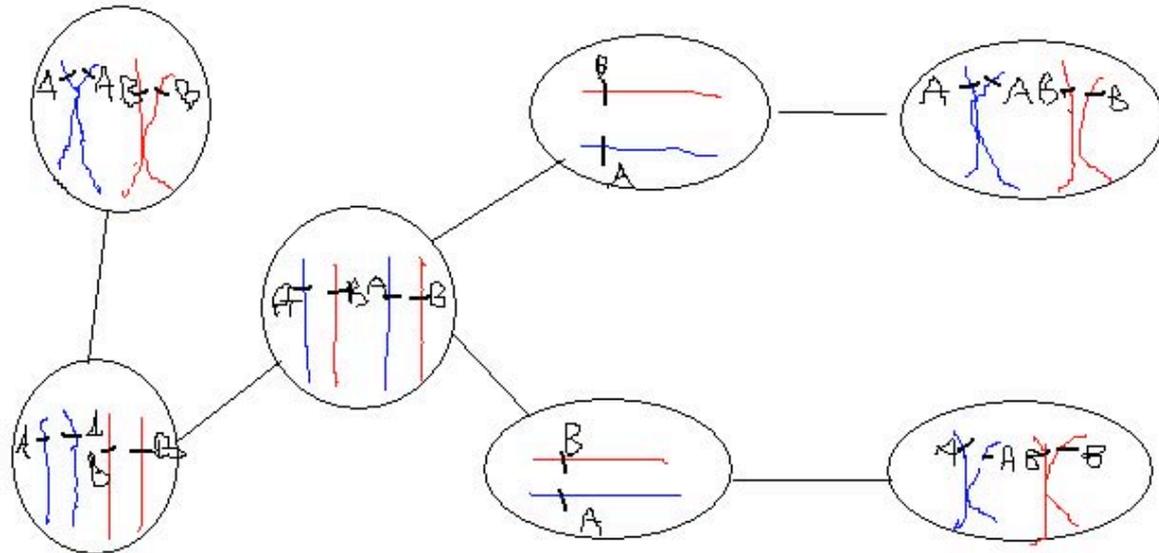
La présentation de l'affiche 2 est suivie d'une petite discussion :

E	Oui, il faut que les K se divisent, donc c'est pareil que le groupe d'avant
P	Et là, tu utilises quelle hypothèse ?
E	Que les chromatides se divisent
E	Elles se séparent, les K se divisent en deux
P	Les k se divisent en deux, oui ?
E	Comme ça c'est clair(pointillés) et puis les chromatides gauches vont en haut et les droites vont en bas, on a donc les chromatides gauches en bas...
P	L'information génétique est bien conservée, ?
E	Oui
P	Comment maintenant représenter sous la forme du graphique ? on part d'ou et on arrive ou ?
E	On part de là, et on arrive là
P	Brutalement ?
E	Non, enfin, oui...je sais pas...c'est vertical
P	C'est ce que tu as représenté ?
E	Non, je refais...
P	Et après, que deviennent ces cellules filles ?
E	Chaque chromatide en fabrique une autre
E	Non, le taux d'adn reste ensuite constant !!

Affiche 3 : L'affiche présente le processus attendu (figure 8). Elle présente une division cellulaire par séparation des deux chromatides d'un même chromosome puis préparation de la division suivante par duplication de chacune des chromatides.

L'idée d'une duplication des chromosomes émerge ici mais n'est pas encore explicitée par les élèves. La transmission de l'information génétique est conforme, et chaque chromatide de chaque chromosome est identique, il y a accord sur le fait qu'il faut un allèle par chromatide, identiques deux à deux.

Figure 8. Affiche 3



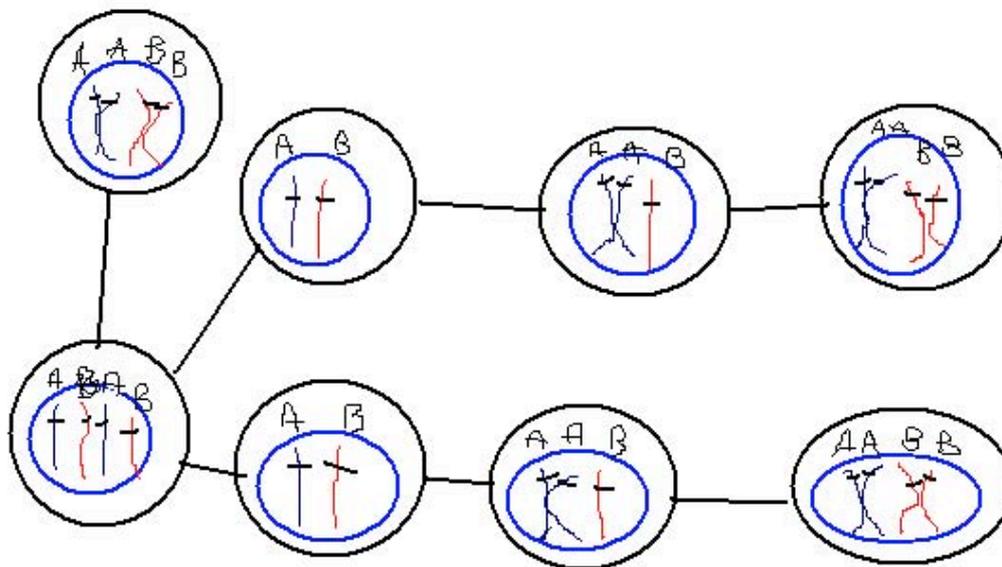
Procédure 3 mitose 1S

La présentation de l'affiche 3 est suivie de la discussion suivante :

P	C'est toujours pareil, ce sont des K qui ont deux chromatides ?
E	Oui madame
P	C'est quoi les batons là ?
E	Ce sont les chromatides
P	Que se passe-t-il là ?
E	Ça bouge
P	Qu'est-ce qui bouge à l'intérieur?
E	Les chromatides
P	Et alors ensuite ?
E	Ensuite, la cellule elle se divise
P	Comme ça, c'est magique, ?et le noyau, il est ou ? il n'y a pas de noyau ?
E	Si c'est le noyau justement qui est dessiné
P	Ah bon ??finalement c'est deux noyaux ?
E	Non, mais on ne peut pas tout dessiner
E	Après ça se reforme
P	Qu'est-ce qui se reforme, ?
E	Ben là ; les chromatides elles doublent, je sais pas..
E	Elles se dupliquent
P	D'une nouvelle division ?trace maintenant le graphique de l'adn
E	Double, puis divisé par deux puis redouble

Affiche 4 : Le résultat présenté (figure 9) est conforme aux attentes. Les chromatides de chaque chromosome ont des allèles identiques. La transmission de l'information génétique est conforme et complète de la cellule mère aux deux cellules filles.

Figure 9. Affiche 4



procédure 4

Les questions de la notion de noyau et de son devenir sont soulevées par l'enseignante au cours du débat. Cette remarque supplémentaire devient contrainte de situation. Au cours de la discussion qui suit la présentation de l'affiche, les élèves tentent d'expliquer l'augmentation progressive du taux d'ADN constatée lors de l'étude du graphique présentant l'évolution du taux d'ADN au cours du cycle cellulaire. Le scénario choisi devra être élucidé quant au mécanisme, mais ne dérange pas les élèves, car il suit les variations constatées. C'est cela qui est discuté dans l'extrait suivant :

P	Là, tu rajoutes le noyau ?
E	Ben oui, il faut que ça fasse quelque chose de vivant
P	Tu veux toi essayer de représenter la montée progressive de l'adn ? et tu représente directement un bleu un rouge, un bleu un rouge ?
P	Tu représentes directement les deux chromatides séparées de chaque coté finalement ?
E	Ben oui, , ça se divise en deux et ça migre chacun vers les cellules
P	Mais comment représenter alors l'augmentation progressive de l'adn, on l'a pas là ?
E	Voilà avec les dessins d'après, chaque chromatide chacune les unes après les autres se remultiplie, comme ça ça augmente peu à peu...
P	Mais comment représenter alors l'augmentation progressive de l'adn, on l'a pas là ?
E	Voilà avec les dessins d'après, chaque chromatide chacune les unes après les autres se remultiplie, comme ça ça augmente peu à peu...

Comparaison avec les procédures de collègue (présentées dans l'article précédent, Lhoste *et al.*, 2007) :

- la procédure 1 rejoint les procédures 4 et 6 de collègue ;

- la procédure 2 rejoint la 2ème présentée au collège ;
- la procédure 3 rejoint la 3ème du collège, mais anticipe en plus sur la duplication des chromatides.

■ 3.3. Analyse du débat scientifique

Les travaux auxquels nous nous référons pour analyser le débat scientifique (Orange, 2000) ont montré qu'au cours des échanges entre les élèves ceux-ci vont s'engager dans une activité de problématisation, c'est-à-dire qu'ils vont mettre en tension les faits à expliquer, qui relèvent du registre empirique, avec des explications possibles qui relèvent du registre des modèles. Les controverses permettent ici de construire le problème et de faire émerger les obstacles à la construction du concept de gène et de sa transmission au cours de la division cellulaire.

La transcription intégrale du débat, ainsi que la catégorisation des échanges selon la méthodologie décrite par Orange (2000) doit nous permettre de construire l'espace de contraintes en jeu au cours de ce débat entre les différents groupes.

Ce sont les élèves proposant l'affiche 1 qui présentent leur travail en premier. À ce moment, la professeure introduit une contrainte de situation supplémentaire en demandant aux élèves de faire référence dans leur explication à la transmission d'un gène. Cela conduit le rapporteur de chaque groupe à positionner un gène (deux allèles) sur les chromosomes, ce qui va générer de nouvelles questions. Les groupes passent ensuite successivement présenter l'affiche 2, 3 et 4. Le script complet du débat de 127 tours de parole est présenté en annexe 1.

À partir de ce corpus, nous avons catégoriser les interventions des élèves dans le registre empirique (RE), dans le registre des modèles (RM), ou dans un registre mixte (RE-RM). Les interventions catégorisées dans le registre des modèles sont réparties en trois catégories : RMf (fonctionnel), RMd (descriptif) et RMc (critique). Comme le rappelle Orange (2000) seules les interventions de type RE, RMc et RE-RM peuvent être porteuses de contraintes empiriques ou de nécessités sur les modèles. Cela nous a permis de réduire le premier corpus en ne retenant que les interventions de type RE, RMc et RE-RM. C'est à partir de ce corpus réduit que nous avons déterminé les contraintes empiriques et les nécessités sur les modèles construites par les élèves pendant le débat. Ce sont ces contraintes et ces nécessités que nous allons indiquer maintenant à partir de l'étude de certains extraits du débat, avant de présenter l'espace de contraintes en jeu dans ce débat. Ces analyses reprennent une partie du travail présenté dans Lhoste *et al.* (2007).

Extrait 1

10	Ens.	En dessous, est-ce que tu pourrais me tracer, et vous l'aidez s'il n'y arrive pas, le graphique de la variation de la quantité d'ADN dans le noyau des cellules qui sont représentées. Vous vous souvenez de l'exercice qu'on a fait ? Tu traces un repère orthonormé, on essaie de représenter schématiquement comment varie la quantité d'ADN d'une cellule mère à une cellule fille ? Dans le noyau d'une des deux cellules filles, on est bien d'accord ? Les chromosomes sont comment au départ ?	
11	Elève	Un couple de chromosomes	
12	Ens.	Chaque chromosome est constitué comment ?	
13	Elève	Deux chromatides	

14	Ens.	Il est double ? on avait vu ça ?	
15	Elève	Oui	
16	Ens.	Cela correspondait à quoi au niveau de la quantité d'ADN de notre graphique ? Le plateau inférieur ou le plateau supérieur ?	
17	Elève	Le plateau supérieur	RE
18	Ens.	Et par rapport à la cellule fille alors ? Pas la cellule intermédiaire, mais ton résultat, voilà	
19	Elève	C'est divisé par deux	RM

Cet extrait présente comment les élèves mettent en relation la contrainte empirique suivante : la quantité d'ADN est divisée par deux au moment de la division cellulaire et la nécessité d'une séparation des chromatides. Nous pensons que la séparation des chromatides des chromosomes a le statut d'une nécessité, et pas seulement d'un possible parmi d'autres⁴⁵, car les élèves remobilisent cette nécessité à plusieurs reprises dans le débat (exemple d'une intervention d'un élève en 52 : « Oui, il faut que les chromosomes se divisent, donc c'est pareil que le groupe d'avant »).

Extrait 2

27	Elève	Et si on place des gènes ?	
28	Ens.	Comment faire ? Il y en a 4 ? Est-ce que les deux chromosomes ont les mêmes gènes ?	
29	Elève	Non	
30	Ens.	Ah bon ?	
31	Elève	Si, les deux chromosomes ont les mêmes gènes, mais pas forcément les mêmes allèles, alors ça ne peut pas marcher	RMc
32	Ens.	Pourquoi ? i les versions du gène sont les mêmes ? Et ici, on dit quoi ?	
33	Elève	On s'intéresse à un même gène, mais avec pas les mêmes versions...	
34	Ens.	Pouvez-vous figurer cela sur les schémas ? qu'est-ce qui est discutable ?	
35	Elève	Donc les deux gènes en plus ici ne sont plus présents dans la même cellule ? La cellule fille obtenue ?	RMc
36	Ens.	Comment compléter ? Pourquoi un second gène ?	
37	Elève	Pour qu'ils se retrouvent bien dans les cellules	RE+

Le raisonnement, présenté dans cet extrait, permet aux élèves d'articuler la nécessité d'une séparation des chromatides à la contrainte empirique : les cellules issues de la division doivent avoir la même information génétique que la cellule mère. Le raisonnement ne porte pas directement sur la nécessité, qui reste implicite, mais sur l'inverse de la nécessité car s'il n'y a pas séparation des chromatides alors « les deux gènes en plus ici ne sont plus présents dans la même cellule » et comme « ça ne peut pas marcher », la nécessité est fondée en tant que telle « pour qu'ils [les allèles] se retrouvent bien dans les cellules », c'est-à-dire dans les deux cellules filles.

Extrait 3

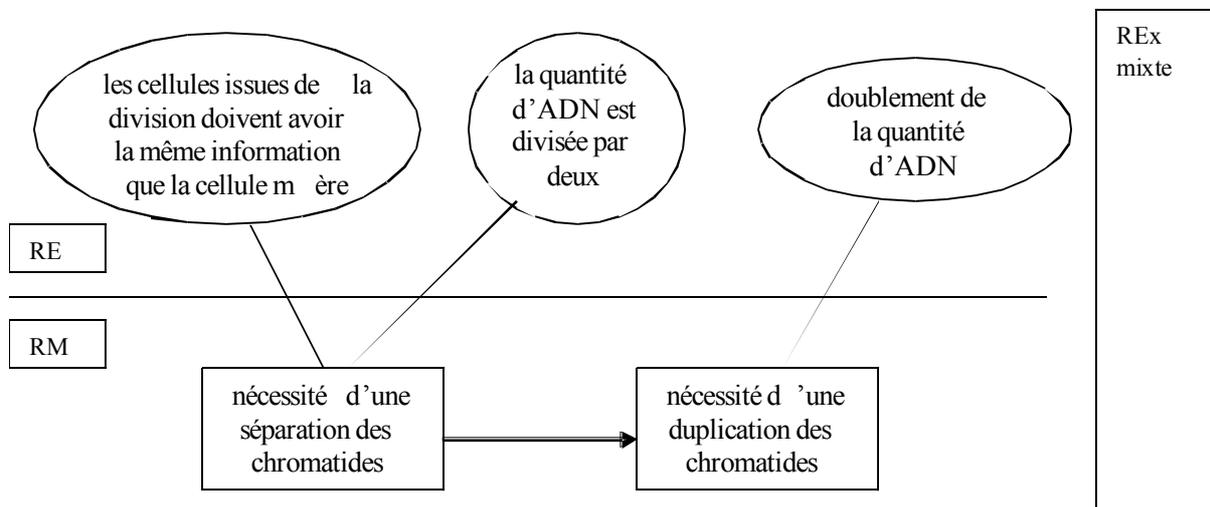
116	Ens.	Tu veux toi essayer de représenter la montée progressive de l'ADN ? Et tu représentes directement un bleu un rouge, un bleu un rouge ?	
117	Elève	Pardon ?	
118	Ens.	Tu représentes directement les deux chromatides séparées de chaque coté finalement ?	
119	Elève	Ben oui, ça se divise en deux et ça migre chacun vers les cellules	RM
120	Ens.	Mais comment représenter alors l'augmentation progressive de l'ADN, on	

⁴⁵ Le passage de 4 chromosomes à 2 chromatides à 2 chromosomes à 2 chromatides pouvant également expliquer la diminution de la quantité d'ADN par deux.

		l'a pas là ?	
121	Elève	Voilà avec les dessins d'après, chaque chromatide chacune les unes après les autres se remultiplient, comme ça ça augmente peu à peu...	RE-RM

Cet extrait fait apparaître l'articulation entre la nécessité d'une duplication des chromatides pour reformer un chromosome à deux chromatides et la contrainte représentées par le graphique de l'évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire. Il convient d'observer que cette idée/nécessité de duplication est présente à plusieurs reprises dans le débat (en 62 et 106) et que l'on trouve seulement à la fin du débat un raisonnement qui permet de fonder la contrainte et la nécessité. Il faut également noter que c'est à partir du moment où les élèves proposent la séparation des deux chromatides d'un chromosome qu'ils envisagent la nécessité d'une duplication. La figure 10 représente le problème construit par les élèves de 1^{re}S

Figure 10. L'espace de contraintes représentant le problème construit par les élèves de la classe de 1^{re}S



■ 3.4. Discussion

À la fin du débat, la classe décide de garder la dernière version proposée qui sera éprouvée dans les séances suivantes. Ainsi, un travail d'investigation sera engagé sur des expériences de type Taylor (marquages radioactifs) et des microphotographies de chromosomes à divers stades du cycle cellulaire... ainsi que des observation de lames minces. Ce travail d'investigation permet de valider telle et telle hypothèse.

La proposition du premier groupe a été considérée par les élèves de la classe comme impossible puisqu'elle ne respectait pas une contrainte empirique construite par les élèves : « sur les deux chromatides d'un chromosome... ». En effet, les cellules issues de la division doivent avoir la même information génétique que la cellule mère.

Le débat permet de faire émerger des tensions entre les deux registres résultat de la problématisation qui en résulte. La transmission de l'information génétique semble partagée par tous à la fin (idée de fermeture progressive du problème, les contraintes et les nécessités construites restreignent le champ des possibles), ce sont plus les mécanismes de

duplication qui restent en suspend, le professeur ayant piloté la réflexion sur ce point en particulier... Néanmoins, la première affiche met le doigt sur une représentation très prégnante dans la tête des élèves, à savoir que le chromosome est souvent représenté avec deux chromatides, alors que la plupart du temps au cours du cycle cellulaire, les chromosomes n'ont qu'une seule chromatide, ce qui devrait amener les élèves à ne plus proposer des chromosomes comme cela ! Oui, mais il faut proposer des hypothèses qui expliquent cette prégnance.

Il faut que l'on compare l'espace de contraintes en jeu dans ce débat de première S avec l'espace de contrainte de référence que l'on a construit à partir de l'analyse du savoir en jeu (Lhoste et Roland, à paraître). Qu'est-ce qui manque, qu'est-ce qu'il y a en plus ?

Le registre explicatif qui émerge de ce débat est de type mixte, matériel (ADN) et informationnel (gène et transmission conforme des allèles). Il semble donc que le dispositif proposé ait permis aux élèves de première S d'aller au-delà du niveau de conception des élèves de collège, puisque la conception fonctionnelle du gène émerge partiellement.

Ainsi, c'est l'enseignant qui induit de faire la corrélation entre les variations du taux d'ADN et le comportement des chromosomes au cours de la mitose, on peut donc supposer que ces variations deviennent des contraintes empiriques.

Ainsi des extraits montrent ce guidage du professeur au cours du débat, avec des interventions que l'on peut catégoriser en fonction des catégories présentées par Fabre (1999).

P	En dessous, est-ce que tu pourrais me tracer, et vous l'aider s'il n'y arrive pas, le graphique de la variation de la quantité d'ADN dans le noyau des cellules qui sont représentées, vous vous souvenez de l'exercice qu'on a fait ? tu traces un repère orthonormé, on essaie de représenter schématiquement comment varie la quantité d'adn d'une cellule mère à une cellule fille ? dans le noyau d'une des deux cellules filles, on est bien d'accord ? les K sont comment au départ ?	Cadrage, puis émergence
---	--	-------------------------

L'enseignant cadre la problématique engagée, et tente de faire émerger les contradictions et les possibles pour expliquer la corrélation entre les variations du taux d'ADN et le comportement des chromosomes.

P	Donc tu es d'accord ? ... tu marques adn en fonction du temps ; est-ce que ça coïncide avec la variation de la quantité d'adn qu'on avait vu sur le graphique ?	Emergence
---	---	-----------

4. Conclusion

L'élaboration des contraintes est ainsi un processus fondamental dans la phase de problématisation pilotée par le professeur et cet article permet de mettre en évidence quelles peuvent être les nécessités construites par les élèves et comment elles ont été construites.

Celles-ci peuvent avoir l'effet inverse de celui attendu, par exemple ici, les élèves de 1^{er}S construisent la relation entre le côté matériel du gène (ADN) et informationnel (allèles)

sans toutefois investir complètement sur la transmission conforme de l'information génétique au cours de la mitose...

Les interventions du professeur sont ainsi fondamentales et peuvent induire un simple raisonnement par analogie de la part des élèves ou l'expression d'un savoir formel sans autre motivation que la restitution de connaissances...

Néanmoins, l'exercice préalable sur les variations du taux d'ADN semble leur permettre d'aller au-delà des deux premières conceptions, alors que les collégiens en sont restés là.

Annexe 1. Script du débat en première S

	Texte intervention	Catégorisation	Interprétation
PROF 1	Comment sont les chromosomes K au cours de la division de la cellule ? On avait dit trois hypothèses : » les K changent de forme ; les K se divisent en deux, les cellules ont parfois des K à une chromatide, parfois à deux chromatides »...la consigne était de représenter les cellules en division avec les K à deux chromatides, un bleu et un rouge, d'origine paternelle et maternelle...		
P 2	Le dessin du milieu, qu'est-ce qui s'est passé alors ?		
E 3	Ben, les deux chromatides se sont séparés	RMf	CM
P 4	Pourquoi ?		
E 5	Je ne sais pas		
P 6	Et alors, le dessin d'en dessous, c'est quoi ?		
E 7	Une chromatide d'origine paternelle et une chromatide d'origine maternelle qui s'assemblent	RMd	CE
P 8	Donc ce sont les deux cellules filles obtenues ?		
E 9	Oui voilà		
P 10	En dessous, est-ce que tu pourrais me tracer, et vous l'aidez s'il n'y arrive pas, le graphique de la variation de la quantité d'ADN dans le noyau des cellules qui sont représentées, vous vous souvenez de l'exercice qu'on a fait ? tu traces un repère orthonormé, on essaie de représenter schématiquement comment varie la quantité d'adn d'une cellule mère à une cellule fille ? dans le noyau d'une des deux cellules filles, on est bien d'accord ? les K sont comment au départ ?		
E 11	Un couple de K	RE	CE
P 12	Chaque K est constitué comment ?		
E 13	Deux chromatides	RE	CE
P 14	Il est double ? on avait vu ça ?		
E 15	oui		
P 16	Cela correspondait à quoi au niveau de la quantité d'adn de notre graphique ? le plateau inférieur ou le plateau supérieur ?		
E 17	Le plateau supérieur	RE	CM
P 18	Et par rapport à la cellule fille alors ? pas la cellule intermédiaire, mais ton résultat, voilà		
E 19	C'est divisé par deux	RMf	CM
P 20	Est-ce que c'est cohérent ? , voilà c'est divisé par deux à peu près, est-ce que c'est cohérent si je dois représenter sur un graphique, dans le noyau comment varie la quantité d'adn ? ça donne ça ?		
E 21	oui		
P 22	Donc tu es d'accord ? ...tu marques adn en fonction du temps ; est-ce que ça coïncide avec la variation de la quantité d'adn qu'on avait vu sur le graphique ?		
E 23	Oui, ça marche		
P 24	En principe oui ? ça marche ?		
E 25	Oui, mais pas entièrement..	RMc	CE
P 26	Bon, les autres ? qu'est-ce que vous avez à rajouter par rapport à la représentation qui est ici ?		
E 27	Et si on place des gènes ?	RE-RM,	CE-CM
P 28	Comment faire ? il y en a 4 ? est-ce que les deux K ont les memes gènes ?		
E 29	non		
P 30	Ah bon ?		
E 31	Si, Les deux chromosomes ont les memes gènes, mais pas forcément les memes allèles, alors ça ne peut pas marcher	RMc-RE,	CE-CM
P 32	Pourquoi ? si les versions du gène sont les memes ? et ici, on dit quoi ?		
E 33	On s'intéresse à un meme gène, mais avec pas les memes versions...	RE	CE
P 34	Pouvez-vous figurer cela sur les schémas ? qu'est-ce qui est discutable ?		
E 35	Donc les deux gènes en plus ici ne sont plus présents dans la meme cellule ? la cellule fille obtenue ?	RMc	CE
P 36	Comment compléter ? pourquoi un second gène ?		
E 37	Pour qu'ils se retrouvent bien dans les cellules	RE-RM,	CE-CM
P 38	Il y a une chromatide sur deux qui n'a pas de gène alors ? c'est possible ça ?		
E 39	non		
P 40	Pourquoi ? vous avez dit qu'ils étaient identiques, c'est la meme molécule		

	d'adn...mettez des lettres a et b par exemple, le K paternel transmet le a et le K maternel transmet le b...		
E 41	Alors un K a b et l'autre ab	RE	CE
P 42	Mais alors, ils ne sont plus identiques ?		
E 43	Non, donc c'est aa et bb dans la cellule mère	RE	CE
P 44	Et dans les cellules filles alors, on perd un gène ?il y a un problème ?		
E 45	Oui, on perd de l'information génétique, on rajoute alors des lettres ?	RE-RM, RMc ;	CE-CM
E 46	Oui, mais les deux gènes doivent avoir les memes allèles sur un meme K, donc cela pose problème...	RE	CE
	Seconde affiche		
P 47	Pourquoi représentez-vous les K comme ça ?		
E 48	Parce que c'est comme cela que ça se représente	RE	CE
P 49	Ah bon, ?		
E 50	Non, pour que cela se divise	RE-RM	CE-CM
P 51	C'est par rapport à l'hypothèse qu'on avait formulée au départ ?		
E 52	Oui, il faut que les K se divisent, donc c'est pareil que le groupe d'avant	RMd,	
P 53	On aurait pu faire d'abord sans le gène, puis le rajouter après, mais c'est pas grave.. ;		
P 54	Et là, tu utilises quelle hypothèse ?		
E 55	Que les chromatides se divisent	RE-RM,	CE-CM
E 56	Elles se séparent, les K se divisent en deux	RE-RM,	CE-CM
P 57	Les k se divisent en deux, oui ?		
E 58	Comme ça c'est clair(pointillés) et puis les chromatides gauches vont en haut et les droites vont en bas, on a donc les chromatides gauches en bas...	RE-RM, RMf..	CE-CM
P 59	Les gauches ou les droites ?		
E 60	Non, le contraire		
P 61	Donc les gauches en haut et les droites en bas ?		
E 62	Oui, et la cellule se divise comme ça, et chaque chromatide en fabrique une autre	RE-RM,	CE-CM
P 63	Vas y dessine		
E 64	Il manque la suite...	RMc	CM
P 65	Comment faire ?regardez la transmission de gène, on avait ab		
E 66	Arretez de critiquer les autres, je recommence		
P 67	On a transmission de la meme information génétique de la cellule mère à la cellule fille ?et la cellule fille alors ?		
E 68	Il y a des chromatides dans la cellule fille...	RE	CE
P 69	L'information génétique est bien conservée, ?		
E 70	oui		
P 71	Comment maintenant représenter sous la forme du graphique ?on part d'ou et on arrive ou ?		
E 72	On part de là, et on arrive là		
P 73	Brutalement ?		
E 74	Non, enfin, oui...je sais pas...c'est vertical		
P 75	C'est ce que tu as représenté ?		
E 76	Non, je refais...		
P 77	Et après, que deviennent ces cellules filles ?		
E 78	Chaque chromatide en fabrique une autre	RMf	CM
E 79	Non, le taux d'adn reste ensuite constant !!	RMc	CM
P 80	Et par rapport à ton schéma, il s'arrete ou le taux d'adn ?le graphique d'adn n'est donc pas complet ?...cela pose problème ?...		
	Groupe 3		
P 81	Tu fais une croix, pourquoi ?		
E 82	C'est une représentation simplifiée	RE	CE
P 83	C'est toujours pareil, ce sont des K qui ont deux chromatides ?		
E 84	Oui madame		
P 85	C'est quoi les bâtons là ?		
E 86	Ce sont les chromatides	RE	CE
P 87	Que se passe-t-il là ?		
E 88	Ça bouge	RE-RM,	CE-CM
P 89	Qu'est-ce qui bouge à l'intérieur?		
E 90	Les chromatides	RMf	CM
P 91	Bleu rouge et bleu rouge, c'est ça, ?		
E 92	oui		

P 93	Et alors ensuite ?		
E 94	Ensuite, la cellule elle se divise	RE	CE
P 95	Comme ça, c'est magique, ?et le noyau, il est ou ? il n'y a pas de noyau ?		
E 96	Ben si mais...		
P 97	Je pose la question car personne n'a dessiné un noyau... ?		
E 98	Si c'est le noyau justement qui est dessiné	RE	CE
P 99	Ah bon ??finalement c'est deux noyaux ?		
E 100	Non, mais on ne peut pas tout dessiner	RMc	CE
P 101	Et ensuite, tu fais quoi ?au fait, c'est la membrane plasmique ou pas ?		
E 102	Non, c'est le noyau		
E 103	Après ça se reforme		
P 104	Qu'est-ce qui se reforme, ?		
E 105	Ben là ; les chromatides elles doublent, je sais pas..	RE-RM,	CE-CM
E 106	Elles se dupliquent	Re-RM,	CE-CM
P 107	L'idée c'est de représenter deux cellules identiques à la cellule mère, c'est ça ?		
P 108	Est-ce que les deux dernières cellules représentées sont le résultat de la division ?		
E 109	Non, de l'autre division		
P 110	D'une nouvelle division ?trace maintenant le graphique de l'adn		
E 111	Double, puis divisé par deux puis redouble	RE	CE
P 112	Etes-vous d'accord ? est-ce que cela correspond au graphique q'on avait tracé ?		
E 113	Oui, non !...		
	Groupe 4		
P 114	Là, tu rajoutes le noyau ?	RE	CE
E 115	Ben oui, il faut que ça fasse quelquechose de vivant		
P 116	Tu veux toi essayer de représenter la montée progressive de l'adn ?et tu représente directement un bleu un rouge, un bleu un rouge ?		
E 117	Pardon ?		
P 118	Tu représentes directement les deux chromatides séparées de chaque coté finalement?		
E 119	Ben oui, , ça se divise en deux et ça migre chacun vers les cellules	RE-RM,	CE-CM
P 120	Mais comment représenter alors l'augmentation progressive de l'adn, on l'a pas là ?		
E 121	Voilà avec les dessins d'après, chaque chromatide chacune les unes après les autres se remultiplie, comme ça ça augmente peu à peu...	RMf-ou RE-RM ? RE- RMf ?	CE-CM
P 122	Ah, c'est intéressant comme hypothèse, vas-y dessine la suite...et maintenant, dans une cellule à 46K ?vous imaginez ?		
E 123	Ben....mais les k peuvent peut-etre aussi le faire en meme temps ?	Rm, Rmc	CE
P 124	Il va falloir trouver...et pour l'adn ?ça marche ? fais le graphe...		
E 125	Oui, c'est progressif...		
P B 126	Et pour le 1er groupe ?		
E 127	Les chromatides ne se regroupent pas ?elles ne se collent pas ! on doit les séparer...	RMc RE-RMc	CE-CM

Apprentissage et problématisation d'élèves de classe de 3^e et de terminale S sur le thème de la méiose et de la fécondation

Ginette Buisson, Professeure de SVT, Collège Henri-Sellier, Colombelles (14) ;
Ginette.Buisson@ac-caen.fr

Claire Decussy, Professeure de SVT, Collège des Douits, Falaise (14) ;
Claire.Decussy@ac-caen.fr

Anna Pogam, Professeure de SVT, Lycée Dumont-d'Urville, Caen (14) ;
Anna.Pogam@ac-caen.fr

Yann Lhoste, Professeur de SVT, IUFM de Basse-Normandie et CREN,
université de Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Introduction

Le travail que nous avons mené s'inscrit dans le cadre d'une recherche action conduite au sein d'un groupe de formation (GFA) sur le thème des Apprentissages par problématisation en sciences de la vie et de la Terre (SVT). Il a été mené entre septembre 2004 et juin 2007, et a permis la mobilisation de différents concepts et outils construits dans le champ de la recherche en didactique des SVT (principalement les travaux de l'équipe de didactique des SVT du CREN, université de Nantes, conduite par Christian Orange : Orange, 2002, 2005, 2006). Plusieurs groupes de travail se sont constitués notamment en génétique sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre⁴⁶.

Nous souhaitons expliciter dans cette contribution la façon dont des élèves de troisième (élèves de 14, 15 ans) et de terminale S (élèves de 17, 18 ans) construisent les concepts de méiose et de fécondation, c'est-à-dire les mécanismes qui permettent, d'une part, la stabilité du génome et, d'autre part, le brassage chromosomique.

Après avoir analysé le savoir en jeu dans le cadre des instructions officielles en cours, nous avons mis en place un dispositif de recueil de données dans deux classes de troisième et une classe de terminale S. Les différentes productions des élèves sont analysées pour

⁴⁶ Un autre groupe de travail s'est intéressé à la transmission de l'information génétique d'une cellule à deux cellules-filles (concept de mitose).

catégoriser les procédures utilisées spontanément par les élèves. Cela nous conduira à proposer une grille d'analyse des productions des élèves sur ce thème. Dans un deuxième temps, nous allons montrer quels sont les problèmes construits par les élèves lors de deux débats scientifiques (Orange, 1999) ayant eu lieu dans une classe de 3e et de terminale S. Cela devrait nous permettre d'identifier les éléments déterminants que l'enseignant doit manipuler pour conduire les apprentissages des élèves.

1. Analyse du savoir en jeu dans une perspective curriculaire

■ 1.1. Le savoir en jeu

La méiose et la fécondation sont les deux mécanismes essentiels de la reproduction sexuée qui participent à la stabilité de l'espèce et sont à l'origine de la diversité génétique des individus. La stabilité de l'espèce est assurée par le maintien du caryotype de génération en génération, grâce à la méiose et à la fécondation.

La méiose aboutit à des cellules filles haploïdes et permet ainsi le passage de la diploïdie à l'haploïdie⁴⁷. La fécondation rétablit la diploïdie. La méiose est constituée de deux divisions successives sans interphase entre elles. La première division appelée division réductionnelle donne deux cellules filles haploïdes (n chromosomes à deux chromatides) car les deux chromosomes homologues de chaque paire se sont disjointés à l'anaphase. Puis la deuxième division appelée division équationnelle aboutit à quatre cellules filles haploïdes (n chromosomes à une chromatide) car les deux chromatides de chaque chromosome se sont séparés à l'anaphase.

Les gamètes ainsi formés apportent chacun leur lot haploïde de chromosomes à la fécondation (n chromosomes à une chromatide + n chromosomes à une chromatide = $2n$ chromosomes à une chromatide). C'est une réplication semi-conservative de l'ADN qui redonne une cellule-œuf à $2n$ chromosomes à deux chromatides, prête à subir la première mitose du développement embryonnaire.

Le maintien du caryotype assure la stabilité du génome puisque les chromosomes sont le support matériel des allèles des gènes lors des divisions. Une cellule haploïde issue de la méiose possède un allèle de chaque gène et lors de la fécondation l'union des deux lots haploïdes de chromosomes des gamètes redonne à la cellule-œuf deux allèles de chaque gène, un paternel et un maternel.

La partie relative au brassage chromosomique n'ayant pas été traitée dans notre travail, n'est pas explicitée ici.

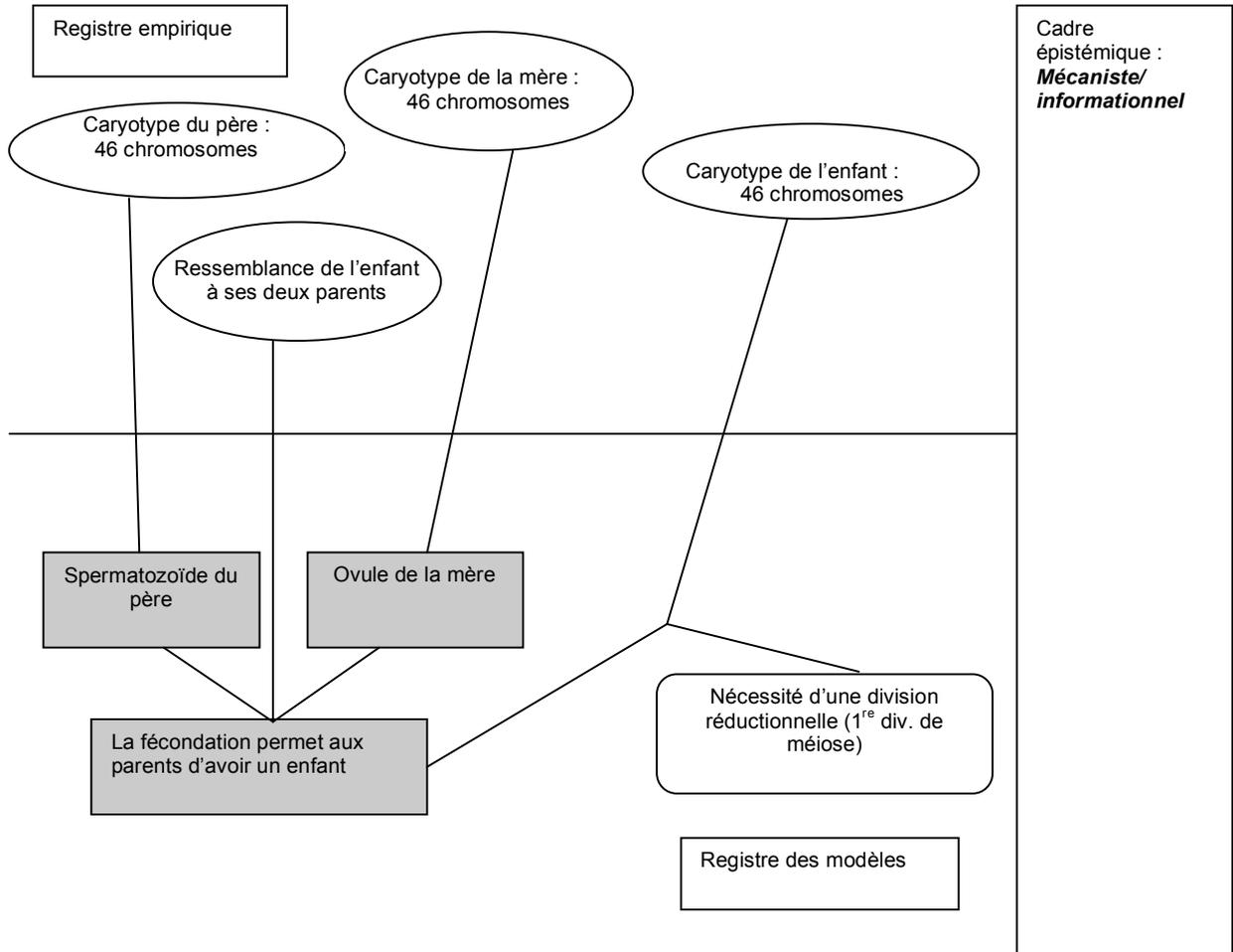
Nous avons tenté de traduire ce savoir en jeu dans les termes de ce que Orange (2000) appelle un espace de contraintes. Il ne s'agit pas, comme dans les exemples présentés par Orange d'espaces de contraintes en jeu dans un débat scientifique mais d'une traduction du concept de transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre en termes de

⁴⁷ Phase haploïde : cellule à n chromosomes (présence d'un seul chromosome par n° de paire ; $n = 23$ chez l'Homme pour les gamètes).

Phase diploïde : cellule à $2n$ chromosomes (présence de deux chromosomes par n° de paire ; $2n = 46$ chez l'Homme)

contraintes empiriques articulées à des nécessités sur le modèle dans un cadre explicatif mixte où l'information génétique à une double dimension mécaniste et informationnelle (en référence à l'analyse du concept d'information génétique conduite ailleurs - Lhoste & Roland, à paraître – en reprenant en particulier les travaux de Rumelhard, 1986). L'espace de contraintes de référence que nous avons construit est présenté sur la figure 1.

Figure 1. Espace de contraintes de référence : méiose et fécondation



La transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre articule la double nécessité de la fécondation, pour assurer la transmission équivalente d'information génétique du père et de la mère, à celle d'une division réductionnelle au moment de la formation des gamètes⁴⁸, qui permet d'assurer le maintien du caryotype au moment du changement de génération. Ces nécessités sont en relation avec les contraintes empiriques suivantes : le caryotype est une caractéristique de l'espèce : il reste constant lors du passage d'une génération à l'autre ; l'enfant ressemble à la fois à son père et à sa mère. Voyons maintenant quelle est la place de cet objet d'étude dans les programmes de troisième et de terminale S avant de chercher à comprendre comment les élèves de collège et de lycée reconstruisent ce problème.

⁴⁸ Les gamètes formés contiennent alors 23 chromosomes

■ **1.2. La méiose et la fécondation en troisième et en terminale S**

« L'unité et la diversité des êtres humains » correspond à une partie du programme de la classe de troisième (France : MEN, 1998). L'explication que l'on doit faire construire aux élèves de troisième à propos de l'unicité de chaque individu repose sur la double intervention du hasard lors de la formation des gamètes et lors de la fécondation. Ainsi, chaque individu issu de la reproduction sexuée possède un programme génétique qui contribue à le rendre unique. Au cours de sa formation, chaque gamète reçoit au hasard un chromosome de chaque paire soit vingt-trois chromosomes : les gamètes produits par chaque individu sont génétiquement différents. Lors de la fécondation, spermatozoïde et ovule participent à la transmission de l'information génétique : pour chaque paire de chromosomes et chaque gène, un exemplaire vient du père, l'autre de la mère. La fécondation permet donc de rétablir le nombre de chromosomes de l'espèce. C'est par ce double mécanisme que la reproduction sexuée crée au hasard un nouveau programme génétique.

En terminale S, cette partie du programme de tronc commun s'intitule « méiose et fécondation participent à la stabilité du génome » (France : MEN, 2001) Elle fait partie du grand thème I.3 « Stabilité et variabilité des génomes et évolution ». On doit expliquer comment, chez les organismes possédant une reproduction sexuée, une phase haploïde et une phase diploïde alternent. La méiose, qui comporte deux divisions successives, conduit à des gamètes haploïdes et la fécondation rétablit la diploïdie en réunissant les lots haploïdes des gamètes.

C'est à partir de deux exemples de cycle de reproduction, celui d'un mammifère et celui d'un champignon ascomycète, que l'on montre la signification biologique de la méiose et de la fécondation, qui permettent le maintien de la garniture chromosomique de l'espèce (stabilité de l'espèce). Suite à cette étude, on doit montrer comment des perturbations dans le déroulement de la méiose conduisent à des anomalies du nombre de chromosomes (trisomie 21...). Dans un autre chapitre du I.3, on explique comment la méiose et la fécondation sont à l'origine du brassage génétique.

Que ce soit en troisième ou en terminale S, l'objectif est le même. Il répond à la signification biologique de la reproduction sexuée, méiose et fécondation, assurant la stabilité de l'espèce.

On peut toutefois noter, aussi bien pour la troisième que pour la terminale S, que la stabilité de l'espèce est essentiellement expliquée à partir du maintien du caryotype et semble trop déconnectée de la stabilité du génome. Ainsi, en troisième, on insiste sur « *la fécondation qui permet de rétablir le nombre de chromosomes de l'espèce* » et en terminale S, bien que ces notions soient incluses dans la partie « *stabilité et variabilité du génome* », il est seulement fait référence dans les programmes à « *montrer le maintien de la garniture chromosomique de l'espèce* ». En liaison avec cela, il s'agit « *d'expliquer les anomalies du nombre de chromosomes* ». En effet, la stabilité du génome signifie bien la présence dans les cellules diploïdes de deux allèles différents le plus souvent (deux informations génétiques) pour chaque gène et dans les gamètes haploïdes la présence d'un seul allèle de chaque gène. Or, on insiste essentiellement sur les aspects quantitatifs du nombre de chromosomes et mécanique de leur séparation ou réunion. On peut perdre de vue la notion qualitative d'information génétique. On garde le nombre de chromosomes de l'espèce pour chaque individu sans savoir pourquoi finalement.

La différence essentielle entre les deux programmes (troisième et terminale S) réside dans les précisions explicatives des mécanismes de méiose et de fécondation. La méiose en troisième est étudiée pour sa signification biologique : une seule division réductionnelle non nommée suffit pour aboutir à l'haploïdie des gamètes, alors qu'en terminale la méiose est détaillée comme un ensemble de deux divisions, pour pouvoir, ensuite, expliquer le brassage intrachromosomique. Ainsi, en terminale S, on est conduit à détailler la fécondation : il y a duplication des chromosomes, qui assure le rétablissement de chromosomes doubles avant la caryogamie. Les graphiques de variation de la quantité d'ADN en fonction du déroulement du cycle biologique, associés à ces mécanismes, sont exploités puisque l'ADN et sa réplication semi-conservative sont connus (seconde et première).

2. Présentation du recueil de données

Plusieurs recueils de données ont été menés dans deux classes de troisième et une classe de terminale S. Pour chaque classe, la situation proposée est différente et ce sont ces trois dispositifs que nous allons maintenant présenter.

■ 2.1. La situation proposée dans la classe de 3^e1⁴⁹

Au moment où les élèves s'engagent dans ce travail sur la modélisation de la transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre, les élèves connaissent le caryotype de l'être humain, ils ont aussi étudié la mitose. Après un rappel du cours précédent et de la fécondation étudiée en 4^e, ils doivent essayer de « faire des bébés », en représentant d'abord les gamètes. Les élèves disposent de feuilles de papier sur lesquelles sont représentés deux paires de chromosomes, contenues dans les cellules du père et de la mère (paire n°9 et paire de chromosomes sexuels). Ils ont également des maquettes de chromosomes représentés par des bâtons de glace colorés numérotés et ayant une pastille de couleur bleue pour le garçon et de couleur rose pour la fille. Chacun doit représenter soit des ovules, soit des spermatozoïdes. Ensuite, ils réunissent leur travail pour réaliser les bébés. Les allèles sont volontairement cachés au dos des bâtons car le premier objectif de cette séance est d'établir la conservation du caryotype dans la descendance. Dans un deuxième temps, les élèves retournent les bâtonnets : ils pourront constater qu'ils ont fabriqué des garçons ou des filles et découvriront leur groupe sanguin.

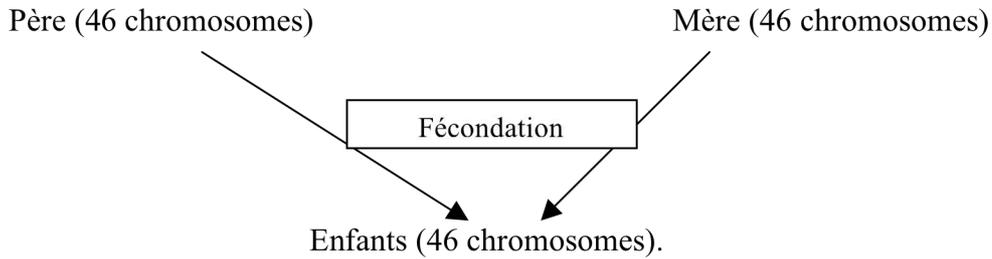
■ 2.2. La situation proposée dans la classe de 3^e2⁵⁰

Après un rappel de la classe de 4^e sur le concept de reproduction sexuée (faisant uniquement intervenir le mécanisme de la fécondation) et des acquis du début de l'année sur les caractéristiques du caryotype humain, la professeure construit le schéma présenté en figure 2.

⁴⁹ Classe 3^e 1 du collège Henri-Sellier de Colombelles (14). Classe de 24 élèves de Ginette Buisson.

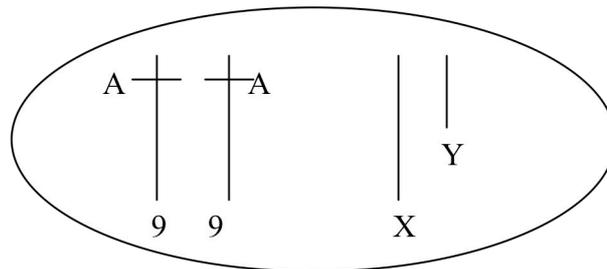
⁵⁰ Classe 3^e 2 du collège des Douits à Falaise (14). Classe de 16 élèves de la section de la section handball de Claire Decussy.

Figure 2. Schéma récapitulant les acquis de 4^e et de début de 3^e pour poser le problème de la reproduction sexuée

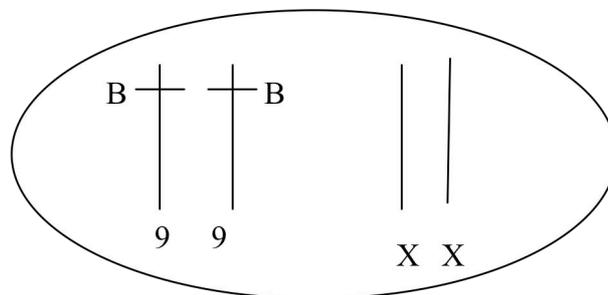


Celui-ci permet de montrer qu'il y a un problème au niveau de la conservation du nombre de chromosomes puisque, mathématiquement, 46 chromosomes + 46 chromosomes ne peuvent en donner 46. C'est à partir de ce constat que les élèves sont amenés à expliquer comment l'information génétique est transmise des parents aux enfants pour qu'il y ait une conservation du nombre de chromosomes d'une génération à l'autre. Pour produire cette explication, les élèves ont à leur disposition un modèle en papier.

Les garçons doivent représenter une cellule somatique avec une paire de chromosomes n°9 (avec 2 allèles du groupe sanguin A) et une paire de chromosomes sexuels, chacun de ces chromosomes est représenté avec une chromatide :



Les filles doivent représenter une cellule somatique avec une paire de chromosomes n°9 (avec 2 allèles du groupe sanguin B) et une paire de chromosomes sexuels, chacun de ces chromosomes est représenté avec une seule chromatide :



À partir de ces productions, des binômes garçon/fille doivent modéliser comment l'information est transmise de ces parents à leur enfant. La modélisation doit rendre compte des ressemblances de l'enfant au père et à la mère.

Ce sont les productions des élèves qui servent de support au débat qui a lieu ensuite. Les productions sont évaluées à partir de leur prise en compte ou non des contraintes de départ. Les élèves échangent et argumentent à propos de leurs propositions, c'est la phase de problématisation publique qui sera enregistrée puis retranscrite et que nous analyserons à la section 3.2. À la fin du débat, l'observation des caryotypes des gamètes permet de valider/invalidier les différentes propositions des groupes. La séance s'achève par un retour sur l'explication des ressemblances au père ou à la mère en mobilisant les informations apportées par les allèles présents sur la paire de chromosomes n°9.

■ 2.3. La situation proposée dans une classe de terminale S⁵¹

Dans un premier temps, une discussion collective permet aux élèves de redéfinir ce qu'est le génome et de pointer que pour assurer sa conservation, il faut une conservation du caryotype. Cela amène à la question support de l'évaluation diagnostique : « Quels sont les mécanismes qui permettent la conservation du caryotype ? ».

À partir d'un modèle de caryotype où $2n$ chromosomes = 4^{52} , les élèves doivent modéliser les processus qui permettent d'assurer la transmission de toute l'information génétique d'une génération à l'autre. Plusieurs contraintes sont à respecter : des allèles sont placés sur les chromosomes et des couleurs doivent être utilisées pour indiquer l'origine maternelle ou paternelle du chromosome ou de la chromatide. La tâche est réussie s'il y a conservation du caryotype caractéristique de l'espèce. Ce sont les productions des élèves qui servent de support au débat scientifique qui suit l'évaluation diagnostique.

■ 2.4. Comparaison de ces trois dispositifs

Dans les trois dispositifs présentés, il est apparu nécessaire, pour des raisons pratiques, de passer des 23 paires de chromosomes du caryotype humain à une représentation simplifiée à deux paires de chromosomes ($2n = 4$). Un code de couleurs a été utilisé dans les différentes classes, car il permet de suivre plus facilement le devenir des chromosomes d'origine paternelle et maternelle.

Les deux procédures, pour le recueil des données réalisé en 3^e, s'appuient sur des exemples précis de paires de chromosomes (la paire n° 9 et la paire de chromosomes sexuels). Dans la classe de terminale S, ce sont deux paires quelconques de chromosomes qui sont utilisées. Cette première différence peut être expliquée par une habitude à l'abstraction plus importante en terminale qu'en troisième.

Les allèles placés sur les chromosomes sont également quelconques en terminale (A pour le premier gène et B pour le deuxième gène) alors que ce sont les allèles A et B des groupes sanguins qui ont été choisis pour la paire n°9, dans une classe de troisième. Dans l'autre classe de troisième, les allèles n'ont pas été placés au départ sur les chromosomes.

⁵¹ Classe de terminale S, lycée Dumont-d'Urville à Caen (14). Classe d'Anna Pogam.

⁵² Cas simplifié par rapport au modèle humain, où $2n=46$ chromosomes.

L'absence du placement des allèles ou leur présence dépend de l'étude qui est centrée sur le maintien du caryotype essentiellement ou sur le lien entre ce maintien et la stabilité du génome.

Une autre différence dans les dispositifs de recueil de données concerne le nombre de chromatides, une ou deux, dans les chromosomes représentés. Cette différence est à relier aux objectifs de connaissances qui ne sont pas les mêmes en 3^e et en terminale S. En 3^e, une méiose comprenant seulement la division réductionnelle suffit pour expliquer la stabilité du génome et le brassage chromosomique. Les chromosomes à une chromatide répondent à cette exigence. En revanche, en terminale, la méiose est à étudier avec ses deux divisions (réductionnelle et équationnelle) pour pouvoir expliquer le brassage intrachromosomique de la méiose. Les chromosomes à deux chromatides s'imposent.

La dernière différence concerne l'étape de production des gamètes qui est, soit donnée comme contrainte de situation, soit doit être représentée par les élèves eux-mêmes.

Après avoir explicité les dispositifs mis en œuvre, nous allons présenter l'analyse des données obtenues.

3. Analyse des données

Les productions des élèves vont nous permettre de répondre aux questions suivantes :

- quelles sont les procédures mobilisées par les élèves pour assurer la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre ?;
- les différentes conceptions de l'information génétique mises en évidence ailleurs (Lhoste & Roland, à paraître) interviennent-elles également dans cette modélisation ?;
- quels sont les problèmes construits par les élèves dans les dispositifs que nous venons de présenter ?;
- quels écarts entre les problèmes effectivement construits par les élèves et celui que nous avons présenté à la section 1 à partir d'une analyse du savoir en jeu ?;
- quelles hypothèses pouvons nous formuler pour expliquer ces écarts, s'ils existent ?

■ 3.1. Analyse de l'évaluation diagnostique

À partir de l'étude des productions des élèves, nous avons essayé de catégoriser les procédures qu'ils utilisent pour modéliser la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre. Dans un premier temps, nous présenterons les procédures identifiées dans les différentes classes, puis nous ferons une comparaison de celles-ci.

• 3.1.1. Présentation des procédures utilisées par les élèves dans les différentes classes (3^e et terminale S)

Le tableau 1 présente cinq procédures utilisées par les élèves de la classe de 3^e1 ainsi que les questions qui ont été soulevées lors de la présentation de ces productions.

Tableau 1. Catégorisation des productions obtenues dans la première classe de 3^e1

Procédure 1 10 élèves	Ovule (4 chromosomes) Spermatozoïde (4 chromosomes) ↓ 1 cellule-œuf à 4 chromosomes	Question : Que sont devenus les 4 autres chromosomes ? Comment les élèves définissent-ils la fécondation ?
Procédure 2 5 élèves	Les élèves pour former les gamètes femelles procèdent à une division « de mitose », ils obtiennent donc deux ovules à 4 chromosomes et rejoignent le cas précédent.	Mêmes questions que précédemment.
Procédure 3 1 élève	Pour assurer la réduction du nombre de chromosomes, cet élève explique que les chromosomes d'une même paire s'accrochent les uns aux autres.	Conservation de la matière. Respect de la contrainte : les chromatides d'un chromosome double sont identiques.
Procédure 4 2 élèves	Pour assurer la réduction du nombre de chromosomes, cet élève explique que les chromosomes d'une même paire se superposent, se mettent les uns sur les autres.	Conservation de la matière. Respect de la contrainte : les chromatides d'un chromosome double sont identiques.
Procédure 5 6 élèves	Procédure attendue, les chromosomes homologues se séparent.	

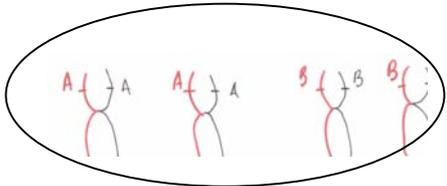
Le tableau 2 présente les procédures identifiées dans les productions des élèves de la classe de 3^e2.

Tableau 2. Catégorisation des procédures utilisées par les binômes garçon/fille dans la classe de 3e 2

Procédure 6 8 élèves	Le bébé possède, pour chaque paire, 1 chromosome du père et un de la mère, en fonction des caractères du bébé que le binôme voulait obtenir (garçon ou fille).
Procédure 7 6 élèves	Le bébé possède 3 chromosomes du père contre 1 chromosome de la mère. « Je voulais qu'elle me ressemble »
Procédure 8 2 élèves	Le bébé possède 3 chromosomes de la mère et 1 chromosome du père. « Je voulais qu'il me ressemble ».

Pour la classe de terminale S, nous avons identifié trois procédures différentes qui sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3. Catégorisation des procédures utilisées par les élèves de la classe de terminale S

Procédure 9 14 élèves	Les élèves procèdent à une séparation des 2 chromatides de chacun des chromosomes. Ils ne procèdent pas à la division réductionnelle.	Voir schéma 1 présenté en annexe 1
Procédure 10 6 élèves	Les élèves mobilisent la procédure attendue, à savoir une première division réductionnelle avant la fécondation.	Voir schéma 2 présenté en annexe 1
Procédure 11 2 élèves	C'est la même procédure utilisée au moment de la méiose, mais, au moment de la fécondation, les élèves reconstituent des chromosomes mixtes (chromosome formé d'une chromatide issue du père et d'une chromatide issue de la mère).	

Nous allons comparer ces procédures entre elles et en tirer quelques informations concernant la façon dont les élèves modélisent la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre.

• 3.1.2. Discussion à propos des procédures mobilisées par les élèves

Deux grilles ont été construites pour comparer les procédures utilisées, car il nous semble pertinent de distinguer ce qui relève de la production des gamètes (la méiose) de ce qui relève de la fécondation. Ces deux grilles sont présentées dans le tableau 4 et le tableau 5.

Tableau 4. Grille d'analyse des procédures des élèves sur le thème de la fabrication des gamètes

Description des procédures	Procédures catégorisées dans les classes	Nombre d'élèves
Pour former le caryotype des gamètes, les élèves utilisent une division réductionnelle des chromosomes. C'est la procédure attendue.	3 ^e 1 : procédure 5 3 ^e 2 : procédure 6 TS : procédures 10 et 11	22
Pour former le caryotype des gamètes, les élèves utilisent une division qu'ils connaissent, une division de mitose.	3 ^e 1 : procédures 1, 2, 3 et 4 TS : procédure 9	32
Pour former le caryotype des gamètes, les élèves utilisent une division inégale ce qui conduit à transmettre à l'enfant plus ou moins de chromosomes du père et de la mère.	3 ^e 2 : procédures 7 et 8	8

Tableau 5. Grille d'analyse des procédures des élèves sur le thème de la fécondation

Description des procédures	Procédures catégorisées dans les classes	Nombre d'élèves
Les élèves produisent une cellule-œuf qui contient le double de chromosomes par rapport au nombre attendu.	3 ^e 1 : procédures 3 et 4	3
Les élèves proposent une cellule œuf qui contient le bon nombre de chromosomes (les chromosomes possédant deux chromatides identiques). C'est la procédure attendue.	3 ^e 1 : procédures 1, 2 et 5 3 ^e 2 : procédure 6 TS : procédure 10	35
Les élèves proposent une cellule œuf qui contient le bon nombre de chromosomes (les chromosomes sont constitués de deux chromatides différentes).	TS : procédures 9 et 11	16
Les élèves proposent une cellule œuf qui contient le bon nombre de chromosomes, mais avec un nombre inégal de chromosomes d'origine maternelle et paternelle	3 ^e 2 : procédures 7 et 8	8

Deux hypothèses, en l'état actuel de nos réflexions, peuvent être avancées pour expliquer ces procédures:

- les élèves veulent mettre la totalité des chromosomes paternels et maternels (procédures 3 et 4) ;
- ils veulent maintenir le caryotype, sans forcément tenir compte du génotype, ni de l'égalité des chromosomes paternels et maternels (autres procédures).

Ces procédures pourraient renvoyer à la manifestation de la conception uniquement matérielle du chromosome qui aurait ici une fonction d'obstacle. Cependant, ces interprétations devront être croisées avec l'analyse du débat qui permettra d'avoir plus d'informations sur les modes de raisonnements des élèves.

À partir de ces productions, des travaux de groupe et des débats scientifiques vont être conduits dans la classe de 3^e 2 et dans la classe de terminale S. L'enregistrement des débats et leur transcription nous permettront d'accéder aux problèmes construits par les élèves.

■ 3.2. Les problèmes construits par les élèves de troisième et de terminale S

• 3.2.1. Méthodologie d'analyse des débats de classe

Les débats sont analysés selon la méthodologie décrite par Orange (2000), qui précise que le passage des idées aux raisons s'effectue par la mise en tension critique du savoir entre des éléments qui relève du registre empirique et des éléments du registre du modèle. C'est dans cette mise en relation que les éléments du registre empirique acquièrent le statut de contrainte empirique et les éléments du registre du modèle celui de nécessité sur le modèle (Lhoste et al., 2007b). Le débat de la classe de 3e transcrit intégralement est présenté en annexe 2. À partir de ce corpus, nous avons catégorisé les différentes interventions des élèves en fonction du registre auxquelles elles appartiennent : registre empirique et registre des modèles. C'est à partir de cette première catégorisation que nous avons identifié les éléments qui ont un statut de contrainte et ceux qui ont un statut de nécessité

• 3.2.2. Analyse du débat dans la classe de 3e 2

Nous avons identifié trois contraintes empiriques et trois nécessités sur le modèle que nous allons présenter à partir de certains extraits du corpus présenté in extenso en annexe 2.

Extrait 1

E : Alors, qu'est ce qui nous reste à voir ? rappelez vous, on en est au dernier chapitre sur la partie génétique. il nous reste un truc qu'on n'a pas expliqué. C'est la question qu'on s'était posée. On avait dit : « nous on est des individus, des milliards de cellules, on est défini par nos caractères » et nos caractères ils nous viennent d'où ?	
Nathan : de nos parents.	RE-RM

Dans cette intervention, on peut dire que la contrainte empirique d'une ressemblance aux parents et mise en relation avec la nécessité d'une transmission de quelque chose des parents aux enfants. Cette mise en relation, qui n'est pas explicitée par les élèves dans cet extrait du corpus, est sous-tendue par le « ils viennent » qui indique l'idée d'un mécanisme. Il convient de noter que la contrainte empirique d'une ressemblance aux

parents provient également de certaines interventions de l'enseignante qui rappelle plusieurs fois la consigne de départ (« Chaque binôme garçon/fille doit proposer le caryotype et le génotype des bébés qu'ils pourraient avoir ensemble, pour expliquer les ressemblances au père et à la mère »). Ces interventions (notamment en 32 : « si vous pensez que c'est nécessaire, vous pouvez couper ! je vous rappelle que votre modèle doit expliquer pourquoi il y en a qui ressemblent plus à leur père, à leur mère ou aux deux ») permettent d'assurer la dévolution de la contrainte de situation⁵³ aux élèves qui peuvent ensuite la mobiliser comme une contrainte empirique, qu'ils articulent à une nécessité, ici celle d'une transmission de quelque chose qui vient des deux parents.

Nous avons considéré que le fait que chaque cellule humaine possède 46 chromosomes avait le statut de contrainte empirique car ce point a déjà été vu au cours des séances précédentes et qu'il est mobilisé par les élèves dans l'extrait 2.

Extrait 2

À nouveau ça pose un problème parce que votre père, combien a-t-il de chromosomes dans toutes ses cellules ?	
Elève (Romain) : 23 paires.	RE
E : donc 46 chromosomes. votre mère ?	
Kévin : 46	RE
E : pareil, elle appartient à la même espèce, sinon ils n'auraient pas pu vous fabriquer, elle a aussi 46 chromosomes. Gildas et toi combien tu en as ?	
Gildas : de quoi ?	
E : des chromosomes	
Gildas : 46	RE

C'est à partir de ces différentes contraintes que les élèves s'engagent dans la modélisation proposée (construire l'information génétique du bébé à partir de l'information génétique du père et de la mère) et nous allons voir comment ces deux contraintes contrôlent ce que produisent les élèves.

Extrait 3

42. E : Pourquoi vous avez choisi ça ?		
43. Romain : il est comme moi	RE- RM	CE : Ressemblance aux parents. CM : nécessité d'un apport de matériel génétique proportionnel aux caractères du père.
44. E : ben non tu es du groupe B		
45. Romain (échange de chromosome rose contre bleu)	RE- RM	CE : Ressemblance aux parents. CM : nécessité d'un apport de matériel génétique proportionnel aux caractères du père.

⁵³ Nous faisons une distinction entre les *contraintes de situations* qui correspondent à des éléments du dispositif, des contraintes (empiriques ou théorique) construites par les élèves lorsqu'ils sont engagés dans une activité de problématisation, même s'il est possible qu'une contrainte de situation devienne une contrainte empirique dans un raisonnement particulier.

On voit ici que la contrainte d'une ressemblance de l'enfant aux deux parents permet à Romain de construire la nécessité d'un apport de matériel génétique proportionnel aux caractères du père. L'articulation entre cette contrainte et cette nécessité n'est pas explicitée, mais on voit qu'il établit un rapport entre les deux puisqu'il modifie sa première production suite à la remarque de l'enseignante en 44. Le dispositif choisit, qui permet à l'élève de pouvoir manipuler du matériel sans forcément accompagner cette manipulation d'un commentaire oral, n'oblige pas l'élève à expliciter son raisonnement. Cela nous limite sérieusement dans la compréhension du problème que l'élève est en train de traiter.

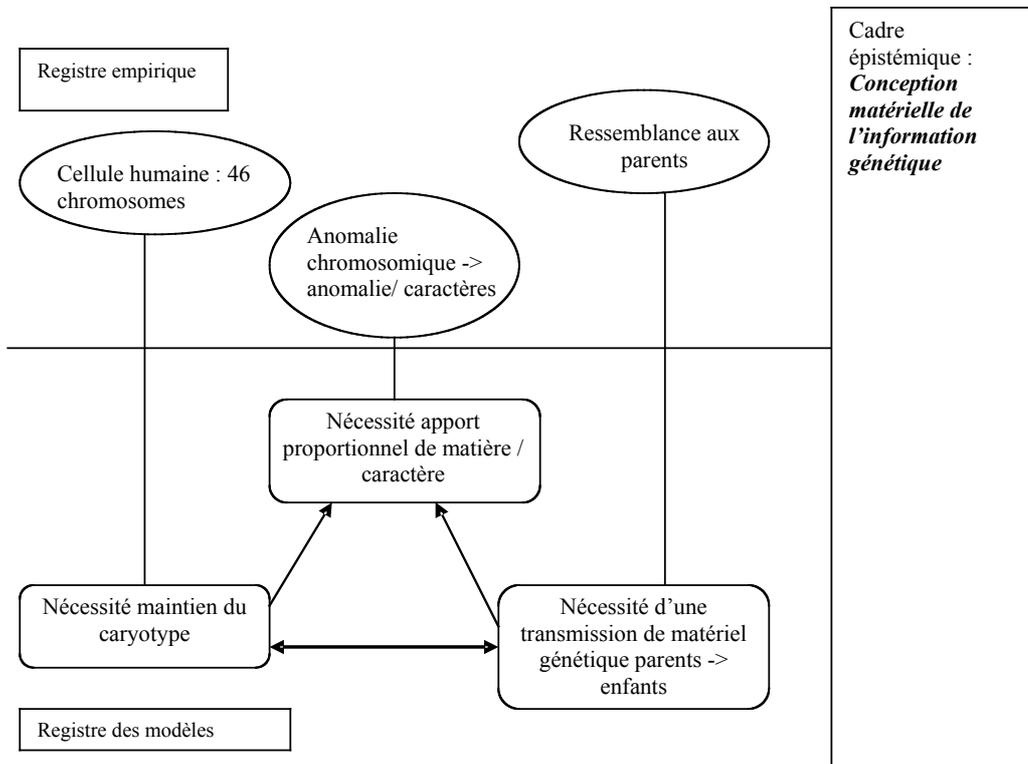
De la même façon, dans l'extrait 4 du débat et compte tenu de la proposition de ces élèves, il nous semble qu'ils ont construit la nécessité du maintien du caryotype de l'espèce pour respecter la contrainte empirique évoquée plus haut : « chaque cellule humaine possède 46 chromosomes ».

Extrait 4

54. E : il faut qu'il y ait le même nombre de chromosomes que qui ?		
55. El : que les parents	RE- RM	CM : nécessité maintien du caryotype
56. E : je suis d'accord avec vous ; il faut donc dans le modèle que notre bébé (...) ait le même nombre de chromosomes que ses parents dans le modèle, il faut donc qu'il en ait 4. Et dans la réalité ?		

La figure 3 représente ainsi l'espace de contraintes en jeu dans cette classe de 3^e.

Figure 3. Espace de contraintes en jeu dans le débat sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre en classe de 3e



On voit apparaître les contraintes empiriques d'une ressemblance des enfants aux parents et le lien entre des anomalies chromosomiques et ses conséquences au niveau des caractères de l'individu. Nous expliquons cela par le fait que ces points ont été traités précédemment dans le programme. En effet, on s'attache à définir ce qu'est un caractère héréditaire, comme un caractère transmis d'une génération à la suivante. De plus, au moment de l'étude du caryotype, on montre qu'un nombre anormal de chromosomes entraîne des anomalies. Il est donc satisfaisant de constater que les élèves considèrent la ressemblance de l'enfant aux parents et le lien entre nombre anormal de chromosomes et anomalie comme des contraintes empiriques, qu'ils peuvent utiliser dans des raisonnements.

Même si certaines nécessités nous semblent construites au cours de ce débat, elles sont construites uniquement en termes de transposition des contraintes empiriques dans le mécanisme de la formation de l'enfant. Les élèves construisent le nouveau bébé en piochant dans le stock de matériel génétique qui est disponible au départ dans la cellule du père et dans la cellule de la mère, en respectant les deux contraintes empiriques du nombre de chromosomes qui doit être le même dans toutes les cellules de l'organisme et de la ressemblance du bébé aux deux parents. Ainsi, pour expliquer que l'enfant ressemble plus au père ou à la mère, ils prennent davantage de matériel génétique au père ou à la mère, la quantité influant directement sur les caractères exprimés par l'enfant. Il nous semble que ce mode de raisonnement renvoie à une conception matérielle de l'information génétique que nous avons mise en évidence par ailleurs (Lhoste & Roland, à paraître). En effet, les élèves s'intéressent essentiellement à la nature du matériel qui porte l'hérédité. Ils établissent un lien direct et non questionné entre cette quantité de matière et les caractères exprimés par l'individu⁵⁴. De plus, aucune contrainte ne pèse sur la formation des gamètes et sur la fécondation. Cette étude montre, sous de nouveaux aspects, en quoi cette conception matérielle de l'information génétique est un obstacle, au sens bachelardien, pour penser l'information génétique dans une conception mixte, matérielle et informationnelle.

Cette analyse nous a permis de proposer certaines modifications dans le dispositif d'enseignement que nous présenterons à la section 4.

• 3.2.3. Analyse du débat dans la classe de terminale S

La première différence entre le débat mené en classe de 3e et celui conduit en terminale S concerne les savoirs disponibles dans la classe. Après avoir été rappelés, ils vont pouvoir être mobilisés dans les problèmes construits par les élèves. L'extrait 5 permet de mettre en évidence certains savoirs disponibles qui vont, dans la suite du débat, devenir des contraintes empiriques.

Extrait 5

1	P :	Que signifie, que représente la stabilité des génomes ? Aidez-vous de la définition de		
---	-----	---	--	--

⁵⁴ L'exemple du lien entre un excès de matériel génétique ou un défaut et des anomalies au niveau des caractères de l'individu vient sans doute renforcer la conception matérielle de l'information génétique et pourrait constituer, en cela, un *obstacle didactique*.

		génom.		
2	Coryse :	C'est l'ensemble des gènes de l'espèce.	RE	CE : génome est l'ensemble des gènes de l'espèce
3	P :	D'accord. Alors quand on dit que le génome est stable, cela veut dire quoi ?		
4	Misaël :	Tous les individus d'une même espèce ont les mêmes gènes.	RE	CE : tous les individus de l'espèce ont les mêmes gènes
5	Professeur :	Pourquoi ? Comment le génome est-il stable ? Vous pouvez déjà apporter des éléments de réponse compte-tenu de ce que vous savez sur le support des gènes.		
6	Misaël :	Les chromosomes portent les gènes.	RE	CE : chromosomes : support des gènes
7	Professeur	Si le génome est stable, cela veut dire quoi ?		
8	Misaël :	Les chromosomes sont les mêmes. On a tous les mêmes chromosomes.	RE	CE : tous les individus de l'espèce ont le même caryotype

Dans ce court extrait, on voit les élèves mobiliser le concept de gène et de chromosome d'une façon différenciée (les chromosomes sont le support des gènes) ce qui pourrait laisser à penser que ces élèves sont dans un cadre épistémique mixte matériel/informationnel. Les élèves savent également que chaque cellule humaine possède 46 chromosomes (12, 14, A13, B1, D3, 39). Ce savoir va jouer un rôle important dans le débat puisqu'il sera impliqué dans des raisonnements qui vont permettre de construire la double nécessité d'une fécondation et d'une réduction spécifique (division réductionnelle) lors de la méiose. Essayons de mettre en évidence certains de ces raisonnements dans les travaux de groupe et dans le débat mené en collectif.

Dans le groupe A, les élèves ont produit des gamètes qui possèdent 23 chromosomes par séparation des chromosomes homologues. On voit dans l'extrait 6 que la façon dont les élèves ont produit les chromosomes des gamètes respecte un ensemble de contraintes qui ne sont pas explicitées (le nombre de chromosomes des gamètes qui doit être de 23 chromosomes pour produire un enfant avec 46 chromosomes : 23 du père et 23 de la mère). Cela ne permet pas la construction d'une nécessité au sens d'un « construit nouveau, sur la base d'un raisonnement », en l'opposant aux contraintes entendues comme « un déjà-là convoqué » dans ce même raisonnement (Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007) puisque aucun raisonnement n'est explicité dans l'extrait présenté. Mais cela permet aux élèves de proposer une solution possible (division réductionnelle) qui pourra être soumise à une discussion critique. Cette discussion émerge lors du travail de groupe (extrait 6).

Extrait 6. Enregistrement d'un binôme (qui a réalisé la procédure 20)

A1	Jonathan :	Tu n'en as qu'un sur les deux et après cela fait une cellule comme cela.		
A2	Thomas :	Les cellules sexuelles cela voudrait dire que cela se diviserait d'abord et après cela ...	RMc	CM : nécessité de la division réductionnelle

A3	Jonathan :	Cela se diviserait mais non, là c'est le spermatozoïde (t'as la moitié d'un spermatozoïde) dans le spermatozoïde.		
A4	Thomas :	Dans les cellules sexuelles t'as qu'un chromosome.	RMc	CM : haploïdie des gamètes
A5	Jonathan :	T'en as 23 tout court.	RMc	CM: Chez l'Homme : 23 K dans les gamètes
A6	Thomas :	Oui, alors là , y en qu'un.		
A7	Jonathan :	Non 2.		
A8	Thomas :	Un petit et un gros.	RMc	CM : un K de chaque paire
A9	Jonathan :	Oui.		
A10	Thomas :	Là tu as le A et là le B et pareil ici. Et après comment cela fait pour passer de là à là ?	RMc	CM : passage de l'haploïdie à la diploïdie
A11	Jonathan :	C'est tout, les cellules elles sont faites comme cela, les cellules sexuelles toutes comme cela, c'est une particularité.	RMd	
A12	Thomas :	Mais là, t'en as plus 46 mais que 23.	RE-RM	
A13	Jonathan :	Ce n'est pas grave, ce ne sont pas des vraies cellules.	RE	CE : 46 K pour les cellules somatiques
A14	Thomas :	Tu as vu des fausses cellules, toi ?		
A15	Jonathan :	Oui enfin, ce ne sont pas des vraies cellules comme toutes celles qui sont à...	RE-RM	CM : nécessité du passage de $2n$ à n et de n à $2n$
A16	Thomas :	Alors là après, pour former la procréation, la reproduction, « on les rejoint ».	RE-RM	CE : existence de la fécondation CM : les K s'additionnent

La proposition de Thomas n'est pas acceptée spontanément par Jonathan qui conteste la possibilité de l'existence d'une cellule à 23 chromosomes ne respectant pas un savoir partagé : celui du même nombre de chromosomes de chaque cellule de l'organisme (Jonathan en A3 : « Cela se diviserait mais non, là c'est le spermatozoïde (t'as la moitié d'un spermatozoïde) dans le spermatozoïde »). Thomas ne va pas répondre directement à l'objection de Jonathan, mais va expliciter les mécanismes qui permettent d'aboutir à ces cellules à 23 chromosomes, il va expliciter les mécanismes de la première division réductionnelle de la méiose. Mais il répond à l'objection de Jonathan par un argument d'autorité : « C'est tout, les cellules elles sont faites comme cela, les cellules sexuelles toutes comme cela, c'est une particularité ». Il donnera un début d'explication (non explicitée) à la fin de l'extrait 6 où il met en relation ces gamètes à 23 chromosomes avec l'existence de la fécondation qui permet de rétablir le caryotype caractéristique de l'espèce (Thomas en A16 : « Alors là après, pour former la procréation, la reproduction, on les rejoint »).

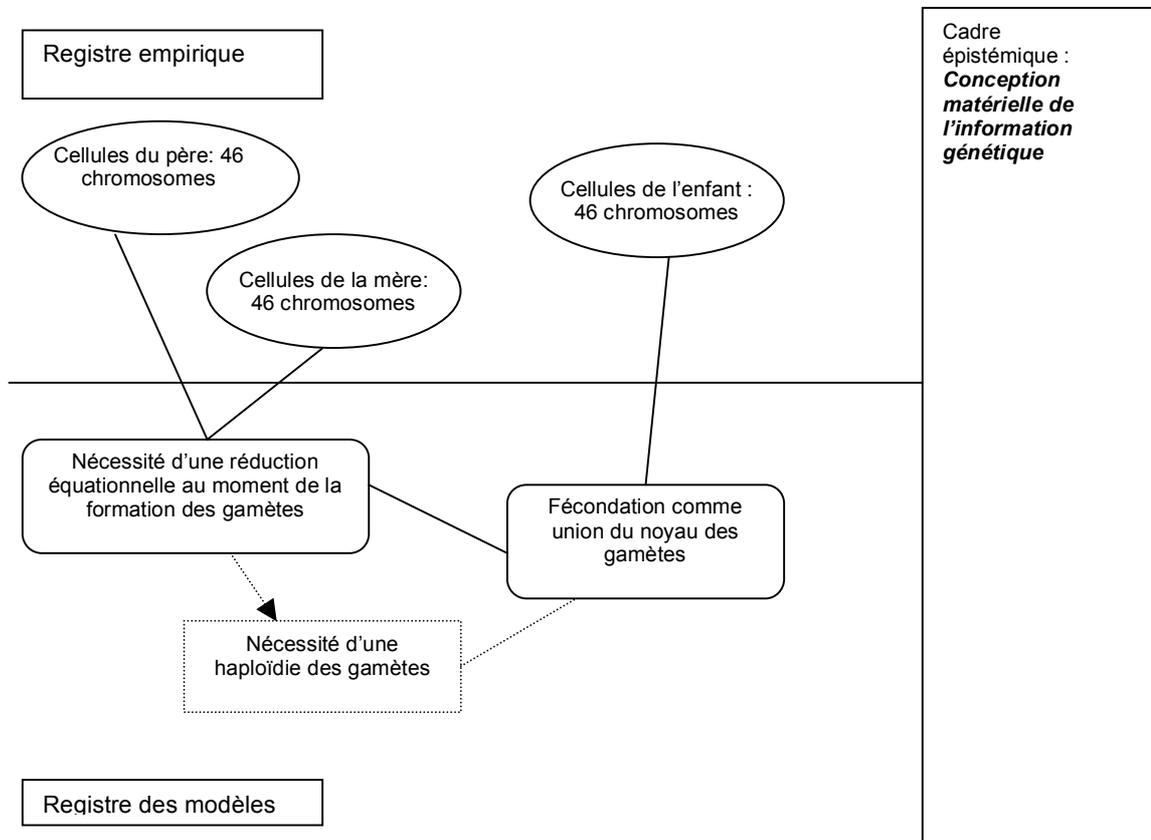
Ce sont les mêmes possibles qui sont développés par le binôme B et C puis D dans lesquels des nécessités sont en train de se construire (extrait 7).

Extrait 7. Enregistrement du binôme D (procédure 19)

D1	Vanessa :	Là la moitié, là l'autre moitié.	RMd	
D2	Marie :	Non mais je ne vois pas pourquoi tu divises.		
D3	Vanessa :	Parce que si tu ne supprimes pas les deux, cela fera quatre paires de chromosomes, non ?	RE-RM	CE : 46 K CM : nécessité de la division réductionnelle

La nécessité d'une division réductionnelle des gamètes est construite dans ce groupe par le raisonnement suivant : Si A, alors B. Or non B donc non-A. En effet, si on ne procède pas à la réduction réductionnelle lors de la formation des gamètes, la fécondation va conduire à la production d'enfant avec 92 chromosomes (tétraploïdie : 4 chromosomes par paire) ce qui est impossible compte tenu de la contrainte empirique du maintien du caryotype caractéristique de l'espèce d'une génération à l'autre. On voit que la nécessité d'une haploïdie des gamètes est sous-jacente à cette nécessité d'une division réductionnelle des gamètes. Parmi les 4 binômes enregistrés, seuls les élèves du binôme D construisent véritablement la nécessité d'une division réductionnelle articulée à la contrainte du maintien du caryotype de l'espèce d'une génération à l'autre et une contrainte théorique : celle de la fécondation. Nous considérons ici la fécondation comme une contrainte théorique puisqu'elle n'est pas objet de discussion (ni dans son existence, ni dans son sa fonction biologique). Nous pouvons alors construire l'espace de contraintes construit par les élèves de ce binôme (figure 4).

Figure 4. Espace de contraintes en jeu dans le binôme D



Lors de la mise en commun cette nécessité d'une division réductionnelle des chromosomes au moment de la formation des gamètes est de nouveau explicitée dans l'échange présenté à l'extrait 8.

Extrait 8

32	Professeur :	Oui, ceux qui ont le même modèle, pouvez-vous expliciter ? Comment avez-vous fait pour obtenir les cellules sexuelles ?
33	Misaël :	C'est sûrement des cellules pères ou mères qui se divisent en deux pour former 2 sous cellules si on peut dire.
34	Professeur :	Est-ce que tout le monde a vu la nécessité d'une division dans les deux modèles, soit celui-là ou celui-là ?
39	Claire :	On n'aurait pas le même nombre de chromosomes dans la cellule oeuf que dans la cellule mère ou père.
40	Professeur :	Il y en aurait combien ?
41	Claire :	Le double.
42	Professeur :	Nécessité d'une division évidente, sinon à chaque génération on doublerait le nombre de chromosomes...

Cet échange nous montre que c'est un raisonnement équivalent de celui mené par le groupe D qui permet à la professeure d'institutionnaliser cette nécessité d'une division réductionnelle lors de la formation des gamètes. La nécessité est construite sur l'impossibilité qu'elle n'ait pas lieu, sinon l'enfant aurait une quantité double de matériel génétique par rapport au caryotype de l'espèce (39, 41), raisonnement qui est piloté par l'enseignante. On remarque également que la mise en relation entre l'étape de la méiose et celle de la fécondation reste implicite, même si elle est évoquée à l'intervention 33 de Thomas : « Pour moi, il y a les cellules sexuelles qui fusionnent lors de la reproduction ».

La suite de la discussion est centrée sur le mécanisme de la division (extrait 9).

Extrait 9

43	Simon :	On a séparé chaque chromosome en deux, les deux chromatides.	RMf	
44	Professeur :	D'accord, et après pour avoir l'enfant ?		
45	Simon :	On a fusionné les deux chromatides de chaque parent. Chaque chromosome se retrouve avec une chromatide de chaque.	RMf	
46	Thomas :	Les chromosomes se divisent.	RMf	
47	Professeur :	Pas n'importe comment ? Lesquels ?		
48	Jonathan :	Un chromosome de chaque paire ?	RMc	CM : un K de chaque paire dans un gamète

Pour expliquer la division réductionnelle, les élèves mobilisent un savoir disponible qui est celui construit en première S concernant les mécanismes de la transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre (Le Jossic, 2008). Ils réalisent une division de mitose qu'ils comprennent comme réductionnelle, dans la mesure ils ont réduit par deux le nombre de chromatides sans avoir pourtant réduit le nombre de chromosomes par deux.

Ils peuvent se sortir de la difficulté en recombinaison les deux chromatides issues des mêmes chromosomes, en les fusionnant pour rétablir le caryotype de l'espèce. Nous avons déjà analysé ailleurs les modèles explicatifs sous-jacents à cette procédure (Lhoste & Roland, à paraître).

Ce constat nous a conduit à plusieurs remarques :

- le savoir formel construit sur la mitose (formel au sens d'une reproduction de la forme indépendante de la signification) par les élèves pourrait venir limiter les possibilités laissées aux élèves de construire des solutions possibles pour prendre en compte les nouvelles contraintes liées à la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre ;
- les élèves raisonnent uniquement sur la dimension matérielle de l'information génétique et « bricolent » les chromosomes pour respecter la contrainte du maintien du caryotype lors du changement de génération. Cette centration sur la dimension matérielle de l'information génétique les empêche alors de prendre en compte la dimension informationnelle de l'information génétique comme nous l'avons déjà mis en évidence lors des analyses conduites sur le thème de la mitose (Lhoste & Roland, à paraître).

Les deux explications proposées nous semblent complémentaires et montrent que la conception matérielle de l'information génétique/du gène constitue un obstacle à l'acquisition de la formalisation des mécanismes chromosomiques de la division réductionnelle de la méiose.

• 3.2.4. Comparaison des problèmes construits en 3^e et en terminale S

Les problèmes construits par les élèves en classe de 3^e et en classe de terminale S sont différents. Nous pensons que les savoirs construits en génétique en classe de seconde et de première S (au niveau des explications sur les relations entre gènes et caractères) permettent aux élèves de ne plus proposer des explications qui mettent directement en relation la quantité d'information génétique venant d'un des deux géniteurs, avec le degré de ressemblance de l'enfant avec ce même parent. Ainsi, une nécessité construite en 3^e, celle du maintien du caryotype d'une génération à l'autre, apparaît comme une contrainte en terminale S, où elle s'actualise dans les contraintes empiriques à partir desquelles les élèves construisent leurs raisonnements. La nécessité du maintien du caryotype est bien mobilisée pour la plupart des élèves (seuls 3 élèves sur 62 proposent une cellule à 92 chromosomes lors de l'évaluation diagnostique). Par contre la nécessité que deux chromatides d'un même chromosome soient identiques ne l'est pas, même chez les élèves de terminale S. Cela nous a conduit à nous interroger sur la pertinence de proposer aux élèves de réfléchir à partir d'un modèle de chromosome à une ou deux chromatides.

Cela permet d'aller plus loin dans la réflexion sur les mécanismes de la méiose. Ainsi en terminale S, les élèves ont construit la nécessité d'une division réductionnelle lors de la méiose. Cependant dans les deux cas, les analyses que nous avons menées montrent que les deux débats ont lieu dans un cadre épistémique relevant d'une conception matérielle de l'information génétique, ce qui empêche les élèves de réussir à construire les mécanismes de la division réductionnelle de la méiose.

Ces constats, en plus de ceux déjà présentés, nous permettent de pointer des conditions didactiques au niveau de la conception des dispositifs d'enseignement et du pilotage de l'activité d'apprentissage des élèves pour permettre de les engager dans une activité de problématisation. C'est ce que nous allons présenter dans la dernière section de notre texte.

4. Quelques conditions à la problématisation par les élèves du concept de méiose

Il ne s'agit pas de décrire un dispositif didactique qui permettrait aux élèves, de façon systématique en relation avec

ce dispositif, de construire le concept de transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre, mais de pointer quelques conditions à la problématisation sur les dispositifs mis en place et sur les interventions de l'enseignant dans le direct de la classe⁵⁵.

■ 4.1. Des conditions qui portent sur les situations d'enseignement

Nous avons identifié deux conditions qui semblent incontournables pour concevoir un dispositif d'enseignement sur le thème de la méiose en 3^e et en terminale S afin d'engager les élèves dans une activité de problématisation.

Celles-ci se traduisent au niveau de la conception par les enseignants des activités pour les élèves, et seront présentées dans les deux premières sections de ce paragraphe.

Ces deux conditions ne sont pas à mettre sur le même plan : la première détermine la possibilité d'engager les élèves dans une activité de problématisation, la seconde permet à l'enseignant de confronter l'élève à un problème pertinent du point de vue du savoir en jeu compte tenu des modes d'explications qu'il mobilise.

D'autres éléments du dispositif seront également questionnés en fonction de diverses analyses dont celles que nous venons de présenter.

• 4.1.1. Une condition au niveau de l'organisation du travail des élèves

La première nécessité à faire construire aux élèves correspond à la condition indispensable d'une division réductionnelle au moment de la formation des gamètes. Elle permet le passage de la diploïdie à l'haploïdie en lien avec le processus incontournable d'une fécondation qui permet le retour à la diploïdie. Ainsi, pour avoir, dans les productions des élèves, le matériel nécessaire à la construction de ces deux nécessités, il convient, dans un premier temps, de demander aux élèves d'expliquer par une trace écrite (qui pourra être soumise à une discussion) la formation des gamètes puis comment, à partir de ces gamètes, ils forment une cellule-œuf.

⁵⁵ Ce travail sur les conditions de la problématisation doit permettre de pointer ce que Musquer et Fabre désignent comme des « *inducteurs de la problématisation* » (Musquer & Fabre, 2008). Les discussions sur les conditions et les inducteurs de problématisation sont au cœur du *Séminaire de recherche sur la problématisation*, 2007-2008, du CREN, université de Nantes.

Cette démarche nous semble importante car les élèves de la classe de 3^e, qui sont passés directement du caryotype des parents au caryotype de leur enfant⁵⁶, n'ont plus les moyens de discuter avec les autres élèves de la question du caryotype des gamètes (ni de mettre à l'épreuve leurs hypothèses en faisant l'analyse d'un caryotype des gamètes par exemple).

- 4.1.2. *Une condition pour confronter les élèves au problème*

Lorsque les élèves sont impliqués dans l'explication de mécanismes de transmission de l'information génétique d'une cellule mère aux cellules-filles (Lhoste *et al.*, 2007a) ou des parents aux enfants, ils ont tendance à ne prendre en compte que la dimension matérielle de l'information génétique.

Ainsi pour les confronter au problème de la prise en compte simultanée de la dimension matérielle et informationnelle de l'information génétique, il convient que les dispositifs d'enseignement proposés permettent aux élèves de raisonner à la fois sur ces deux dimensions. Dans le dispositif présenté à la section 2.2., le fait de choisir une paire de chromosomes sexuels nous paraît a posteriori peu judicieux car il ne permet pas aux élèves de faire la distinction entre gène et chromosome. De la même façon, il nous semble qu'il faille proposer des supports pour la modélisation qui mettent bien en évidence l'information génétique.

D'autres points peuvent faire l'objet d'une attention particulière dans la conception des dispositifs d'enseignement, même s'ils nous semblent moins centraux.

- 4.1.3. *D'autres éléments du dispositif à questionner pour délimiter le champ des possibles à explorer par les élèves*

La tâche proposée dans une classe de troisième était la suivante : « vous devez expliquer comment vous pouvez ressembler plus à l'un de vos parents ». Compte tenu des résultats obtenus et du fort ancrage d'une conception matérielle de l'information génétique chez des élèves de troisième, il nous semble que cette tâche incite les élèves à expliquer pourquoi un enfant ressemble plus ou moins à chacun de ces parents, ce qui les oriente, dans une conception matérielle de l'information génétique, vers une explication du type : la ressemblance est proportionnelle à la quantité de matière transmise (ceci est formulé par les élèves dans l'extrait 3 présenté à la section 3.2., interventions 42-45). De fait, nous avons retrouvé ce type d'explication uniquement dans la classe de 3^e2 (tableau 2). Les tâches proposées à l'autre classe de 3^e et à la classe de terminale S ne conduisent pas à l'apparition de ce type de procédures.

Il nous semble peu pertinent d'orienter les élèves, dès le début du travail, vers l'explication d'une plus ou moins grande ressemblance aux parents⁵⁷ même si nous pensons que la conception matérielle de l'information génétique est un obstacle pour construire le concept de méiose.

⁵⁶ C'est-à-dire sans formaliser le caryotype des gamètes produits à partir du caryotype des cellules de parents.

⁵⁷ La mise en relation entre le caractère continu du phénotype (plus ou moins) et le caractère discret du génotype (tels ou tels allèles) est un problème qui ne peut, sans doute, pas être pris en charge par des élèves de 3^e qui n'ont pas encore construit les relations entre le génotype et l'environnement dans l'explication du phénotype.

On pourrait simplement demander aux élèves comment les parents ont pu transmettre certains de leurs caractères aux enfants. Il s'agit d'introduire une contrainte de situation qui oblige les élèves à produire une explication où l'enfant a des caractères issus de ses deux parents, contrainte de situation qui, mobilisée dans le débat scientifique par les élèves ou l'enseignant, peut permettre de contraindre le champ des possibles et également servir d'appui aux argumentations des élèves.

Enfin, nous nous sommes demandés si la représentation des chromosomes avec deux chromatides identiques est nécessaire pour les élèves de troisième, alors qu'elle est indispensable pour la classe de terminale, dont le programme traite de la division équationnelle de méiose. Les deux choix sont possibles et chacun aura des conséquences sur le champ des possibles que les élèves pourront explorer, fermant plus ou moins la situation et donnant plus ou moins d'éléments aux élèves pour construire leur argumentation. Dans un autre travail (Lhoste *et al.*, 2007a), nous avons montré comment les élèves peuvent convoquer le fait que « *les deux chromatides d'un même chromosome sont identiques* » dans un raisonnement pour faire avancer la problématisation.

• **4.1.4. Conclusion : un nouveau dispositif d'enseignement**

Ces différents éléments d'analyse nous conduisent à proposer un dispositif d'enseignement qui doit permettre aux élèves de se confronter au problème de la transmission de l'information génétique des parents aux enfants tout en délimitant suffisamment la situation pour pouvoir engager rapidement une activité de problématisation autour du questionnement ciblé par l'enseignant⁵⁸. Ce dispositif est présenté dans la figure 6.

Figure 6. Un dispositif d'enseignement-apprentissage sur la transmission de l'information génétique des parents aux enfants

Tâche :

Expliquer comment nos parents ont-ils pu nous transmettre certains de leurs caractères.

Contraintes de situation :

- chaque parent possède 46 chromosomes, ils font un enfant qui possède 46 chromosomes
 - 2 paires de chromosomes autres que sexuels, portant chacun un gène avec 2 allèles, volontairement pour le père : 2 chromosomes 9 portant les allèles du groupe sanguin (O, O) et 2 chromosomes 1, portant les allèles du rhésus (+, -) ; et pour la mère : 2 chromosomes 9 portant les allèles du groupe sanguin (A, B) et 2 chromosomes 1, portant les allèles du rhésus (+, -).

Maquette utilisée :

La maquette utilisée pour représenter les chromosomes doit mettre en avant la dimension informationnelle plutôt que le support matériel. Ainsi, on pourrait envisager d'utiliser une maquette qui ne ressemble pas à des chromosomes.

Déroulement de l'activité :

- Dans un premier temps, on demande aux élèves de modéliser la fabrication des gamètes à

⁵⁸ Cette problématique d'ingénierie didactique est au cœur des préoccupations d'une *Groupe de formation-action* (GFA) : comment concevoir des situations suffisamment ouvertes pour que les élèves aient un espace suffisant pour construire les problèmes ciblés par l'enseignant, et suffisamment fermées pour que les élèves aient des points d'appui pour pouvoir se confronter, argumenter ?

l'aide des informations dont ils disposent. Ils doivent ensuite représenter les gamètes obtenus et expliquer comment ils ont fait, et pourquoi.

- Dans un deuxième temps, à partir des gamètes produits à la première étape et par groupe de deux élèves, ils doivent modéliser la façon dont ils vont produire le génotype des enfants. Ils doivent représenter l'enfant obtenu et expliquer comment ils ont fait, et pourquoi

- Dans un troisième temps, une discussion collective est menée à partir de la confrontation des résultats et procédures des élèves. Il s'agit alors pour les élèves de construire le problème de la transmission de l'information génétique des parents aux enfants via la reproduction sexuée et ses deux moments-clés : la méiose et la fécondation. Les questions, hypothèses et arguments des élèves sont consignés par l'enseignant.

- Dans un dernier temps, les hypothèses et arguments des élèves doivent être confrontés à la documentation scientifique qui permet de les valider ou de les invalider.

De nouveaux travaux, qui mettraient sous observation l'activité des élèves dans un tel dispositif, devront nous aider à comprendre si les élèves mobilisent les différentes contraintes de situations qui sont mises à disposition par l'enseignant dans ce dispositif. Ce qui est certain, c'est que les interventions de l'enseignant seront déterminantes pour permettre aux élèves de s'engager dans une activité de problématisation. C'est à elles que nous allons maintenant nous consacrer.

■ 4.2. Les conditions portant sur le pilotage des débats scientifiques par l'enseignant

Plusieurs travaux menés au CREN (2003) et par d'autres (Schneeberger, 2007 ; Schneeberger et al., 2005, 2007) ont montré le rôle déterminant de l'enseignant dans le pilotage des moments de débat scientifique si l'on veut que les élèves soient véritablement engagés dans une activité de problématisation. Il ne s'agit pas pour nous ici de récapituler toutes les conditions issues de ces différents travaux, mais de pointer à la suite de Schneeberger que « l'analyse préalable du débat nous semble être un outil puissant pour mener à bien un débat argumenté qui permette de bien délimiter avec les élèves le champ d'investigation » (2007, p. 8).

Les deux débats analysés dans cette contribution nous permettent une reprise de l'espace de contraintes de référence présenté à la figure 1, pour l'explicitier et en faire une carte de navigation pour le pilotage d'un débat scientifique sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre. Cette carte de navigation est présentée sur la figure 7. Elle indique, d'une part, les éléments à disposition des élèves, compte tenu du dispositif présenté à la figure 6 et qui pourraient être engagés dans un raisonnement permettant la construction de raisons et, d'autre part, les nécessités qui sont en jeu dans un débat scientifique sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une génération à la suivante et qui sont également à construire. Les relations présentées sur cette carte, entre ces différents éléments, dans un cadre épistémique mixte (informationnel/matériel), correspondent à des mises en relation possibles, qui peuvent servir de point d'appui à l'enseignant pour orienter son questionnement.

Cette carte ne présuppose en rien du problème qui sera effectivement construit par les élèves en situation, ni de l'ordre dans lequel l'enseignant devra questionner les élèves. Elle pointe seulement les éléments qui devront être au centre du débat et questionnés par l'enseignant.

Des études complémentaires pourront également être conduites pour donner des informations sur la pertinence de cette carte de navigation.

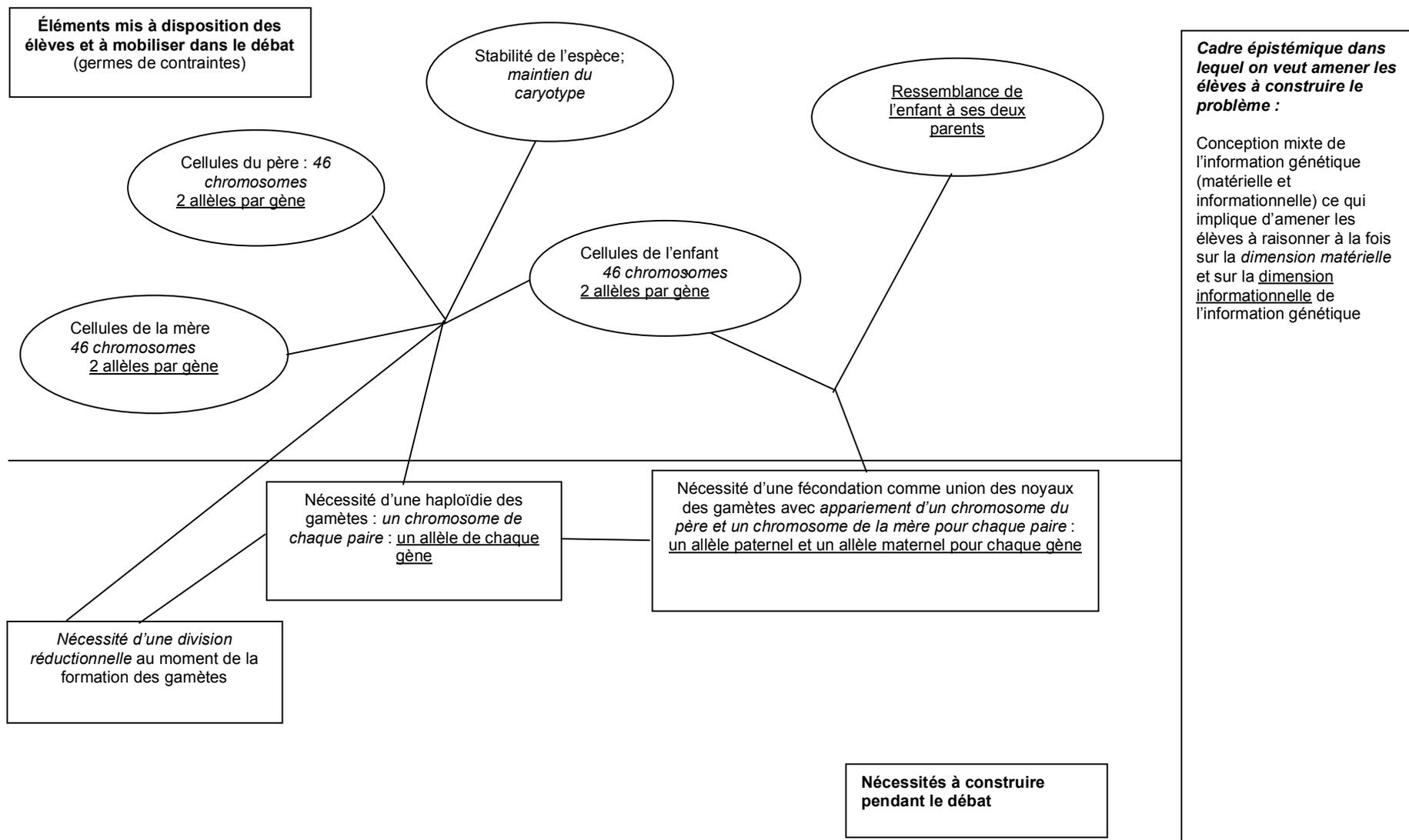
5. Conclusion

Cette contribution est singulière puisqu'elle vient conclure provisoirement un travail conduit dans le cadre d'une recherche-action. Ce qui explique qu'elle essaye d'articuler deux versants qui renvoient à deux paradigmes différents des recherches en didactique pour reprendre les analyses d'Astolfi (1993).

Le premier versant de ce travail relève d'une recherche de signification (*ibid.*, p. 10-11) à partir de l'analyse de situations mises en œuvre dans trois classes. La mobilisation de cadres d'analyse issus d'autres travaux de recherche en didactique nous a permis de produire certaines interprétations concernant ce qui se joue lors de la construction du concept de transmission de l'information génétique d'une génération à la suivante par des élèves du secondaire. Ainsi, nous avons pu proposer une grille d'interprétation des procédures mobilisées par les élèves pour expliquer comment l'information génétique est transmise des enfants aux parents. De plus, les analyses menées sur ce thème viennent en recouper d'autres conduites sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre (Lhoste *et al.*, 2007 ; Le Jossic, 2008 ; Lhoste & Roland, à paraître). Cela nous permet de proposer que la conception matérielle de l'information génétique, constitue un obstacle à la construction de modèles fonctionnels pour rendre compte de la méiose et de la fécondation au niveau chromosomique.

Le second versant correspond davantage à une recherche de faisabilité (Astolfi, 1993, p. 8-10) avec une dimension praxéologique importante qui nous situe du côté de l'agir, de l'intervention. Cela correspond aux « *recherches de développement* » de Van der Machen (1996). Ainsi, nous nous sommes appuyés sur les interprétations provenant du premier versant de notre recherche, pour proposer des outils didactiques destinés à être mis en œuvre dans les classes comme un dispositif d'enseignement qui doit permettre de construire le problème ciblé et une carte de navigation pour piloter un débat sur le thème de la transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre. Même si ces outils sont de nature à aider l'enseignant dans son activité, il ne pourra jamais en déduire directement son action qui renvoie à des gestes professionnels spécifiques qui sont étudiés notamment par Schneeberger *et al.* (2005, 2007) : c'est « *l'irréductible légèreté du maître* » décrite par Astolfi (1993, p. 17).

Figure 7. Carte de navigation pour piloter un débat scientifique sur la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre



Bibliographie

- Astolfi J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie*, n° 103, p. 5-18. Disponible sur Internet : <http://www.inrp.fr/edition-electronique/archives/revue-francaise-de-pedagogie/web/> (consulté le 20 février 2008).
- CREN, université de Nantes (2003). *Analyses plurielles des débats scientifiques en classe*. Document interne.
- Fabre M. & Musquer A. (2007). Comment aider l'élève à problématiser ? Les inducteurs de problématisation. *Séminaire de recherche sur la problématisation*. Document de travail interne, CREN, université de Nantes, novembre 2007.
- France : ministère de l'Éducation nationale (1998). Programmes des classes de troisième des collèges. *BOÉN, HS n°10*, du 15 octobre 1998.
- France : ministère de l'Éducation nationale (2001). Programme des lycées. *BOÉN, HS n°5*, du 30 août 2001.
- Le Jossic A. (2008). La transmission de l'information génétique en classe de première S : apprentissage et problématisation. In Y. Lhoste (dir.). *Problématisation et apprentissage en SVT*.
- Lhoste Y. & Roland A. (à paraître). Modélisation de la transmission de l'information génétique en classe de 3e : pour quels apprentissages ? In M. Coquidé. *La génétique*. Paris : Vuibert : Adapt-Snes.
- Lhoste Y., Le Jossic A., Maunoury A. & Roland A. (2007a). Apprentissage du concept de mitose par des élèves de 3e et de 1reS : impact d'un dispositif de formation continue d'enseignants sur les apprentissages des élèves. *Colloque international des IUFM du Pôle Nord-Est : Les effets des pratiques enseignantes sur les apprentissages des élèves*, Besançon, 14 et 15 mars 2007 (actes sur cédérom).
- Lhoste Y., Peterfalvi B. & Orange C. (2007b). Problématisation et construction de savoirs en SVT : quelques questions théoriques et méthodologiques. *Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Strasbourg, 28-31 août 2007 (actes sur cédérom). Disponible sur Internet : http://www.congresintaref.org/acte_cd.php?act=show&cont_id=300 (consulté le 17 décembre 2007).
- Orange C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer les représentations ou construire des raisons? *Actes des premières journées scientifiques de l'ARDIST*, Cachan, novembre 99, p. 88-93. Disponible sur Internet : <http://www.stef.ens-cachan.fr/docs/listdocs.htm> (consulté le 2 avril 2007).
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissage scientifique et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 1.
- Orange C. (2005). Problématisation conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 3, p. 69-93.
- Orange C. (2006). Problématisation, savoirs et apprentissages en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (dir.). *Situations de formation et problématisation*. Bruxelles : De Boeck, p. 75-90.
- Rumelhard G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.
- Schneeberger P. (2007). Rôle des interactions didactiques dans le travail de construction du problème. *Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Strasbourg, 28-31 août 2007 (actes sur cédérom). Disponible sur Internet :

http://www.congresintaref.org/acte_cd.php?act=show&cont_id=312 (consulté le 20 février 2008).

Schneeberger P., Darley B, Liger-Martin J. & Robisson P. (2005). Identifier des compétences professionnelles à partir de l'analyse de quelques débats scientifiques à l'école primaire. *Colloque Former des enseignants-professionnels, savoirs et compétences*, Nantes, février 2005.

Schneeberger P., Robisson P., Liger-Martin & J. Darley B. (2007). Conduire un débat pour faire construire des connaissances en sciences. *Aster*, n° 45, p. 39-64.

Van der Machen J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Bruxelles : De Boeck.

Annexe 1. Présentation des trois procédures identifiées parmi les productions des élèves de terminale S

Schéma 1. Procédure 9

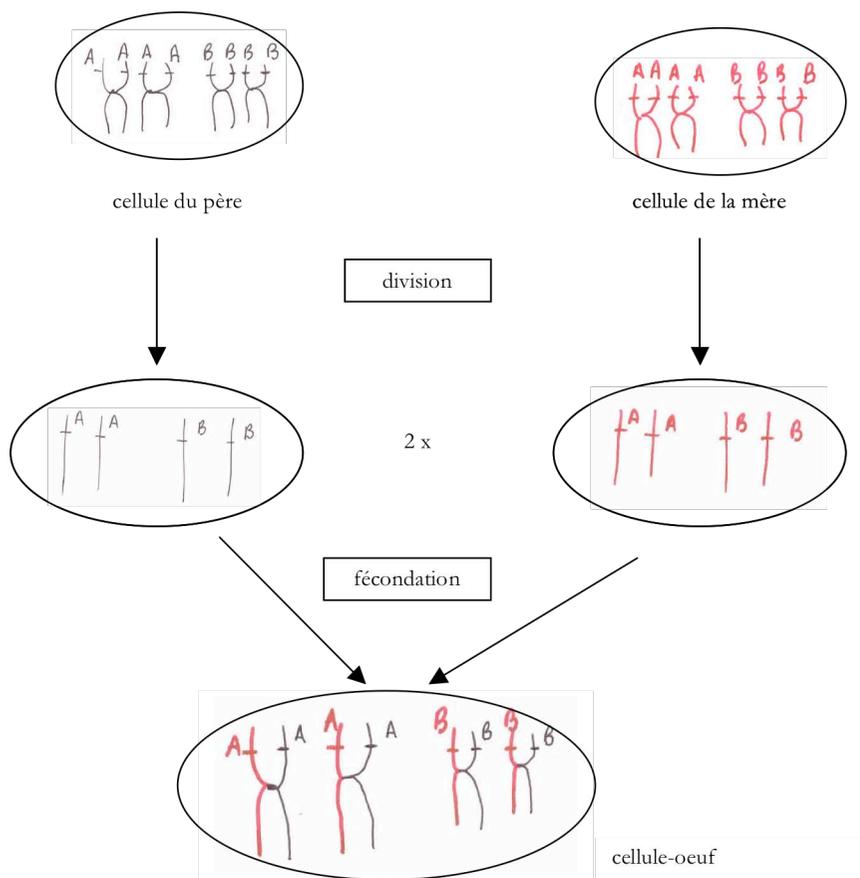
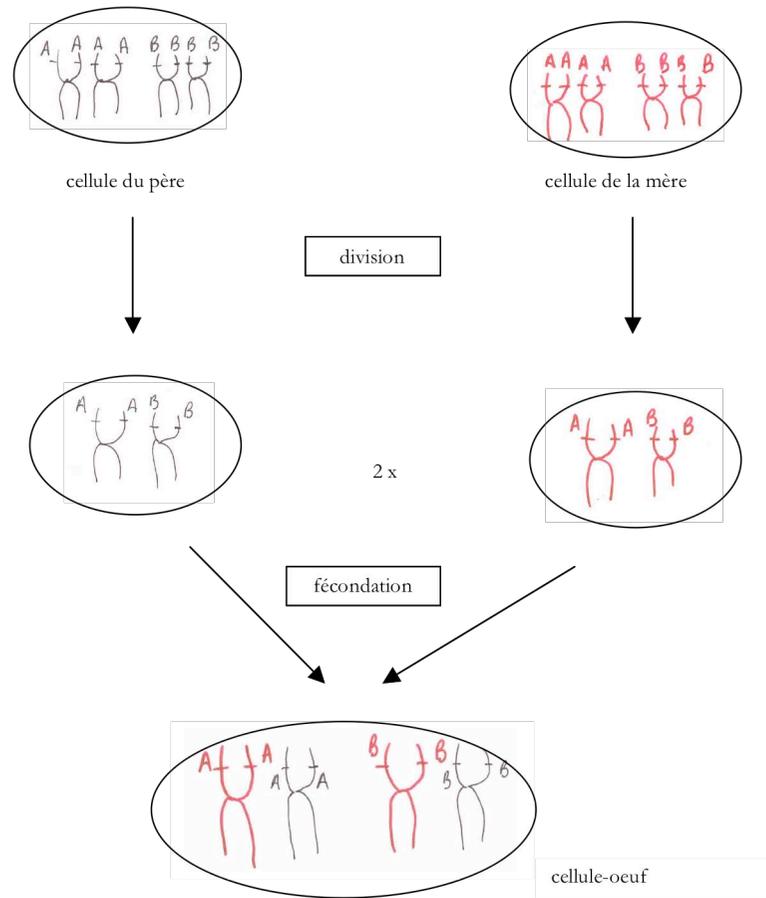


Schéma 2. Procédure 10



Annexe 2. Transcription du débat en classe de 3^e 2

Prof :	Alors, qu'est ce qui nous reste à voir ? rappelez vous, on en est au dernier chapitre sur la partie génétique. il nous reste un truc qu'on n'a pas expliqué. C'est la question qu'on s'était posés. On avait dit nous on est des individus, des milliards de cellules on est définis par nos caractères et nos caractères ils nous viennent d'où ?
Nathan :	De nos parents.
Prof :	Ce qui nous reste à expliquer :comment c'est possible que nos parents nous aient donné certains de leurs caractères ; c'est à dire comment c'est possible qu'il y en ait parmi vous qui ressemblent beaucoup à leur père, il y en a d'autres qui ressemblent beaucoup à leur mère, il y en a parmi vous qui ressemblent un petit peu aux deux, qui ressemblent ni à l'un ni à l'autre. et tout ça c'est normal. A nouveau ça pose un problème parce que votre père combien a-t-il de chromosomes dans toutes ses cellules ?
Romain :	23 paires.
Prof :	Donc 46 chromosomes. votre mère ?
Kévin :	46
Prof :	Pareil elle appartient à la même espèce, sinon ils n'auraient pas pu vous fabriquer, elle a aussi 46 chromosomes. Gildas et toi combien tu en as ?
Gildas :	De quoi ?
Prof :	Des chromosomes
Gildas :	46
Prof :	Vous êtes d'accord qu'ils se sont mis à deux pour vous fabriquer ; comment c'est possible que 46 chromosomes de votre père et 46 chromosomes de votre mère vous aient donné aussi 46 pour vous, comment c'est possible que 46 plus 46 donne 46 c'est pas normal?
Romain :	Vous êtes pas bonne en maths.
Prof :	Pour résoudre cette question fort intéressante, à nouveau, on modélise ; alors je vous redonne les chromosomes à nouveau.
Romain :	On va recommencer
Prof :	Est ce qu'on va recommencer ? là le problème n'est plus le même, c'est pas pareil, l'autre jour on a cherché comment une cellule donne des milliards de cellules qui ont le même nombre de chromosomes ; là, le problème n'est plus le même, on cherche comment les 46 chromosomes de votre père et les 46 chromosomes de votre mère qu'ils ont dans chacune de leurs cellules ont pu donner un enfant à 46 chromosomes, donc on ne modélise pas tout à fait pareil. d'ailleurs Comme vous allez le voir, le modèle n'est pas tout à fait le même. Qu'est ce qui change ?
Sylvie :	C'est rose et bleu
Prof :	Il y a plusieurs couleurs ; d'accord c'est très conventionnel, bleu pour les garçons et rose pour les filles. je donne aux garçons, je leur donne ça : combien de paires de chromosomes ?
Romain :	Deux paires
Prof :	Il y en a une bizarre, c'est laquelle ?
Nathan :	C'est celle du sexe
Prof :	C'est forcément la paire de chromosomes sexuels car c'est la seule paire chez les garçons ou les chromosomes n'ont pas la même taille. ça c'est la paire de chromosome sexuels, il va falloir que vous écriviez dessus X et Y. c'est lequel le Y ?
Xavier :	Le petit
Prof :	Le petit, X le grand ; L'autre paire on va considérer que c'est la paire de chromosomes 9 et je vais vous demander de localiser votre gène de groupe sanguin. j'impose que les garçons soient du groupe A avec deux allèles A et les filles de groupe B deux allèles B. Dès que vous récupérez vos papiers je veux que vous dessiniez dessus le nom de chromosomes, la position du gène de groupe sanguin, et les allèles que vous possédez. deux allèles A pour les garçons et deux allèles B pour les filles, donc les filles je vous donne la paire de X et la paire de 9.
	Distribution des modèles de chromosomes en papier.
Prof :	Oui c'est Y le petit ; comment vous faites pour localiser les gènes du groupe sanguin sur le chromosome 9.
Priscilla :	Un carré en bas
Prof :	Oui vous faites.....(incident)
Prof :	Les garçons vous avez deux allèles A et les filles deux allèles B. les garçons vous avez XY et les filles deux fois X. Quand vous écrivez X , quand vous écrivez 9 vous écrivez bien un nom de chromosome. Quand vous écrivez A, vous écrivez l'allèle d'un gène, un petit bout de chromosome qui code pour un caractère. La consigne va être la suivante : je vais vous demander de faire des bébés, alors c'est un modèle chromosomique. alors pour pouvoir faire vos bébés , (répartition des élèves par couples)

Prof :	Projection du document. Le papa de votre couple il est là, il faudra dessiner ses 4 chromosomes, c'est un modèle, dans la réalité il y en a 23 paires. Moi je veux voir quels sont les chromosomes de votre bébé ? qu'est ce que vous allez lui donner à votre bébé ? vous m'avez dit de puis le départ que pour faire un enfant, il faut que les parents donnent à leur enfant quelque chose. (bis)
Priscilla :	Est ce qu'on peut couper ?
Kévin :	Est ce qu'on peut couper ?
Prof :	Si vous pensez que c'est nécessaire, vous pouvez couper ! je vous rappelle que votre modèle doit expliquer pourquoi il y en a qui ressemblent plus à votre père, à votre mère ou aux deux.
Prof :	Face au groupe Nathan et Fanny : c'est quoi comme sexe ?
Nathan :	Une fille
Prof :	Quel est son groupe sanguin ?
Nathan :	AB
Prof :	Elle ressemble à qui ? elle ressemble plus à qui ? à son père ou à sa mère ? pour son groupe sanguin elle ressemble à personne. pour le sexe elle ressemble plus à sa mère . essayez de me dire pourquoi vous avez choisi ça ? parce que vous auriez pu faire autre chose.
Prof :	(face au groupe Romain Sylvie) Votre bébé a combien de chromosomes ?
	4
Prof :	Est ce que c'est normal ?
Romain :	Oui
Prof :	Pourquoi vous avez choisi ça ?
Romain :	Il est comme moi
Prof :	Ben non tu es du groupe B
Romain :	(échange de chromosome rose contre bleu)
Prof :	Vous essayez de m'expliquer pourquoi
Prof :	Ne vous embarrassez pas avec les chromosomes simples ou doubles.
	fin du travail de groupe '17 mn 20
Prof :	Vous n'avez pas tous fait la même chose ; vous êtes d'accord que ce qui est là c'est votre modèle ; les filles ont deux allèles B et les garçons les deux allèles A. quand vous avez fabriqué votre bébé vous avez fait le choix de donner 4 chromosomes est ce que vous pouvez me dire pourquoi. je fais un enfant je veux qu'il me ressemble à moi et à mon mari donc je lui ai tout donné. Est ce que ça va ?
classe :	Rires
Nathan :	Il n'est pas normal
Prof :	Pourquoi ?
Nathan :	Il n'y a pas plusieurs chromosomes
Prof :	Il faut qu'il y ait le même nombre de chromosomes que qui ?
Élève :	Que les parents
Prof :	Je suis d'accord avec vous ; il faut donc dans le modèle que notre bébé (...) ait le même nombre de chromosomes que ses parents. Dans le modèle il faut donc qu'il en ait 4 et dans la réalité
	46
Prof :	Il faut faire un choix. Les parents ne donnent pas la totalité de leur information. Vous avez fait des choix ; il y en a plusieurs qui ont fait le choix de donner moitié moitié, vous avez donné un chromosome sexuel qui venait du père et un qui venait de la mère, un chromosome, un ch 9 qui vient du père et un de la mère. Au niveau du groupe sanguin, vous avez tous fait du groupe AB ; d'autres groupes ont voulu que le bébé leur ressemble, par exemple Romain a donné son chromosome Y et a accepté un chromosome X de Sylvie mais son fils il aura le même groupe sanguin que moi donc il lui a donné ses deux chromosomes 9. le fils de Romain et Sylvie a trois chromosomes qui viennent du père et un qui vient de la mère. est ce qu'il a 4 chromosomes ?
Nathan :	Oui
Prof :	Est-ce que c'est conforme à ce qu'on avait imposé au départ ?
Élève :	Oui . il y a un autre groupe Clotilde et Kévin, elle a donné
Clotilde :	Je voulais une fille mais il n'a pas cédé !
Prof :	Tu voulais . Est ce que tout est possible ? est ce qu'il y a des groupes qui ont tord et d'autres qui ont raison ? pour répondre à cette question je veux que vous trouviez où est-ce qu'il va falloir qu'on aille voir ? A quel moment ça se passe et où ça se passe ? Il faut que vous cherchiez comment vous allez faire le jour où vous voudrez vraiment un enfant ?
Prof :	À quel moment vous donnez des chromosomes à votre bébé
Priscilla :	Au moment de la fécondation
Prof :	Comment vous faites pour lui donner ? Quel moyen de transport vous utilisez ?

Nathan :	Un spermatozoïde
Prof :	Vous êtes d'accord que par rapport aux k que le spermatozoïde sert de moyen de transport. Vous allez mettre vos k les garçons dans les spermatozoïdes et les filles dans les ovules Dans la fécondation vous allez rassembler les chromosomes de l'ovule et les k du spermatozoïde. Je voudrais que vous disiez dans le bébé que vous avez fait, vous pouvez facilement parce qu'il y a des couleurs repérer combien il y a de k dans l'ovule et dans le spermatozoïde ? Dans votre modèle à vous (Fanny et Nathan)combien y a-t-il de chromosomes dans l'ovule ?
Élève :	1
Prof :	Dans le spermatozoïde ?
Élève :	3
Prof :	Dans le votre (Priscilla et Aurélie) ?
Élève :	2 et 2
Prof :	Et Clotilde et Kevin ? : 3 dans l'ovule et 1 dans sp. Qu'est-ce qui faut qu'on fasse pour savoir si tout est possible ou si il y en a qui ont raison et d'autres pas ? Où est-ce qu'il faut regarder ?
Pr :	Dans le caryotype.
Prof :	Mais de quoi dans les parents ?
Pr :	Du chromosome sexuel.
Céline :	Gildas fait un trisomique.
Prof :	Ça m'intéresse car c'est à ce moment-là qu'on va avoir l'explication d'un trisomique. À quel moment est-ce que vous pouvez faire un trisomique ?
Pr :	Quand le père donne 2 K9 et la mère 1 ?
Prof :	Comment est-ce que je peux savoir si il y a trois K dans l'ovule ou 1 k ? Il faut faire un caryotype de l'ovule. Voilà le caryotype d'un ovule, est ce que ça répond à votre question ; tout à l'heure, Priscilla, on a dit que dans l'ovule dans un ovule. Quand vous faites un enfant, vous lui donnez un chromosome de chaque paire, quand vous ressemblez plus à votre père ça n'est pas parce qu'il vous a donné plus de chromosomes. donc il faut que on continue de chercher. moi je voudrais que vous fassiez un bébé qui est conforme à ça est ce qu'il peut avoir ; il faut qu'on continue de chercher comment il peut ressembler plus à sa mère ou plus à son père. vous remplacez un chromosome A par O ; refaites moi des bébés qui ressemblent plus à son père ou à sa mère ; on a une contrainte de plus : vous savez que vous êtes obligés de mettre un chromosome de chaque paire. est ce que vous avez tous réalisé un bébé (diversité des caryotypes).

Annexe 3. Transcription dans la classe de terminale S

1	P :	Que signifie, que représente la stabilité des génomes ? Aidez-vous sur ce qu'est le génome qu'on a déjà défini.
2	Coryse :	C'est l'ensemble des gènes de l'espèce.
3	P :	D'accord, alors quand on dit que le génome est stable, cela veut dire quoi ?
4	Misaël :	Tous les individus d'une même espèce ont les mêmes gènes.
5	Professeur :	Pourquoi, comment le génome est-il stable ? Vous pouvez déjà apporter des éléments de réponse contenue de ce que vous avez sur le support des gènes.
6	Misaël :	les chromosomes portent les gènes.
7	Professeur :	Si le génome est stable, cela veut dire quoi ?
8	Misaël :	Les chromosomes sont les mêmes. On a tous les mêmes chromosomes.
9	Professeur :	Comment s'appelle l'ensemble des chromosomes ?
10	Marie :	Le caryotype
11	Professeur :	on aurait tout le même caryotype ? Savez-vous le nombre de chromosomes de l'homme ?
12	Julie :	23 paires de chromosomes.
13	Professeur :	Combien de chromosomes ?
14	Julius :	46.
15	Professeur :	À partir de là, vous avez essayé de construire des modèles possibles des mécanismes qui feraient que le caryotype serait conservé pour tous les individus de l'espèce. Faire une production sur feuille, comme une affiche.

Enregistrement d'un binôme.

A1	Jonathan :	Tu n'en as qu'un sur les deux et après cela fait une cellule comme cela
A2	Thomas :	Les cellules sexuelles cela voudrait dire que cela se diviserait d'abord et après cela ...
A3	Jonathan :	Cela se diviserait mais non, là c'est le spermatozoïde (t'as la moitié d'un spermatozoïde) dans le spermatozoïde.
A4	Thomas :	Dans les cellules sexuelles t'as qu'un chromosome.
A5	Jonathan :	T'en as 23 tout court.
A6	Thomas :	Oui, alors la, y en qu'un.
A7	Jonathan :	Non 2.
A8	Thomas :	Un petit est un gros.
A9	Jonathan :	Oui.
A10	Thomas :	Là tu as le A et là le B et pareil ici. Et après comment cela fait pour passer de là à là ?
A11	Jonathan :	C'est tout, les cellules elles sont faites comme cela, les cellules sexuelles toutes comme cela, c'est une particularité.
A12	Thomas :	Mais là, t'en as plus 46 mais que 23.
A13	Jonathan :	Ce n'est pas graves ce ne sont pas vraies cellules.
A14	Thomas :	Tu avais des fausses cellules toi ?
A15	Jonathan :	Oui enfin, ce ne sont pas des vraies cellules comme toutes celles qui sont à...
A16	Thomas :	Alors là après, pour former la procréation, la reproduction, « on les rejoint ».

Enregistrement d'un autre binôme.

B1	Coryse :	Et la réplication est semi-conservative, non semi-conservatrice pardon. L'on prend une tranche, enfin une chromatide de la mère, avec une chromatide du père et cela donne des cellules pour l'enfant.
B2	Professeur :	Une réplication, c'est une synthèse.
B3	Coryse :	Pas une réplication mais une division.

Enregistrement d'un autre binôme.

C1	Misaël :	Cela fait ça, comme ça.
C2	Julie :	Et après la paroi vient se mettre là, et après par division cellulaire, cela se reproduit et cela fait deux cellules identiques. Là c'est la mitose.
C3	Elève d'un autre groupe :	Mais là tu n'as pas de cellule, au départ t'en as qu'une seule.
C4	Julie :	Là, les chromosomes, la moitié de ceux d'ici qui se mélangent avec la moitié de ceux d'ici.

C5	Misaël :	Oui, mais parce que dans les cellules sexuelles il n'y en a que la moitié.
----	----------	--

Enregistrement d'un autre binôme.

D1	Vanessa :	Là la moitié, là l'autre moitié.
D2	Marie :	Non mais je ne vois pas pourquoi tu divises.
D3	Vanessa :	Parce que si tu ne supprimes pas les deux, cela fera quatre paires de chromosomes non ?
D4	Marie :	À non non, je n'avais pas vu comme cela.
D5	Professeur :	Parce que là tu en as combien ?
D6	Vanessa :	On n'en a deux paires.
D7	Professeur :	En tout ?
D8	Marie :	Quatre.
D9	Professeur :	En tout ?
D10	Vanessa et Marie :	46.
D11	Professeur :	46 là, 46 là et si vous ne faites rien ?
D12	Marie :	Il y en aura le double.
D13	Professeur :	Donc pas de stabilité
D14	Vanessa :	Mais, on ne connaît pas le principe pour que cela en élimine.
D15	Marie :	Bah, la réplication.
D16	Professeur :	Essayer de le schématiser.

Mise en commun.

16	Professeur :	Premièrement, est-ce que vous pouvez de me dire qu'est-ce qui fait la différence entre les groupes les modèles, comment sont faits les deux groupes ? (Affichage par catégorie à partir des 1erS.)
17	Misaël:	C'est le résultat final, en fait.
18	Professeur :	Oui.
19	Misaël :	Il y a deux paires distinctes de chromosomes rouges et de chromosomes l'alors que dans les autres les chromosomes sont constitués d'un chromosome rouge et d'un chromosome bleu.
20	Professeur :	Plutôt que de dire bleu et rouge, utilisez la signification des couleurs.
21	Thomas :	Y a une partie du chromosome qui vient du père et une partie du chromosome qui vient de la mère.
22	Professeur :	Ca, pour lequel des modèles ?
23	Thomas :	Pour le tableau blanc.
24	Professeur :	Chromosomes mixtes, comment s'appelle une partie ?
25	Thomas :	Une chromatide paternelle et une chromatide de maternelle pour chaque chromosome.
26	Professeur :	Et l'autre modèle ?
27	Thomas :	2 chromosomes qui viennent de la mère et 2 chromosomes qui viennent du père ils restent distincts.
28	Professeur :	Pour ce modèle, explique, explicite ce qui se passe.
29	Thomas :	Pour moi, il y a les cellules sexuelles qui fusionnent lors de la reproduction et cela forme une cellule oeuf et après il y a une mitose et c'est après que cela forme ...que les deux cellules se rejoignent, lors de la mitose, après la première mitose.
30	Professeur :	ça c'est la mitose, après, et tu nous as dit qu'il y a fusion des cellules sexuelles et pour obtenir les cellules sexuelles qu'est-ce que tu as fait ?
31	Thomas :	Bah rien. Je ne sais pas. Elle est là naturellement dans le corps.
32	Professeur :	Oui, ceux qui ont le même modèle, pouvez-vous expliciter ? Comment avez-vous fait pour obtenir les cellules sexuelles ?
33	Misaël :	C'est sûrement des cellules pères ou mères qui se divisent en deux pour former 2 sous cellules si on peut dire.
34	Professeur :	Est-ce que tout le monde a vu la nécessité d'une division dans les deux modèles, soit celui-là ou celui-là ?
35	Sandrine :	On s'est retrouvé avec deux cellules en trop, une cellule mère et une cellule père quand on a fait la suite de la mitose, mitose pour mélanger les chromosomes du père et de la mère.
36	Professeur :	Pourquoi nécessité d'une division ?
37	Sandrine :	On a fait une division pour qu'il y ait une chromatide de la mère et une chromatide de la cellule père au final.
38	Professeur :	Et si pas de division, quel serait le problème ?

39	Claire :	On n'aurait pas le même nombre de chromosomes dans la cellule oeuf que dans la cellule mère ou père.
40	Professeur :	Y en aurait combien ?
41	Claire :	Le double.
42	Professeur :	Nécessité d'une division évidente, sinon à chaque génération on doublerait le nombre de chromosomes. Ensuite dans les deux modèles il y a des différences, il y a des chromosomes entièrement maternels ou entièrement paternels car les divisions sont différentes. On reprend les deux explications.
43	Simon :	On a séparé chaque chromosome en deux, les deux chromatides.
44	Professeur :	D'accord, et après pour avoir l'enfant ?
45	Simon :	On a fusionné les deux chromatides de chaque parent. Chaque chromosome se retrouve avec une chromatide de chaque.
46	Thomas :	Les chromosomes se divisent.
47	Professeur :	Pas n'importe comment ? Lesquels ?
48	Jonathan :	Un chromosome de chaque paire ?
49	Professeur :	On se retrouve avec des gamètes très différents suivant les deux modèles. Essayons d'aller plus loin, suivant les deux modèles, dites-moi combien il y a de chromosomes dans les gamètes ?
50	Professeur :	À écrire chacun.
51	Sébastien :	quatre chromosomes donc que 46 chromosomes.
52	Professeur :	Et les autres modèles ?
53	Misaïl :	Deux chromosomes.
54	Professeur :	combien pour 46 chromosomes, 23 chromosomes. Comment savoir si les gamètes ont 46 ou 23 chromosomes ? il faut faire quoi ? Comment on va procéder ? On va faire quoi concrètement ?
55	Vanessa :	On va étudier le caryotype des gamètes.
56	Professeur :	C'est la première chose que l'on va faire. D'autre part, vous avez dit qu'il doit y avoir une division pour faire les gamètes. Pour voir comment se passe cette division, qu'est-ce qu'il faut faire ?
57	Julie :	Une observation microscopique des cellules en division, des gamètes.
58	Professeur :	Des cellules qui se divisent et forment les gamètes pour trancher entre les deux modèles.

Deuxième partie

Le concept de fécondation à l'école et au collège

Cette partie est composée de plusieurs articles dont le troisième a été publié :

1. Problématisation et argumentation en SVT : un débat scientifique sur la fécondation en 4^e

Sabrina Desrues & Yann Lhoste

Il s'agit d'un article écrit à partir du travail réalisé par Sabrina Desrues dans le cadre d'un mémoire professionnel réalisé lors de son année de formation PLC2. Ses travaux de mémoire ont été présentés lors d'une journée de formation en juin 2006. Les données ont également servi pour l'article 3.

2. Apprentissage du concept de fécondation en classe de quatrième : problèmes construits par les élèves

Aurélie Cadet, Caroline Tanqueray & Yann Lhoste

Cet article présente une analyse de travaux conduits dans le cadre du GFA. Ils ont été présentés lors des journées d'étude « Les apprentissages en SVT de l'école au lycée : Apports des recherches en didactique des SVT » organisée à l'IUFM de Basse-Normandie, 5 et 6 juin 2007.

3. La procréation : quelles problématisations du CP au collège ?

Françoise Beorchia & Yann Lhoste

Article paru dans *Recherche en Éducation*, n° 3, p. 29-50. Disponible sur Internet : <http://www.crennantes.net/spip.php?article61>.

Cet article présente une analyse comparative des problèmes construits par les élèves à propos de la fécondation. Ce sont les travaux de Sabrina Desrues qui constituent les données recueillies en classe de 4^e.

***Problématisation et argumentation en SVT :
un débat scientifique sur la fécondation en 4^e***

Sabrina Desrues, Professeur de SVT, collège la Fosse aux Dames (Les Clayes sous Bois) ; sabrinadesrues@gmail.com

Yann Lhoste, IUFM de Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Le travail réalisé vise à comprendre comment les interactions langagières entre élèves et entre élèves et professeur participent à la construction de problèmes ou problématisation (pour reprendre les termes utilisés dans l'équipe de Christian Orange du CREN, université de Nantes : Orange, 2002, 2005) et la construction des savoirs scientifiques visés par l'enseignant en référence aux instructions officielles.

Pour tenter de comprendre ces relations entre interactions langagières et problématisation dans le cadre d'une recherche de signification, un débat scientifique (Orange, 1999) en classe de quatrième sur le thème de la fécondation a été mis en place.

Dans un premier temps, l'analyse épistémique du débat retranscrit permettra de mettre en évidence les interventions des élèves participant à la problématisation. Puis, nous analyserons les argumentations mises en œuvre par les élèves pour comprendre en quoi les interactions langagières participent à l'activité de problématisation en mobilisant dans la suite des travaux de Lhoste (2005, 2006).

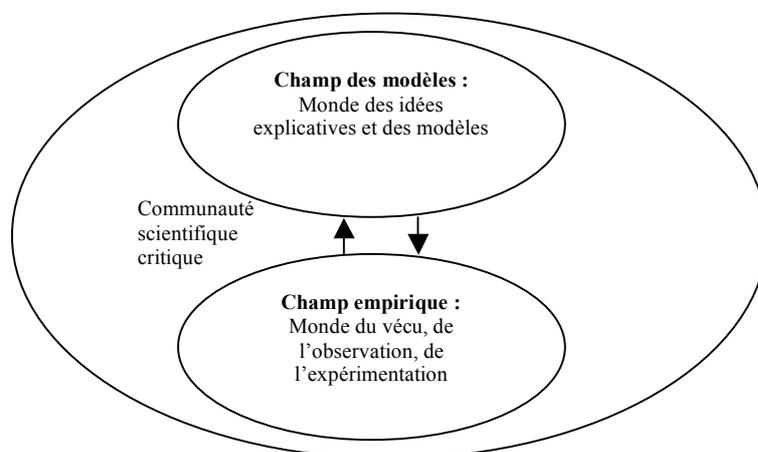
1. Cadre théorique

■ 1.1. Débat scientifique et problématisation

Pour Orange et Fabre (1997), il n'est pas pensable qu'un savoir scolaire ne fasse pas l'objet de discussions et de confrontations aux connaissances des élèves au sein de la classe, s'il prétend au statut scientifique : « *cela implique que, malgré les limites justement affirmées des conflits cognitifs bref, le débat scientifique dans la classe est fondamental. L'accession de chaque élève de la classe à un savoir scientifique ne peut se faire qu'au travers de la construction d'une problématique commune qui fonde en "raison partagée" un paradigme de classe* ».

Au cours de ces moments de débat scientifique en classe, peut avoir lieu une exploration du champ des possibles, c'est-à-dire la recherche d'explications possibles à des phénomènes biologiques ou géologiques. Cette exploration du champ des possibles, qui permet le développement d'explications raisonnées de phénomènes, constitue pour Orange (2003) le cœur de l'activité scientifique, moment souvent délaissé au profit de l'observation et de l'expérimentation dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT). Cette position s'appuie sur une approche rationaliste de l'activité scientifique qui propose que l'activité scientifique serait, avant tout, la construction de modèles explicatifs progressivement mis en cohérence avec les éléments empiriques (Toulmin, 1973 ; Jacob, 1981 ; Popper, 1991). Une telle modélisation de l'activité scientifique est présentée dans le document 1.

Document 1. Un modélisation de l'activité scientifique (Orange, 2003)



Ainsi nous pouvons distinguer deux champs d'exploration du domaine des sciences :

- le champ empirique (ou registre empirique) qui comporte ce qui fait partie de l'observable, du mesurable, de l'expérimentation. Il constitue à la fois ce qu'il y a à expliquer et ce qui contrôle la validité des modèles explicatifs construits ;
- le champ des modèles (ou registre des modèles) qui regroupe ce qui se rapporte à l'explication de phénomènes, la proposition de modèles.

La mise en tension de ces deux champs permet le passage « *d'une opinion à un savoir problématisé* » (Orange, 2003), c'est-à-dire un savoir organisé en un réseau de contraintes et de nécessités. Les moments de débat scientifique en classe peuvent permettre la mise en tension de ces deux champs par les élèves. Chaque élève donne son opinion et se rend compte, par la même occasion, de la diversité des idées au sein de la classe. Le débat permet donc l'exploration du champ des possibles, et la confrontation des modèles proposés aux contraintes empiriques, ce qui assure la construction de nécessités.

Bachelard (1949) a mis en avant le caractère d'apodicticité des savoirs scientifiques, qui s'opposent aux savoirs assertoriques. Si nous le suivons, cela conduit à avoir une vision bien spécifique de ce que signifie savoir en sciences, que l'on peut formuler comme Reboul : « *savoir en sciences n'est pas savoir que - savoir assertorique - mais savoir que cela ne peut pas être autrement* » (1992). La fonction du débat ne sera donc pas de trouver un accord sur une solution, mais de mettre en évidence ce qui est possible ou impossible, nécessaire ou contingent. C'est ce que nous entendons par exploration du champ des possibles.

Pour analyser les débats scientifiques, nous pourrions référer les propos des élèves au champ empirique, s'ils relèvent de l'observable ou du mesurable, ou au champ des modèles. Nous pourrions ainsi mettre en évidence les contraintes empiriques et les nécessités sur les modèles construites par les élèves par la mise en tension de ces deux champs.

■ 1.2. Argumentation et problématisation au cours du débat scientifique

Lors du débat, ce sont par le biais d'interactions langagières que les élèves explorent le champ des possibles. De ce fait, si l'on se place toujours dans le cadre épistémologique de la problématisation, « *les explicitations qui se font au cours du débat, les controverses qui s'y développent et les argumentations des élèves ne sont pas simplement des moyens sur lesquels on s'appuie pour changer les conceptions individuelles: elles constituent les matières premières des raisons scientifiques que l'on veut voir se construire* » (Orange, 1999).

Ainsi, les activités langagières des élèves sont au centre de l'exploration de ce champ et elles font intervenir ce que Popper (1991) appelle les fonctions supérieures du langage, c'est-à-dire principalement la description et l'argumentation. Si l'on suit Orange (2003), celui-ci distingue deux fonctions essentielles aux activités langagières dans la problématisation.

Une fonction de construction de schématisation définie par Grize (1996) comme « *une représentation discursive orientée vers un destinataire de ce que son auteur conçoit ou imagine d'une certaine réalité* ». Cette fonction est accompagnée d'une argumentation sur les possibles, qui permet de convaincre l'auditoire de la faisabilité du pré-modèle proposé. Dans ce cas, l'argumentation n'apporte pas de preuves, la schématisation produite permet une prise au sérieux de la solution proposée pour qu'elle devienne discutable par les autres (Grize, 1997).

Une fonction d'argumentation sur l'impossibilité ou la nécessité d'un énoncé explicatif. Ce type d'argumentation, qu'Orange désigne comme argumentation de preuve (2003) permet

la construction des raisons. La preuve correspond en fait à ce qui est impossible ou nécessaire.

L'analyse de ces deux fonctions du langage, dans l'activité de problématisation, permet de mettre en évidence l'importance de ce que disent les élèves engagés dans une activité de problématisation. Nous avons indiqué que la construction de schématisation est accompagnée d'une négociation. En effet, une schématisation proposée correspond à la mise en mots de la représentation d'un élève ou d'un groupe d'élèves et ces représentations peuvent être variées au sein de la classe, ce qui peut amener d'autres élèves à émettre des critiques sur les pré-modèles exposés. Ces critiques ou questions peuvent conduire l'élève (ou le groupe d'élèves) à approfondir leur explication, pour que la schématisation construite soit recevable par l'ensemble de la classe (être recevable ne signifie pas, pour autant, que les autres élèves sont d'accord avec cette explication). Pour analyser la construction de quelques schématisations dans le cas d'un travail sur le concept de fécondation, nous étudierons les débats réalisés autour de chaque affiche afin de mettre en évidence l'argumentation sur les possibles développée par les élèves, et les critiques proposées par la classe suivant une méthodologie inspirée par celle décrite par Lhoste (2005). Nous verrons alors, comment les différentes formes d'argumentation lors de la présentation des pré-modèles des groupes d'élèves et des critiques exprimées par les autres élèves au cours du débat, participent à la mise en oeuvre de la problématisation.

■ 1.3. Conclusion

Le débat scientifique, notamment par les argumentations mises en oeuvre par les élèves, permettrait donc la problématisation par mise en tension des champs empirique et des modèles, processus qui nous semble au cœur d'un apprentissage scientifique véritablement fonctionnel.

Après avoir présenté le recueil de données qui nous a permis de constituer notre corpus, nous analyserons certaines interactions langagières d'un double point de vue : d'un point de vue épistémique afin de pointer les raisons construites par les élèves et d'un point de vue langagier pour tenter de comprendre la dynamique de cette problématisation.

2. Présentation du recueil de données

Le débat se déroule en classe de quatrième⁵⁹, dans le chapitre : « Reproduction sexuée et pérennité des espèces dans les milieux » et sur le thème de la fécondation⁶⁰. Le savoir scientifique visé, tel qu'il figure dans le bulletin officiel est le suivant : « Toute reproduction sexuée comporte l'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle : la fécondation. Son résultat est une cellule-œuf à l'origine d'un nouvel individu » (France : MEN, 1997).

⁵⁹ Classe de 4^e 1 du collège Jacques Brel (La Ferté Macé) dont l'enseignement de SVT était assuré par Sabrina Desrues, PLC2 SVT à l'IUFM de Basse-Normandie.

⁶⁰ Ce chapitre figure dans la partie C du programme du cycle central « *Des êtres vivants dans leur milieu* » (France : MEN, 1997).

Dans une séance précédente, les élèves ont étudié le cycle de vie du ténébrion. Pour compléter ce cycle, il leur faut savoir comment les deux adultes vont former un nouvel individu. La question qui leur est posée est la suivante : « Que se passe-t-il après l'accouplement pour qu'il y ait formation d'un nouvel individu ? »

■ 2.1. L'évaluation diagnostique

Les élèves doivent réaliser individuellement une production écrite sur cette question. Il s'agit de l'évaluation-diagnostique grâce à laquelle l'enseignant peut se rendre compte des représentations initiales des élèves sur le thème de la fécondation. Ainsi, nous avons obtenu seize productions. Ces productions sont analysées à l'aide de la grille constituée à partir d'une analyse épistémologique de la reproduction sexuée présentée en annexe 1. Ceci permet de constituer des groupes d'élèves homogènes.

■ 2.2. La production des affiches par groupe

Quatre groupes d'élèves ont ainsi pu être constitués. Comme, dans chaque groupe, les élèves ont des conceptions relativement proches, cela permet de s'assurer que le débat aura lieu en classe entière, sous le pilotage de l'enseignant, et le moins possible dans les petits groupes. Chaque groupe a réalisé une affiche sur laquelle figurait un schéma accompagné d'un texte permettant d'expliquer à l'ensemble de la classe leur modèle (annexes 2 à 5).

Dans les groupes 2 et 3 (annexe 3 et 4), les élèves ont développé une explication de type animalculiste (le principe géniteur est principalement fourni par le père⁶¹). Le groupe d'élèves 1, où chaque élève avait initialement proposé une explication de type épigéniste, produit finalement une explication de type épigéniste-oviste (le principe géniteur est fourni par l'ovule et le développement de l'œuf est de type épigénétique). Un dernier groupe d'élève (groupe 4, annexe 5) présente un modèle de type fécondationiste à deux parents où « l'œuf est une nouvelle entité résultant de l'union entre un ovule et un spermatozoïde » (Gouanelle & Schneeberger, 1996, p. 70).

■ 2.3. La présentation devant la classe et le débat

Lorsque les groupes ont terminé la réalisation de leur affiche, un élève de chaque groupe vient au tableau présenter son affiche. Les affiches sont présentées dans l'ordre décrit à la section 2.2. À la fin de la présentation de chaque production, les élèves des autres groupes pouvaient poser des questions sur ce qu'avait dit leur camarade ou sur ce qui était représenté sur l'affiche. Quelques questions étaient également posées par l'enseignante afin d'avoir des précisions.

Le débat, d'une durée de 25 minutes, fut filmé avant d'être retranscrit. On obtient un script de 178 interventions. L'analyse de ces interventions va nous permettre de mettre en

⁶¹ Il n'est pas sûr que les élèves développent le même type d'explication animalculiste-préformiste que les scientifiques du XVIII^e siècle (Giordan, 1987, p. 95). En effet, il nous semble qu'il n'y ait pas automatiquement superposition entre ovisme ou animalculisme avec préformation, comme nous le montrerons dans la section 4.3.

évidence les nécessités construites par les élèves participant à la problématisation, ainsi que l'argumentation mise en œuvre au cours du débat.

3. Analyse du débat au niveau épistémique

■ 3.1. Méthodologie d'analyse du débat

Même si la situation de départ s'appuyait sur le cycle de vie du Ténébrion, les explications proposées par les élèves font référence à la reproduction chez l'Homme, c'est-à-dire à une fécondation interne. Le débat a été retranscrit et le script intégral du débat est présenté en annexe 6.

Les interventions des élèves sont alors classées dans les différents registres présentés dans le document 2, selon la méthodologie décrite par Orange (2000).

Document 2. Catégorisation utilisée pour analyser le script du débat

Le registre empirique (RE) comporte les interventions faisant référence à des éléments observables, mesurables...

Le registre des modèles (RM) se divise en trois catégories :

- le registre des modèles descriptif (RMd) où sont classées les interventions décrivant le modèle ;
- le registre des modèles de fonctionnement (RMf), les interventions permettent d'expliquer le fonctionnement du modèle ;
- le registre des modèles critique (RMc), dans lequel sont classées les interventions mettant en doute le modèle ou faisant une analyse critique du modèle.

Les interventions articulant les constats et les modèles sont classées dans la catégorie RE/RM.

Les travaux de Orange (2000), ont montré que seules les interventions de type RE, RMc et RE-RM sont potentiellement source de contraintes empiriques et de nécessités sur les modèles. C'est à partir de ces interventions que nous allons mettre en évidence les raisons construites par les élèves au cours du débat, raisons qui mettent en relations des contraintes empiriques, des contraintes théoriques, qui ne font pas directement référence à des faits constatables mais qui sont approuvées par tous les élèves, et des nécessités sur les modèles.

C'est à partir de ces différents éléments que nous pourrons construire l'espace de contraintes en jeu dans ce débat.

■ 3.2. Résultats

• 3.2.1. Les contraintes (empiriques et théoriques)

Les contraintes empiriques (CE) construites par les élèves lors du débat sont les suivantes (les numéros entre parenthèses font référence aux interventions des élèves) :

- CE1 : présence d'un mâle et d'une femelle pour former un nouvel individu (1, 55, 163) ;
- CE2 : il y a formation d'un nouvel individu dans le ventre de la femelle (55, 78, 108, 117).

Les interventions appartenant au registre empirique sont évoquées essentiellement lors de la présentation des affiches, les explications des élèves sont basées sur ces faits constatables. On peut également identifier une contrainte empirique secondaire :

- CE3 : il peut y avoir naissance de jumeaux, triplés...

On distingue quatre contraintes théoriques (CT) :

- CT1 : le mâle produit des spermatozoïdes.
- CT2 : la femelle produit des ovules.

Ces deux contraintes apparaissent dès l'évaluation diagnostique et ne sont pas discutées par les élèves au cours du débat. Il ne s'agit pas d'une observation, mais d'une évidence non questionnée par les élèves et sur lesquels les élèves s'appuient pour construire des nécessités, c'est pourquoi nous avons considéré ces interventions comme des contraintes.

- CT3 : le nouvel individu se développe.

Cette contrainte est rappelée régulièrement lors de la présentation des affiches.

- CT4 : l'ovule est plus gros que le spermatozoïde (52).

Cette contrainte évoquée au début du débat n'entraîne pas de discussions entre les élèves.

- 3.2.2. *Les nécessités sur le modèle*

Ces différentes contraintes sont articulées, au cours du débat, avec différentes nécessités sur les modèles.

La ***nécessité d'une rencontre des gamètes*** (1, 78, 110). Elle n'est pas clairement exprimée par les élèves, mais peut être interprétée de cette manière : comme le mâle produit les spermatozoïdes et la femelle les ovules, si l'individu se forme à partir des deux gamètes, il faut bien qu'ils se rencontrent.

Le ***nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes*** (62, 110). Cette nécessité est construite lors du débat au cours de la présentation de la première affiche. Le groupe explique que l'individu se forme à partir de l'ovule et du spermatozoïde (1) puis l'ovule grossit grâce à l'alimentation de la mère (3). Et lorsqu'on les questionne sur le rôle du spermatozoïde, ils ne répondent pas clairement (6). Cela conduit les autres élèves de la classe à pointer une incohérence puisqu'ils font intervenir l'entrée d'un spermatozoïde dans l'ovule (62). Cette nécessité est construite plusieurs fois pendant le débat.

La ***nécessité de l'entrée du spermatozoïde dans l'ovule*** (78, 110, 148). Cette nécessité est construite à partir des deux nécessités précédentes et de la contrainte théorique « l'ovule est plus gros que le spermatozoïde ». Vu que les gamètes doivent se rencontrer pour former un nouvel individu, et que chacun joue un rôle déterminant, c'est le spermatozoïde qui entre dans l'ovule puisque le spermatozoïde est le plus petit.

La ***nécessité qu'un seul spermatozoïde et un seul ovule forment un nouvel individu*** (1, 78, 110, 151). Tout au long du débat, les élèves expliquent qu'un nouvel individu est formé à partir d'un seul ovule et d'un seul spermatozoïde, sans que cette idée ne soit jamais discutée. C'est lorsque intervient la contrainte de l'existence de jumeaux que se pose le problème de l'entrée de plusieurs spermatozoïdes dans l'ovule.

Ces nécessités concernent le premier problème abordé par les élèves de quatrième, celui de l'origine du principe géniteur. Les élèves abordent également un autre problème, celui du développement du fœtus qui va conduire les élèves à construire une nouvelle nécessité.

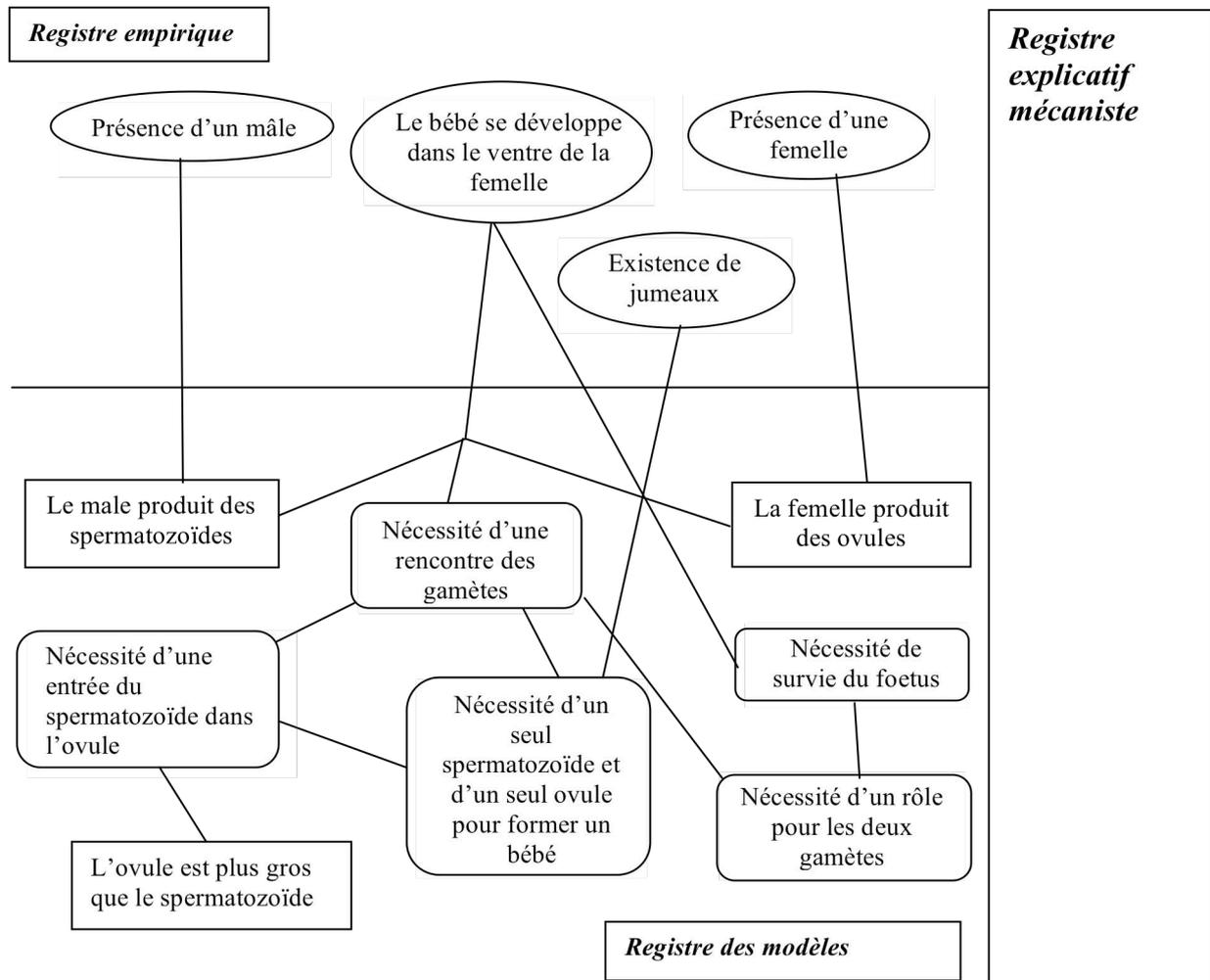
La **nécessité de survie du nouvel individu** (78, 82, 86, 89, 92). Cette nécessité est construite tout au long du débat, et s'appuie sur les contraintes et les nécessités sur les modèles préalablement construites. Comme chaque gamète a un rôle dans la formation du fœtus (double sens du terme formation : sa constitution et son développement), et que les élèves développent une conception préformiste-animalculiste, il faut bien attribuer un rôle à l'ovule, qui assure, soit l'alimentation du fœtus préformé dans le spermatozoïde, soit sa protection. Ainsi, tout individu en développement a besoin de se nourrir et doit être protégé, ce qui implique deux « sous nécessités »:

- *Nécessité d'alimentation* (3, 135) ;
- *Nécessité de protection* (96, 98, 117)

• 3.2.3. *L'espace de contraintes en jeu dans ce débat*

L'ensemble des contraintes empiriques, ainsi que les nécessités sur les modèles construites au cours du débat permettent de mettre en évidence l'espace des contraintes en jeu lors du débat (document 3).

Document 3. L'espace des contraintes en jeu lors du débat



Compte-tenu des contraintes et nécessités construites au cours du débat, nous pouvons inférer le registre explicatif dans lequel ce débat s'est développé. Selon Orange (1997), le registre explicatif « *contient les éléments, techniques, heuristiques et d'intelligibilité avec lesquels sont construits de nombreux modèles d'une tradition de science normale donnée* ». Dans ce débat, nous pensons que les explications des élèves renvoient à un registre explicatif mécaniste. Le fœtus se développe suite à une rencontre entre les deux gamètes, le futur fœtus dans un des deux gamètes, le plus petit, entre dans l'ovule, le plus gros. Comme chaque gamète doit avoir un rôle, on attribue alors à l'ovule une fonction de protection ou d'alimentation du fœtus.

■ 3.3. Discussion

Il convient de discuter quels sont les problèmes construits par les élèves au cours de ce débat et les difficultés que cela relève d'un point de vue didactique.

Deux problèmes différents sont traités par les élèves : celui de l'origine du principe géniteur du fœtus et celui du développement du bébé. Comme ces deux questions se mêlent et que les élèves sont tous d'accord pour dire que les deux parents sont nécessaires à la formation d'un nouveau bébé, le problème du principe géniteur passe rapidement au second plan et c'est essentiellement celui du développement du bébé qui est au cœur du débat, même si les élèves s'appuient sur la nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes. Ainsi, la plupart des élèves gardent l'idée que le spermatozoïde va se développer en nouvel individu. Nous allons maintenant essayer de pointer quelques explications possibles à ce constat.

Tout d'abord, la nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes est ambiguë, puisque l'on ne sait pas s'il s'agit d'un rôle du point de vue de ce qui va constituer le futur fœtus ou du point de vue du développement du fœtus. Il semble que cette ambiguïté contribue à faire passer la question de l'origine du principe géniteur au second plan et, au cours du débat, l'idée de fécondation n'est jamais discutée par la classe ce qui n'a pas permis de construire de nécessité à ce sujet. Ensuite, il convient de noter que le registre explicatif mécaniste permet de développer des explications animalculistes ou ovistes qui sont tout à fait fonctionnelles. Ces dernières constituent alors un obstacle à la construction d'une conception fécondationniste de la reproduction (Gouanelle & Schneeberger, 1996). Ainsi pour permettre aux élèves de construire le concept de fécondation comme défini dans les instructions officielles (France : MEN, 1997), il conviendra de les amener à raisonner dans un autre registre explicatif, où les modèles animalculistes/ovistes pourront être mis en défaut et donc s'intéresser aux caractères transmis des enfants aux parents et aux mécanismes de transmission de ces informations. Enfin, le pilotage du débat par l'enseignante peut également être mis en question.

Après avoir analysé les problèmes construits par les élèves, nous allons analyser ce débat d'un point de vue langagier, plus particulièrement argumentatif, pour comprendre la dynamique de la problématisation.

4. Analyse du débat du point de vue de l'argumentation des élèves

■ 4.1. Délimitation des différentes phases du débat

Le débat peut être délimité en quatre étapes qui correspondent aux phases de négociation de chacune des affiches. Les phases de négociation débutent par une présentation de l'affiche par un élève du groupe. Pour chaque phase, ne sont retenues que les interventions de l'élève qui présente l'affiche, celles des autres élèves et du professeur qui permettent de critiquer et/ou de compléter le modèle du groupe. La phase de négociation s'achève lorsque les élèves et le professeur n'ont plus de remarques à formuler.

La délimitation du débat que nous avons proposée est présentée dans le document 4.

Document 4. Délimitation des phases du débat

Négociation de l'affiche du groupe 1	Interventions 1 à 69.
Négociation de l'affiche du groupe 2	Interventions 78 à 102.
Négociation de l'affiche du groupe 3	Interventions 108 à 117.
Négociation de l'affiche du groupe 4	Interventions 118 à 178.

■ 4.2. La construction d'une schématisation lors de la présentation d'une affiche

Pour comprendre ce qui se joue en termes de problématisation lors de la présentation des affiches, nous allons tenter de comprendre comment sont construites deux schémas : celle du groupe 2 (document 5) et celle du groupe 3 (document 6). Pour conduire cette analyse, nous avons placé les interventions des élèves dans un tableau et commenté chaque fois que cela est nécessaire. Dans chacune de ces interventions, ce qui apparaît en gras concerne l'ovule, les éléments soulignés concernent le spermatozoïde.

Document 5. La schématisation construite par le groupe 2

72-David	Bah, l'ovule et les spermatozoïdes.	
73-David	(en montrant l'affiche).....un spermatozoïde, les petits têtards...	
78-David	(lecture de l'affiche) Un spermatozoïde entre dans l'ovule, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu, il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Il peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années. Cela dépend de l'individu.	Pré-modèle
79-Kévin	N'importe quoi!	
80-Milena	Mais si!	
81-P	Qu'est-ce qui peut rester plusieurs années?	
82-Kévin	Au bout de plusieurs années le machin, il est périmé...	Critique sur un aspect du pré-modèle: « Il peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années ».
83-David	Non.	

84- Milena	C'est pas vrai.	
85-P	Quel «machin» est «périmé»? Utilise des mots corrects parce que là on ne comprend pas...	
86- Kévin	Il va pas pouvoir rester plusieurs années dans le ventre!	
87-P	Qui «il»?	
88- Kévin	Bah le spermatozoïde!	
89- David	Bah les éléphants ça reste deux ans!	Confirmation du pré-modèle, appui par un exemple
95-P	C'est bien représenté, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu... Donc, c'est quoi le rôle de l'ovule ?	Précision du pré-modèle: l'ovule protège le spermatozoïde contre les « mauvaises » bactéries.
96- David	Protéger le spermatozoïde.	
98- David	Contre les mauvaises bactéries.	
101-P	Donc, il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Donc, moi je ne comprends pas trop là ce qu'il se passe. Quand vous dites il reste... alors, les autres est-ce que vous comprenez : « il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira » ?	
102- Hélène	Ben oui, ça veut dire qu'à l'intérieur de l'ovule il se développe et quand il est prêt ben il sort.	Pré-modèle accepté par le membre d'un autre groupe

Compte tenu des analyses présentées dans le document 3, voici la schématisation finalement construite par les élèves de ce groupe : *« Un spermatozoïde entre dans l'ovule. Le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu. L'ovule assure la protection du spermatozoïde, contre les mauvaises bactéries, qui se développe. Il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Il peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années. Cela dépend de l'individu ».*

Document 6. La schématisation construite par le groupe 3

108, 110, 112- Hélène:	Alors, là, c'est le ventre de la mère. (...)Là c'est le spermatozoïde qui rentre. Donc, y a l'ovule qui est dans le ventre de la mère et y a un seul ovule qui va entrer dans... un seul spermatozoïde qui va rentrer dans l'ovule. Donc, les spermatozoïdes rencontrent l'ovule : « ovule plus spermatozoïde égal bébé en développement ». Un seul spermatozoïde rentre dans l'ovule et se développe grâce au contenu de celui-ci. Donc, le spermatozoïde, en fait, c'est quelque chose qui, a besoin de l'ovule pour se développer et donc l'un sans l'autre ça ne marche pas. (...) Donc voilà, il se développe grâce au contenu de l'ovule jusqu'à la formation d'un nouvel individu.	Pré-modèle
113-P:	D'accord, les autres ?	
114- David:	Bah c'est bien expliqué.	
115- Milena:	C'est bien.	

116-P:	Vous êtes d'accord, vous aviez fait à peu près la même chose. Alors, est-ce que tu penses comme disait Milena tout à l'heure, qu'ensuite ça va sortir ?	
117-Hélène:	Oui, ben oui. Ca se développe grâce...enfin, c'est en quelque sorte un milieu fécond quoi. Dès que y a l'élément qui manque et ben ça se développe bien. Voilà. Et c'est protégé par la mère.	Complément du pré-modèle: le spermatozoïde sort dès qu'il a fini son développement. L'ovule est un « milieu fécond » (=qui permet un bon développement)

La schématisation finalement construite peut être formulée de la façon suivante : « *Plusieurs spermatozoïdes entrent dans le ventre de la mère où se trouve déjà un ovule. Un seul spermatozoïde va entrer dans l'ovule. Le spermatozoïde va se développer grâce au contenu de l'ovule qui constitue un milieu fécond (c'est-à-dire qui permet un bon développement car il possède les éléments qui manquent au développement du spermatozoïde). L'un sans l'autre, il n'y a pas formation de nouvel individu. L'ensemble est protégé par la mère. Une fois que le spermatozoïde s'est développé, il sort de l'ovule* ».

À partir de ces deux exemples, nous allons essayer de montrer en quoi la construction de ces deux schématisations nous donne des indications complémentaires de celles issues de la construction des espaces de contraintes pour comprendre l'activité de problématisation des élèves.

■ 4.3. Argumentation et problématisation

Le problème pris en charge par les élèves, dans la présentation de ces deux affiches, concerne principalement le mode de développement du futur bébé. Et, même si, lors de la présentation de ces affiches, le rôle des deux gamètes est plus présent que dans celle du groupe 1⁶² (ce qui est cohérent avec la conception animalculiste développée par ces deux groupes), ce n'est pas l'origine du principe géniteur qui est au centre des discussions, comme nous l'avons déjà souligné à la section . Ainsi, la nécessité de survie du nouvel individu est en construction au cours de la phase de négociation (96, 98 : le spermatozoïde se développe car il est protégé par l'ovule) du groupe 2.

Le pré-modèle présenté par le groupe 2 conduit à une première critique portant sur l'impossibilité pour le « spermatozoïde- futur fœtus » de vivre plusieurs années dans le ventre de la mère (82). Pour convaincre l'ensemble de la classe, David et Milena (élèves du groupe 2) utilisent un exemple qui leur permet de contextualiser le modèle afin de le faire admettre (David : « *Bah les éléphants, ça reste deux ans !* ») comme recevable. Ce jeu entre décontextualisation et contextualisation est une stratégie que nous avons déjà repérée comme étant un moyen de faire avancer le processus d'exploration des possibles (Lhoste, 2006, p. 96). On pourrait considérer ces propos comme porteurs de contraintes empiriques, mais étant donné que toute la classe n'est pas d'accord sur ce point, ils ne sont pris en compte que comme éléments d'argumentation. Malgré tout, les arguments des élèves ne permettent pas de démontrer qu'il est possible ou impossible qu'un spermatozoïde puisse vivre plusieurs années dans le ventre de la mère, les élèves cherchent seulement à savoir qui a raison ou tort (79, 80, 83, 84). Ici, le passage d'une argumentation à visée heuristique, comme l'argumentation sur les possibles, à une argumentation de

⁶² C'est Aline (en 3) qui présente l'affiche du groupe 1 : « *Ben y a l'ovule qui grossit grâce aux aliments que la femelle elle mange* ».

preuve, conduit à un blocage du processus de problématisation. Il conviendrait donc, pour l'enseignante d'intervenir pour maintenir les élèves dans l'exploration du champ des possibles.

Cependant, certaines argumentations de preuve permettent d'établir l'impossibilité d'un modèle et la construction de nécessités sur le modèle : c'est le cas, par exemple, pour la nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes : « *Si l'ovule il se développe à partir de l'alimentation, le spermatozoïde il a rien à faire là quoi!* » (intervention d'Hélène en 62).

Les principales nécessités⁶³ sont construites lors des négociations autour des deux premiers modèles (nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes, nécessité de l'entrée du spermatozoïde dans l'ovule, nécessité de survie du nouvel individu). La nécessité « un seul spermatozoïde et un seul ovule forment un individu » se construit tout au long du débat et est particulièrement développée lors de la quatrième phase au moment de la négociation. La construction de cette nécessité se fait aux dépens d'une contrainte empirique secondaire (l'existence de jumeaux) qui gêne la problématisation : les élèves doivent alors trouver une explication à la formation de deux nouveaux individus sachant qu'ils n'ont pas encore acquis le savoir scientifique visé. Comme cette contrainte arrive à la fin du débat, les élèves ont conservé pour la suite du cours une question qui ne correspond pas directement au savoir visé même s'il est important pour la séance à venir : peut-il y avoir plusieurs spermatozoïdes qui entrent dans l'ovule ?

La présentation du pré-modèle du groupe 3 permet de voir comment les élèves de ce groupe prennent en compte les nécessités construites au préalable. On voit Hélène qui insiste particulièrement sur ces nécessités : nécessité de rencontre des deux gamètes, d'entrée du spermatozoïde dans l'ovule⁶⁴ et importance des deux gamètes. Les nécessités préalablement construites dans le débat permettent la présentation d'un modèle plus complet, sur lequel la classe n'aura pas de questions à poser puisque ces nécessités semblent faire accord au sein de la classe. Ainsi, la schématisation construite est mise en cohérence avec les nécessités construites auparavant dans le débat. Ces nécessités sont alors considérées par les élèves comme des contraintes fortes sur les solutions possibles. L'utilisation de nécessités, préalablement construites dans le débat, lors de la présentation d'une nouvelle schématisation correspond à une propagation de nécessités qui peuvent venir contrôler les modèles construits. Cette stabilisation des nécessités au cours d'un débat, déjà observée dans d'autres (Lhoste, 2006), peut être considérée comme la trace d'une conceptualisation.

■ 4.3. Problématisation, mise en histoire et obstacles à la construction du concept de fécondation

Même si les productions des élèves répondent à la demande de formulation d'une explication, les énoncés qu'ils produisent ne peuvent être considérés comme des explications scientifiques dans le sens où l'explication scientifique correspondrait à « *un ensemble d'énoncés dont l'un décrit l'état de chose à expliquer (l'explicandum), tandis que les autres, les énoncés explicatifs, constituent "l'explication" au sens le plus étroit du*

⁶³ Mis à part la nécessité de rencontre des gamètes qui semble admise dès la présentation de la première affiche.

⁶⁴ On peut remarquer que les élèves de ce groupe faisaient figurer le terme « fécondation » sur l'affiche mais qu'il n'a pas été évoqué lors de la présentation.

terme (*l'explicans de l'explicandum*) » (Popper, 1991/1998, p. 297-298). Ainsi, les pré-modèles construits par les groupes 2 et 3 ont la forme d'une histoire (plus développée celle du premier groupe⁶⁵), dans laquelle le rôle du personnage principal est assuré par le spermatozoïde : il va alors être impliqué dans une succession d'action : il entre dans l'ovule, il va se développer, il va enfin sortir. Le fait d'assimiler le spermatozoïde à un têtard vient renforcer la mise en histoire. Et même si certains types de récit, comme les récits mythologiques, ont une fonction explicative⁶⁶, l'explication scientifique se distingue des récits notamment de part le retour critique systématique sur les récits produits dans le cadre d'une dialectique entre conjecture et réfutation (Popper, 1985 ; Bruner, 1996, p. 152-153). C'est bien cette « *inscription de la théorie et de l'histoire dans des traditions critiques différentes* » (Popper, 1991/1998, p.431) qui peut nous permettre de distinguer explication scientifique et récit.

Ce constat, de l'emploi de la mise en histoire pour répondre à la tâche explicative proposée par l'enseignante, peut être étendu à toutes les présentations des élèves, ainsi dans les quatre groupes, la présentation de l'affiche fait appel à une mise en histoire identifiée par Orange comme une forme d'argumentation sur les possibles (2003, p. 90-91). Ainsi, ces mises en histoire semblent correspondre à une forme langagière disponible pour que les élèves puissent s'engager dans la recherche d'une explication scientifique et d'une activité de problématisation. Ce constat rejoint les analyses de Ricœur (1986) et de Bruner (1991, 2005). Ainsi, Ricœur (1986) qui précise que la fiction est un outil naturel pour penser l'action : « *la première manière dont l'homme tente de comprendre et de maîtriser le "divers" du champ pratique est de s'en donner une représentation fictive* » (p. 122). Bruner (1991, 1985) indique que la mise en histoire est une forme de pensée très puissante, une catégorie fondamentale d'explication et toujours sollicitée, ainsi « *nous nous cramponnons à ces modèles narratifs de la réalité ; nous les utilisons pour donner forme à notre expérience quotidienne* » (Bruner, 2005, p. 19).

Même si cette forme langagière permet aux élèves de s'engager dans la tâche, elle constitue un obstacle pour accéder à un savoir scientifique comme l'ont montré plusieurs travaux aussi bien en sciences physiques (Viennot, 1993, 2003), qu'en sciences de la vie et de la Terre (Orange & Orange, 1995 ; Orange-Ravachol, 2005). Essayons de comprendre en quoi les mises en récit, produites ici, viennent faire obstacle à la construction du concept de fécondation. Nous avons vu que le spermatozoïde est le personnage principal des ces mises en histoire. Mais, comme les récits sont construits sur la permanence du personnage principal, il est difficile, pour les élèves, d'envisager que le spermatozoïde disparaisse en tant que tel au moment de la fécondation⁶⁷. En effet, s'il n'y a plus de personnage principal, il n'y a plus d'histoire. Comme la disparition du spermatozoïde est une condition qui permet de penser la fécondation, nous pensons que l'importation d'éléments de compréhension de l'action humaine dans une problématisation scientifique peut constituer un obstacle à l'accès à une pensée scientifique, d'autant plus que les élèves comparent le spermatozoïde à un têtard (73), qui permet, comme le rappelle Fisher en faisant référence à la découverte des vers spermatiques et à leur introduction dans les des débats médicaux en

⁶⁵ Pré-modèle construit par le groupe 1 : « *Le spermatozoïde du mâle et l'ovule de la femelle forment l'individu. Dans le ventre de la mère, plusieurs spermatozoïdes rencontrent l'ovule, un seul va entrer dans l'ovule. L'ovule et le spermatozoïde vont grossir grâce aux aliments mangés par la mère* ».

⁶⁶ Ce qui n'est pas le cas de tous les récits.

⁶⁷ Viennot (2003, p. 17) relève que « *si le système envisagé comporte une structure spatiale marquée, le héros de l'histoire reste souvent le même d'un bout à l'autre* ».

1677, de redonner à l'homme « *la responsabilité de la génération et la femme redevenait celle qui nourrit et abrite le germe produit par l'homme* » (2001, p. 4).

De plus, la mise en histoire proposée par les élèves permet une mise en relation (chronologique, causale...) d'événements dans un but précis. De ce fait, tous les éléments de l'histoire s'organisent et finissent par en imposer le dénouement, ce qui peut conduire les élèves à éliminer tous les éléments, événements qui n'auraient pas de sens dans cette histoire, c'est en cela que le récit « *donne forme à ce qui est informe* » (Ricœur, 1983, p. 138). Pour les élèves, des difficultés peuvent naître d'une confusion entre les principes qui régissent la narration et l'explication scientifique, ce qui peut être à l'origine d'obstacles à la compréhension de savoirs scientifiques.

5. Conclusion

L'analyse du débat a permis de mettre en évidence les nécessités construites par les élèves grâce aux interactions

langagières vécues lors du débat. Nous avons mis en évidence que le problème construit par les élèves n'est pas exactement celui visé par l'enseignant et nous avons tenté d'identifier certaines causes possibles à cette difficulté à mener un débat sur le thème de la fécondation. D'autres recherches devront être conduites sur ce thème pour étayer nos analyses.

Du point de vue des relations entre problématisation et argumentation des élèves, deux points méritent d'être mis en avant. Tout d'abord, il semble que l'analyse des argumentations des élèves permettent d'avoir des indications sur la dynamique des débats, c'est-à-dire sur la façon dont les raisons sont construites par les élèves, puis progressivement stabilisées au fur et à mesure de celui-ci, faisant du débat un dispositif qui favorise la problématisation et la construction de savoirs scientifiques. Ces résultats s'inscrivent dans ceux déjà obtenus sur un autre objet d'étude (Lhoste, 2006). Enfin, nous avons montré que la forme langagière disponible pour permettre aux élèves de s'engager dans une explication prend, dans le cas que nous avons étudié, la forme d'une mise en récit, mise en récit qui peut avoir une fonction d'obstacle à la construction des savoirs scientifiques visés.

Bibliographie

- Bachelard G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bruner (1991). *Car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel.
- Bruner (1996). *L'éducation, entrée dans la culture*. Paris : Retz.
- Bruner (2005). *Pourquoi nous racontons nous des histoires ? Le récit au fondement de la culture et de l'identité individuelle*. Paris : Pocket.
- Fabre M. & Orange C. (1997). Construction de problèmes et franchissement d'obstacles. *Aster*, n° 24, p. 37-57. Disponible sur Internet : <http://irevues.inist.fr/handle/2042/8550>.
- Fischer J.-L. (2001). Buffon et les théories de la génération au 18ème siècle. In *La*

- pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques*, tome 1 : Histoire des sciences. Paris : DESCO. Disponible sur Internet : http://eduscol.education.fr/D0126/uescience_acte1_3.htm.
- France : Ministère de l'Éducation nationale (1997). Programme du cycle central. *BOÉN Hors-Série*, n°1, du 13/02/1997.
- Giordan A. (1987). *Histoire de la biologie*. Paris : Lavoisier.
- Gouanelle C. & Schneeberger P. (1996). Utilisation de schémas dans l'apprentissage de la biologie à l'école : la reproduction humaine. *Aster*, n° 22, p. 57-86. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8541>.
- Grize J.-B. (1996). *Logique naturelle et communication*. Paris : PUF.
- Grize J.-B. (1997). *Logique et langage*. Paris : Ophrys.
- Jacob F (1981). *Le jeu des possibles*. Paris: Librairie Fayard.
- Lhoste Y. (2005). Argumentation sur les possibles et construction du problème dans le débat scientifique en classe de 3e sur le thème de la nutrition. *Aster*, n°40, p.153-176.
- Lhoste Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3e : Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, n°42, p. 79-108.
- Orange C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- Orange C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer des représentations ou construire des raisons ? In *Actes des premières journées de l'ARDIST*, Cachan. Disponible sur Internet : <http://www.aix-mrs.iufm.fr/ardist/>.
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissage scientifique et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n°1, p. 25-41.
- Orange C. (2003). Apprentissages scientifiques, activités langagières et problématisation. In J. Martine, M. Rebière & J.-P. Bernié (dir.). *Actes du colloque Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement*, Bordeaux, 3, 4 & 5 avril 2003, CD-rom.
- Orange C. (2005). Problématisation conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 3, p. 69-93.
- Orange C. & Orange D. (1995). Géologie et Biologie: analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, p. 27-49. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8540>.
- Orange-Ravachol D. (2005). Mise en histoire, problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *Actes du 73e Congrès de l'ACFAS*, Chicoutimi (Canada), 9-13 mai 2005.
- Popper K. (1963/1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- Popper K. (1972/1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier.
- Reboul O. (1992). *Les valeurs de l'éducation*. Paris : PUF.
- Ricoeur P. (1983). *Temps et récit. L'intrigue et le récit historique*. Paris : Éd. du Seuil.
- Ricoeur P. (1986). Le modèle du texte : l'action sensée considérée comme un texte. In *Du texte à l'action. Essai d'herméneutique II*. Paris : Éd. du Seuil, p. 205-236.
- Toulmin S. (1961/1973). *L'explication scientifique*. Paris : Armand Colin.
- Viennot L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n°1, p. 13-27.
- Viennot L. (2003). Raisonnement commun en physique : relations fonctionnelles, chronologie et causalité. In L. Viennot & C. Debru. *Enquête sur le concept de causalité*. Paris : PUF.

Annexe 1. Analyse des systèmes explicatifs sur le thème de la reproduction animale (Travaux de Christian Orange et de l'équipe de didactique des SVT de l'IUFM de Basse-Normandie, centre de Saint Lô, travaux non publiés)

Les conceptions des élèves sur la reproduction humaine peuvent être analysées selon deux référentiels :

- une analyse en termes de grandes conceptions ; cette analyse permet de faire une analyse diagnostique et de définir les objectifs.
- une analyse à partir de questions auxquelles doit répondre toute conception sur la reproduction humaine ; cette analyse permet de préparer la situation problème et la phase de problématisation.

1. Référentiel par questions fondamentales

Toute explication donnée concernant la reproduction humaine peut être interrogée de la façon suivante :

- Qui fournit le principe géniteur, c'est-à-dire l'élément à l'origine de l'enfant ?
- L'enfant existe-t-il dans l'élément géniteur en petit et grandit-il ensuite ou bien se forme-t-il progressivement ?

2. Référentiel en termes de grandes conceptions

Cette grille a été établie à partir d'une analyse épistémologique prenant en considération l'étude historique des conceptions sur la reproduction.

Deux axes d'analyse peuvent être utilisés, toutefois ils correspondent à des notions imbriquées :

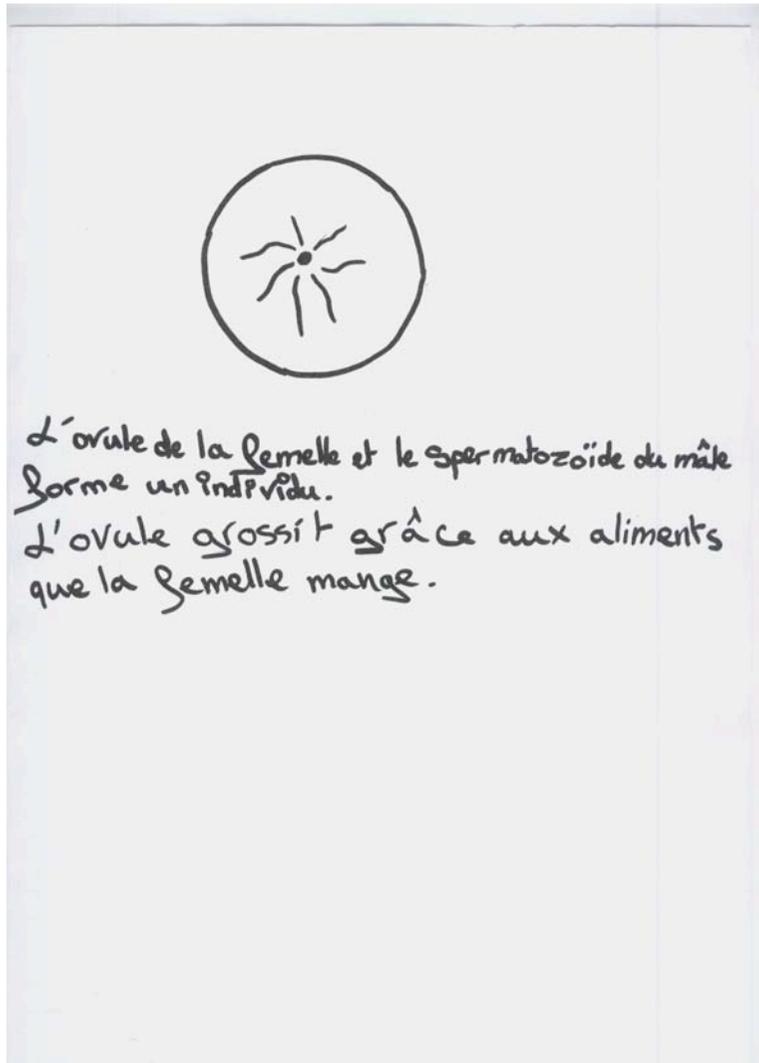
1^{er} axe : Le principe géniteur

- Pas de parent : conception préscientifique de la génération spontanée.
- Un parent fournit le principe essentiel de la génération :
 - ➔ soit le père seul : conception animalculiste ;
 - ➔ soit la mère seule : conception oviste.
- Les deux parents fournissent chacun un élément : conception de la fécondation.

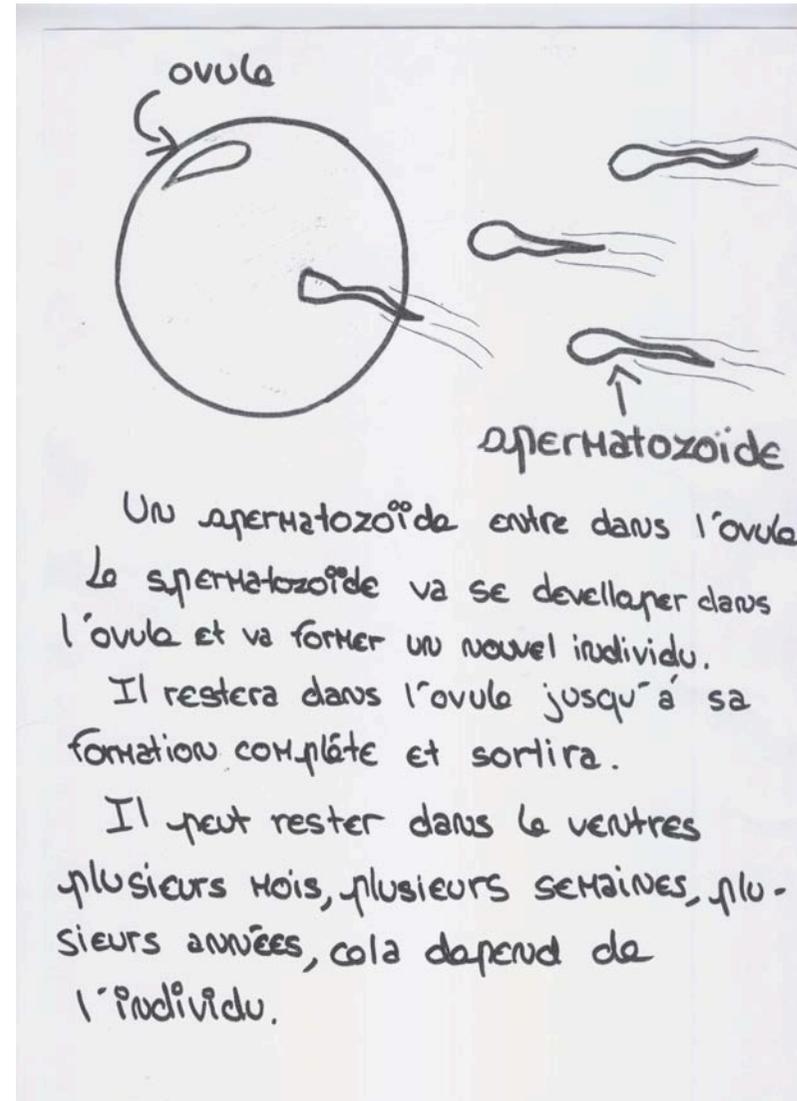
2^e axe : La formation de l'enfant

- L'enfant est déjà préformé dans l'élément géniteur : conception préformiste, il préexiste en petit et grandit ensuite.
- L'enfant n'est pas préformé : conception épigéniste, c'est d'abord une masse informe qui grandit et se développe en se modifiant.

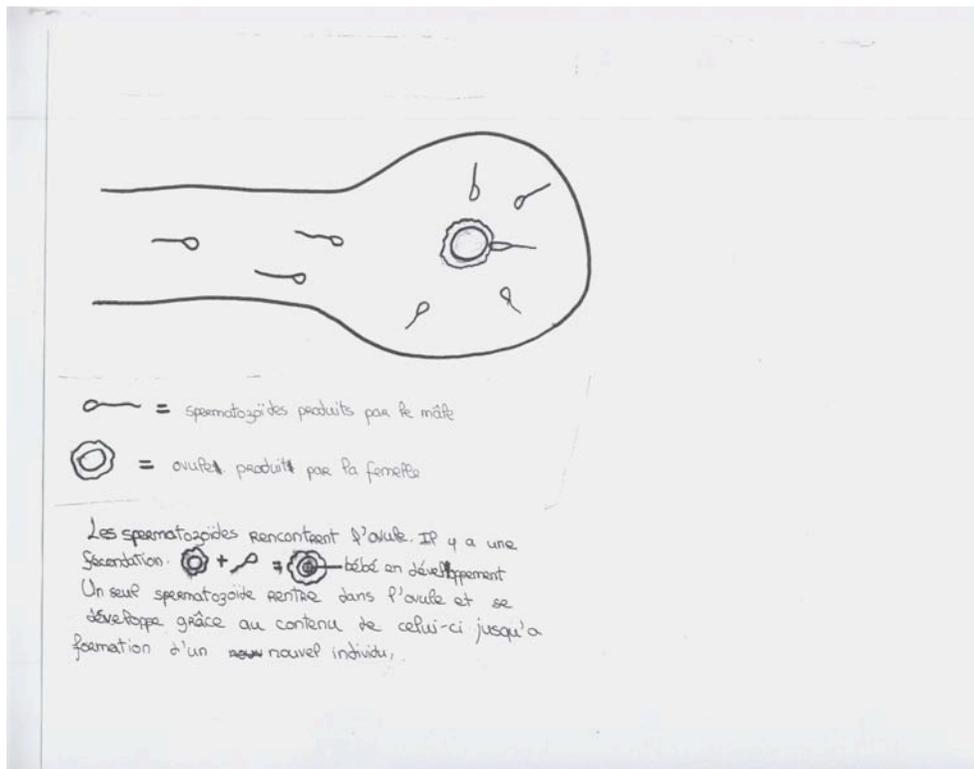
Annexe 2. Affiche du groupe 1



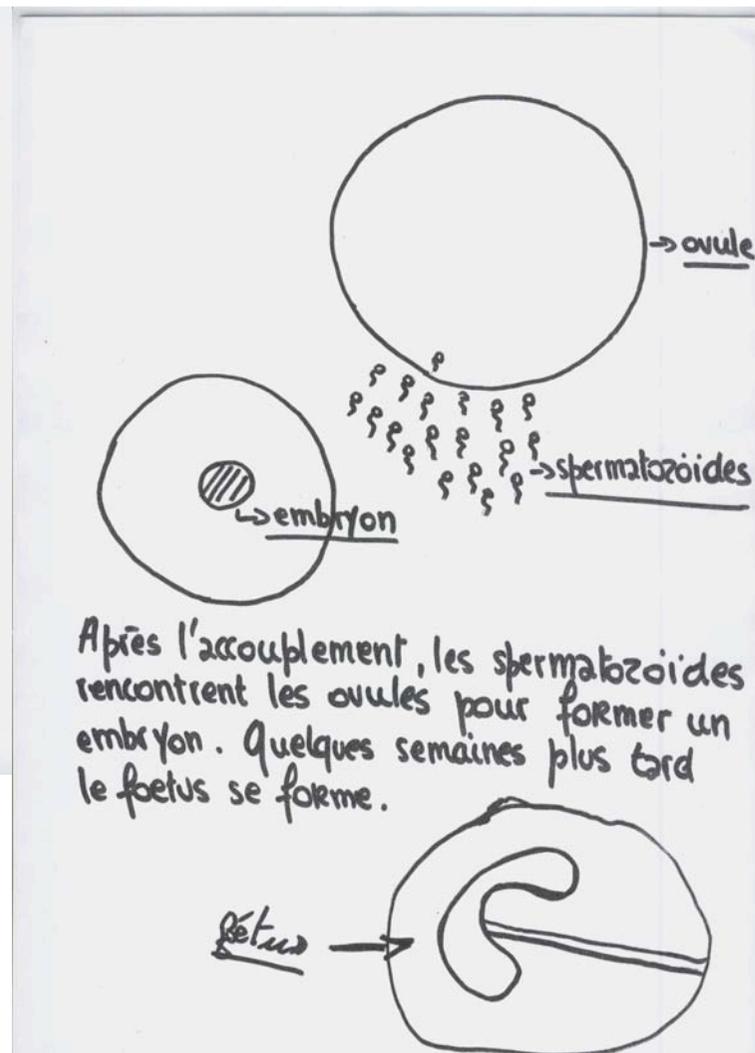
Annexe 3. Affiche du groupe 2



Annexe 4. Affiche du groupe 3



Annexe 5. Affiche du groupe 4



Annexe 6. Script du débat analysé

		Débat autour de l'affiche du groupe 1 :	
Aline		Ben, y a l'ovule de la femelle et le spermatozoïde du mâle qui forment l'individu.	RE/RM
Prof		Y a l'ovule de la femelle et le spermatozoïde du mâle qui forment l'individu. Alors, comment ça se passe ?	
Aline :		Ben y a l'ovule qui grossit grâce aux aliments que la femelle elle mange.	RE/RM
Prof		D'accord, et puis le rôle du spermatozoïde dans ce cas là ?	
Clément :		Y en a plusieurs.	
Aline :		Ben, ça fait pareil.	
Prof		C'est pareil. Alors, qu'est-ce que vous en pensez ?	
David :		Ben, c'est pas sûr que si c'est quand elle mange que l'ovule elle grossit.	RMc
Prof		C'est pas sûr que c'est quand la femelle mange que l'ovule grossit... Parce que là, en fait, on ne voit pas bien le rôle du spermatozoïde...	
Charles :		Oui	
David :		Oui, bah oui, il fait rien, on ne sait même pas où il est.	RMc
		(Toute cette partie correspond à une discussion sur le schéma représenté par le groupe, qui pose problème)	
Prof		Alors, il est où le spermatozoïde sur votre schéma ?	
Charles		C'est quoi ? C'est la grosse boule là ?	
Aline :		....
Prof		D'accord, l'ovule c'est le rond, et tout ce qu'il y a à l'intérieur c'est le spermatozoïde.	
Aline :		Oui .	
Hélène :		Donc ça veut dire qu'il y a plusieurs...	
Charles		Y a sept bébés alors ? (Brouhaha dans la classe, le schéma n'est pas bien compris)	
Prof		Alors, est-ce qu'il y a sept spermatozoïdes sur ton schéma ? C'est ce que demande tout le monde.	
Aline		.....
Prof		Le groupe qui a participé à l'affiche, vous pouvez aider, aussi, Aline.... Alors, Charlène ?	
Charlène :		.....
Prof		Pourquoi il y a plusieurs traits, parce que on ne comprend pas très bien...	
David		C'est quoi ?	
Prof		C'est quoi les petits traits là ?	
		
Prof		Il y a plusieurs spermatozoïdes ou il n'y en a qu'un ?	
David, Charles, Clément		Ben y en a plusieurs !	
Prof		C'est aux filles qui ont fait l'affiche que je demande...Charlène, il y en a plusieurs ou il n'y en a qu'un ?	
Charlène		Y en a plusieurs.	RMd
Prof		Y en a plusieurs qui entrent dans l'ovule ?	
Charlène		Non il n'y en a qu'un qui entre.	RMf
Prof		Donc, il y en a plusieurs autour mais il n'y en a qu'un qui entre.	
Charlène, Aline :		.....
Prof		Il faut parler un petit peu plus fort.	
Jennifer		Y a l'ovule dedans.	
Prof		Ah, c'est pour montrer qu'il y a l'ovule dedans.	
David		Ah, l'ovule est dans le spermatozoïde !	
Prof		Alors, si on résume...	
David		On comprend rien.	
Prof		Vous ne comprenez pas, mais il faut poser des questions si vous ne comprenez pas !	
David		Le truc rond là c'est l'ovule ?	
Prof		Le truc rond c'est l'ovule.	
David		Mais les spermatozoïdes ils sont déjà dedans ou... ?	
Prof		Non, il y en a sept autour mais il y en a qu'un qui rentre.	
David		David : Ils sont mal fais alors.	
Aline		Euh, oui, enfin, c'est pas tout à fait ça.	

	La classe	On dirait qu'ils sont dedans, ben oui on dirait ça...	
	Prof	Alors d'accord, on croirait que c'est ça mais ce n'est pas ça, est-ce que là tout le monde comprend ?	
	Charles	En fait c'est pas la même chose dans le schéma et dans la légende.	
	Camille	Ca va pas parce que l'ovule est plus grosse que le spermatozoïde.	RMc
	Prof	Tu penses que c'est un problème pour la formation du nouvel individu ?	
	Camille	Je sais pas.	
	Jennifer	Madame, en fait le gros rond là c'est le ventre.	RE
	Prof	Ah ! Le rond c'est le ventre, alors, il faut expliquer. Donc l'ovule il est où sur le schéma ?	
	Aline	Il est là.	
	Hélène	Ben dans ce cas là il est peu petit par contre !	
		(Brouhaha dans la classe suite à la découverte de l'ovule sur le schéma)	
	Prof	Finalement l'ovule c'est le petit truc qu'il y a au milieu, le rond c'est le ventre.	
		(Reprise du débat sur le rôle de l'ovule)	
	Helène	Si l'ovule il se développe à partir de l'alimentation, le spermatozoïde il a rien à faire là quoi !	
	Prof	Donc là en fait, ce que tu reprocherais toi, c'est qu'il n'y a pas de rôle du spermatozoïde ?	
	Hélène	Ben non.	
	Charles	Non, on les voit pas faire...	
	Prof	On les voit pas faire... agir ?	
	Charles	Oui, voilà.	
	Prof	Est-ce que tu as quelque chose à ajouter Aline pour expliquer ?	
	Aline	Ben non.	
	Prof	Non, les filles du groupe vous avez des choses à ajouter ? Non. Les autres vous avez encore des questions ? On va passer à la suite.	
Débat autour de l'affiche du groupe 2 :			
	Prof	Qu'est-ce qu'il y a de représenté sur ton schéma ?	
	David	Bah, l'ovule et les spermatozoïdes.	RMd
	Prof	Tu peux nous les montrer ?	
	David	.....un spermatozoïde, les petits têtards...	
	Prof	Les petits têtards ?	
	David	oui	
	Prof	Bon, continue, explique ce qu'il se passe.	
	David	(lecture de l'affiche) Un spermatozoïde entre dans l'ovule, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu, il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Il peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années. Cela dépend de l'individu.	RE/RM
	Kévin	N'importe quoi !	
	Miléna	Milena : Mais si !	
	Prof	Qu'est-ce qui peut rester plusieurs années ?	
	Kévin	Au bout de plusieurs années le machin il est périmé...	RMc
	David	Non.	
	Miléna	C'est pas vrai.	
	Prof	Quel « machin » est « périmé » ? Utilise des mots corrects parce que là on ne comprend pas...	
	Kévin	Il va pas pouvoir rester plusieurs années dans le ventre !	RMc
	Prof	Qui « il » ?	
	Kévin	Bah le spermatozoïde !	
	David	Bah les éléphants ça reste deux ans !	RM
	Kévin	.....d'un éléphant ?	
	Miléna	Ben si.	
	David	On parle de quoi là ? On parle des animaux hein ! Les éléphants, ça reste deux ans dans le ventre, merci Milena ! (« ça » entendu fœtus, mais ici interprété comme spermatozoïde)	RM
	Prof	Bon, alors, les autres, est-ce que vous avez des questions à poser ? Il y a peut-être des choses qui ne sont pas claires, que vous ne comprenez pas, vous n'êtes pas d'accord...	
	Johnny	C'est bien représenté.	
	Prof	C'est bien représenté, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu... Donc, c'est quoi le rôle de l'ovule ?	

	David	Protéger le spermatozoïde.	RMf
	Prof	Protéger le spermatozoïde ?	
	David	Contre les mauvaises bactéries.	RMf
	Prof	C'est une blague ou c'est sérieux, parce que je veux savoir...	
	David	Non, je sais pas...c'est sérieux, oui.	
	Prof	Donc, il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Donc, moi je ne comprends pas trop là ce qu'il se passe. Quand vous dites il reste... alors, les autres est-ce que vous comprenez : « il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira » ?	
	Hélène	Ben oui, ça veut dire que à l'intérieur de l'ovule il se développe et quand il est prêt ben il sort.	RMf
	Charles	Après il sort du ventre quoi.	RE
	Prof	Donc, en fait, vous avez formation d'un bébé à partir d'un spermatozoïde, d'un ovule et, vous, après, il sort de l'ovule le bébé, c'est ça ?	
	Hélène	...et du ventre de la mère.	
	Prof	Ah, d'accord, après vous parlez d'accouchement. Donc « qui peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années. Cela dépend de l'individu. ». Les autres, est-ce que vous avez des choses à ajouter ?	
	David	Ben non.	
Débat autour de l'affiche du groupe 3 :			
	Hélène	Alors, là, c'est le ventre de la mère.	RMd
	Prof	D'accord.	
	Hélène	Là c'est le spermatozoïde qui rentre. Donc, y a l'ovule qui est dans le ventre de la mère et y a un seul ovule qui va entrer dans... un seul spermatozoïde qui va rentrer dans l'ovule. Donc, les spermatozoïdes rencontrent l'ovule : « ovule plus spermatozoïde égal bébé en développement ». Un seul spermatozoïde rentre dans l'ovule et se développe grâce au contenu de celui-ci. Donc, le spermatozoïde, en fait, c'est quelque chose qui, a besoin de l'ovule pour se développer et donc l'un sans l'autre ça ne marche pas.	RE/RM
	Prof	D'accord.	
	Hélène	Donc voilà, il se développe grâce au contenu de l'ovule jusqu'à la formation d'un nouvel individu.	RE/RM
	Prof	D'accord, les autres ?	
	David	Bah c'est bien expliqué.	
	Miléna	C'est bien.	
	Prof	Vous êtes d'accord, vous aviez fait à peu près la même chose. Alors, est-ce que tu penses comme disait Milena tout à l'heure, qu'ensuite ça va sortir ?	
	Hélène	Oui, ben oui, ça se développe grâce...enfin, c'est en quelque sorte un milieu fécond quoi. Dès que y a l'élément qui manque et ben ça se développe bien. Voilà. Et c'est protégé par la mère.	RE/RM
Débat autour de l'affiche du groupe 4 :			
	Kévin	Alors, y a plusieurs spermatozoïdes, ils courent dans l'ovule, dans le... d'accord ? Après ça fait l'embryon, un truc comme ça. Après l'accouplement, les spermatozoïdes rencontrent l'ovule, oui, ben c'est ce que je viens de dire... Et quelques semaines plus tard, ben le fœtus il se forme.	RMd
	Prof	Alors, le groupe, vous voulez rajouter quelque chose ?	
	G	Non.	
	Prof	Les autres vous avez des questions ? Luc ?	
	Luc	Le fœtus se développe jusqu'à deux ans, pareil quoi (en désignant Milena).	RMf
	Prof	Le fœtus se développe jusqu'à deux ans. Kévin, qu'est-ce que t'appelle un embryon ?	
	Kévin	C'est quoi un embryon ?	
	Prof	Vous avez écrit embryon, alors, c'est quoi un embryon ?	
	Kévin	Ah si, ben, si !	
	Prof	Attends, Milena a commencé à parler. Vas-y Milena.	
	Miléna	C'est le spermatozoïde qui commence à se développer.	RMf
	Prof	Pour toi c'est le spermatozoïde qui se développe.	
	Kévin	Non, l'embryon c'est le tuyau là, qui donne à manger... Ah non...	
	Prof	Je crois que tu es encore ailleurs. Clément tu voulais dire quoi, c'est quoi l'embryon ?	

	Clément	C'est l'état du nouvel individu avant qu'il devienne un fœtus.	RMf
	Prof	C'est l'état du nouvel individu avant qu'il devienne un fœtus. Alors, comment il se forme l'embryon, parce qu'il y a un spermatozoïde qui rentre mais vous n'expliquez pas comment il se forme.	
		Dans le groupe, est-ce qu'il y a quelqu'un qui peut m'expliquer comment se forme l'embryon ?	
	Kévin	Ben avec de la manger... de la nourriture...C'est de la nourriture qui donne...La mère elle donne de la nourriture au ... à l'enfant mais pas encore formé. Comme ça il grandit.	RE/RMf
	Prof	D'accord mais là tu parles du fœtus, moi je veux savoir d'où il sort l'embryon, comment il se forme.	
	Kévin	Ben, c'est ...le spermatozoïde ...qui grandit...	RMf
	Prof	C'est le spermatozoïde qui grandit, mais là est-ce que tu ne dis pas ça parce que tu as vu les autres qui disaient ça ?	
	Kévin	Ah bon, ils ont dit ça aussi eux ?	
	Clément	Oh, style...	
	Prof	Dans le groupe, Luc est-ce que tu peux expliquer toi d'où il vient l'embryon ?	
	Luc	C'est la conjugaison entre le spermatozoïde et l'ovule.	RMf
	Prof	Pour toi c'est une conjugaison entre les deux qui va former l'embryon.	
	Luc	Luc : Oui.	
	Prof	Charlène, toi tu en penses quoi, comment il se forme l'embryon pour toi ?	
	Charlène	...	
	Prof	Tu ne sais pas ? Donc Luc il dit que c'est une combinaison en fait entre l'ovule et le spermatozoïde. Alors, les autres groupes, est-ce que vous avez des questions sur ce schéma ? Sur l'embryon, le fœtus ?	
	Hélène	Ben c'est bizarre qu'il y ait beaucoup de spermatozoïdes qui entrent alors qu'un fœtus est formé.	RMc
	Kévin	Ben y en a plusieurs qui courent.	RMd
	Prof	Attends, y en a plusieurs qui « courent » comme tu dis ou y en a plusieurs qui rentrent ?	
	Kévin	Ben oui mais y en a plusieurs qui sprintent d'un départ et après, si y en a deux qui rentrent ça fait des jumeaux, si y en a trois ça fait des triplés, ben ainsi de suite après hein...	RM/RE
	Hélène	Bah peut être pas quand même.	
	Prof	Tout le monde est d'accord avec ça ?	
	Miléna	Ben non.	
	Kévin	Bah ici y en a qu'un, je le vois bien il rentre.	
	Hélène	Bah oui mais c'est la première fois que tu le dis je te signale...	
	Kévin	hein ?	
	Prof	Milena tu penses que ça ne se forme pas comme ça ?	
	Miléna	Ben non, je sais plus.	
	Johnny	Y a deux ovules.	RMf
	Prof	Alors, Johnny il dit que c'est parce que y a deux ovules qu'on forme des jumeaux.	
	Miléna	Oui, c'est quelque chose comme ça.	
	Kévin	Bah, deux ovules, qu'est-ce qu'il fait lui ? Deux ovules ! C'est la mère qui l'a l'ovule.	RMc
	Charles	Y a deux poches.	RMf
	Miléna	Oui voilà, deux poches.	
	Prof	Deux poches, deux poches de quoi ?	
	Miléna	Deux poches de ... Ben je sais pas...	
	Prof	Kévin, toi, tu penses que ça ne peut pas être deux ovules qui formeraient des jumeaux ?	
	Kévin	Ben, c'est plusieurs parties dans l'ovule qui forment les jumeaux.	RMf
	Prof	Plusieurs parties dans l'ovule ?	
	Kévin	Bah oui, mais en fait euh...	
	Prof	Parce que tout à l'heure tu disais qu'il y avait plusieurs spermatozoïdes.	
	Kévin	Oui.	
	Prof	Et maintenant tu nous dis que c'est plusieurs parties de l'ovule.	
	Kévin	Mais non! S'il y a deux spermatozoïdes, ben l'ovule elle sera séparée en deux.	RMf
	Prof	Ah d'accord, vous pensez ça aussi?	
	Miléna	Ben ouais mais bon...	
	Prof	Vous ne savez pas trop...	

Apprentissage du concept de fécondation en classe de quatrième : problèmes construits par les élèves

Aurélié Cadet, professeure de SVT, collège Anne-Frank, Vassy (14) ;
lilie.cadet@laposte.net

Caroline Tanqueray, professeure de SVT, collège Jean Moulin, Caen (14) ;
tanqueraycaro@orange.fr

Yann Lhoste, professeur de SVT, IUFM de Basse-Normandie ; CREN, université
de Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

1. Cadre théorique

■ 1.1. Savoir scientifique et problématisation

Orange indique que le savoir scientifique est un savoir critique, débattu au sein d'une communauté de référence et ayant une relation étroite avec les problèmes qui les fondent, ainsi « *le problème construit est constitutif du savoir scientifique et il le reste même après qu'une solution au problème, un modèle, aura été construite* » (Orange, 1993). Cette relation étroite entre savoir et problème est au centre du point de vue de la construction du problème, problème qui ne constitue plus le mobile de l'apprentissage, un moyen comme un autre de mobiliser les élèves dans une activité de recherche, mais le moyen de l'apprentissage, ce qui est au cœur de ce qu'il y a à apprendre (Fabre, 1999). De ce fait, si « *pour les problèmes jugés fondamentaux, on choisit de faire construire, au moins en partie, le problème aux élèves, cela veut dire que ceux-ci doivent produire des idées explicatives, les développer et les soumettre à la critique de leurs pairs* » (Orange, 1993).

Schneeberger précise ce que sont les interactions orales entre élèves: « *les théories actuelles de l'apprentissage accordent une grande importance à la dimension sociale dans la genèse des processus mentaux supérieurs. Ce point de vue repose sur le postulat que toute connaissance est par définition une construction sociale basée sur des relations dialectiques entre sujets ; apprendre c'est donc construire les savoirs en interaction avec autrui : avec l'adulte et avec ses pairs* » (Schneeberger, 2001). En effet, de nombreux

travaux de psychologie ont montré l'importance des interactions sociales dans le développement cognitif. Le courant de la psychologie sociale génétique attribue l'effet facilitateur de l'interaction sociale à son caractère conflictuel. Cependant, pour être efficaces, les situations faisant appel au conflit sociocognitif doivent obliger les partenaires à résoudre le conflit non pas sur le plan relationnel (soumission sociale) mais sur le plan cognitif. Cela suppose un contrôle qu'il n'est pas toujours possible de réaliser en classe. En choisissant de laisser plus de place à la parole des élèves, nous cherchons non pas à développer des habiletés rhétoriques mais à favoriser la construction d'un savoir collectif.

■ **1.2. Prise en compte des conceptions des élèves dans des moments d'interactions orales entre élèves.**

Comme les élèves possèdent déjà des représentations sur les savoirs qui vont être traités en classe, le courant constructiviste s'appuie sur la prise en compte de ces idées préalables des élèves, qui vont être mises au travail au cours des séquences d'enseignement : « *La grande majorité des chercheurs en didactique des sciences se retrouvent pour dire que la question de l'apprentissage scientifique ne peut pas être uniquement réglée par la définition de ce qu'il faut apprendre, mais doit prendre en compte ce que les élèves savent déjà. Autrement dit, cet apprentissage ne se fait pas à partir de rien mais est le résultat de l'interaction entre ce qui est enseigné et les conceptions initiales. Les élèves ne doivent donc pas simplement acquérir des connaissances, mais changer de connaissances* » (Orange, 1993).

L'ancrage dans une telle conception de l'enseignement implique un changement de posture de l'enseignant qui n'occupe donc la place centrale lors d'une séance d'apprentissage, comme Astolfi l'explique : « *dans les courants de pensée actuels et selon les publications récentes, enseigner les sciences, c'est aider les élèves à construire leurs connaissances à l'occasion d'interactions didactiques. L'enseignant n'est plus celui qui transmet les connaissances sous une forme expositive, mais celui qui aide les élèves à en construire à l'occasion des interactions didactiques. Cette conception de l'enseignement nécessite de se centrer sur les idées des élèves (...). L'enseignant est un médiateur entre les élèves et le savoir. En ce sens, la communication dans la classe est trop souvent dialogale (se limitant à « faire participer » les élèves à un discours orienté par l'enseignant), quand elle devrait être plurimodale (intéressée à la participation de tous les acteurs sur des registres variés)* » (Astolfi, 2002).

Pour comprendre quels sont les savoirs construits par les élèves, nous allons nous appuyer sur les recherches en didactique des sciences qui ont montré le rôle des moments de débat scientifique en classe.

■ **1.3. La fonction didactique du débat scientifique et le rôle de l'enseignant**

Nous partageons le point de vue de Schneeberger qui estime que « *l'instauration en classe du débat scientifique nous paraît indispensable dans la mesure où la confrontation entre les élèves incite chacun à mettre en doute son point de vue et à le modifier. Le débat contribue à l'élaboration d'une communauté discursive scolaire au sein de laquelle les élèves vont pouvoir construire ensemble des savoirs* » (Schneeberger, 2002).

Orange explique aussi que « *les controverses qui se développent et les arguments des élèves ne sont pas simplement des moyens sur lesquels on s'appuie pour changer les*

conceptions individuelles : ils constituent les matières premières des raisons scientifiques que l'on veut voir se construire ! Chacune des controverses voit s'affronter des explications possibles, qui sont justifiées et contestées, ce qui va permettre à la classe d'identifier un certain nombre de contraintes qui n'étaient pas présentes dans la question de départ » (Orange, 1999). Mais comme le rappellent ces auteurs, le débat ne peut pas suffire à construire des connaissances, car l'intervention de l'enseignant reste déterminante dans la construction des situations proposées aux élèves et dans le pilotage des apprentissages des élèves.

Le type de débat que nous allons utiliser est celui décrit par Orange : « le but didactique des débats sur des idées explicatives des élèves n'est pas d'arriver à la "bonne solution". Car ce qui se joue dans ces débats, ce n'est pas ce qui est vrai et ce qui est faux, au sens où on pourrait le savoir en s'adressant immédiatement à un spécialiste, à un livre ou à l'enseignant. Il s'agit d'abord de se mettre d'accord sur ce qui, dans le fonctionnement des modèles proposés, est possible ou impossible, donc est contingent ou nécessaire. Autrement dit, l'enseignant qui régule ces débats ne doit pas chercher l'accord sur les solutions. Au contraire, pourrait-on dire. Ce point est important car la recherche, consciente ou non, qu'il pourrait faire d'un tel accord ne peut que le mettre en difficulté ou empêcher le débat » (Orange, 1997).

Le débat engendrera des interactions entre les élèves, durant lesquels ils vont être amenés à argumenter pour soutenir leurs opinions, ce qui aboutira à la construction d'un problème qui pourra ensuite être résolu. Meirieu précise que « tout l'effort de la pédagogie des situations-problèmes est d'organiser précisément l'interaction pour que, dans la résolution du problème, l'apprentissage s'effectue. Cela suppose que l'on s'assure, à la fois, de l'existence d'un problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre » (Meirieu, 1991).

Voyons maintenant comment nous pouvons analyser les débats en jeu pour déterminer les problèmes construits par les élèves.

■ 1.4. Du débat scientifique en classe au problème construit par les élèves

Pour identifier la construction de ce problème dans le débat, nous allons construire, comme le propose Orange, « une représentation des raisons que l'on y discute et de l'articulation des contraintes qui apparaissent. Cette schématisation s'appuie sur la distinction, introduite par Martinand (1986, 1992), entre registre empirique et registre des modèles, distinction qui est fondamentale pour la compréhension de la construction des problèmes scientifiques, si on admet que celle-ci se traduit par l'identification et l'articulation progressive de ces deux registres » (Orange, 2000). Le registre empirique contient toutes les interventions qui font référence à un élément observable, mesurable dans le problème travaillé. Le registre des modèles contient les interventions qui relèvent des idées explicatives. Cette articulation entre les éléments du registre empirique (identification de contraintes empiriques) et les éléments du registre du modèle (ou nécessités sur les modèles provoque une « ré-organisation du savoir » et constitue le sujet en rationalité en lui permettant d'accéder à « des principes de nécessité » (Bachelard, 1949/1998, p. 11). Les espaces de contraintes en jeu dans un débat scientifique représentent ces articulations entre le registre empirique, le registre des modèles à l'intérieur d'un registre explicatif qui

organise les façons de mettre en relation les éléments du registre empirique, celui du modèle et le type d'explication avancé.

2. Le recueil de données et le corpus

Notre intérêt s'est porté sur la partie « Reproduction sexuée et pérennité des espèces dans leur milieu ». Dans ce chapitre et d'après une analyse épistémologique du savoir en jeu (équipe de didactique des sciences, IUFM de Basse-Normandie, centre de St-Lô), la fécondation a été identifiée comme l'objectif d'apprentissage pour cette séquence. Lors de la deuxième séance sur la transmission de la vie chez l'Homme, nous avons réalisé avec deux classes de quatrième une évaluation diagnostique sur le thème de la reproduction sexuée. Nous présentons maintenant le dispositif mis en oeuvre dans les deux classes.

■ 2.1. L'évaluation diagnostique

Les élèves de la première classe de quatrième⁶⁸, les élèves doivent réaliser un schéma et un texte explicatif pour répondre aux questions suivantes : juste après le rapport sexuel entre le père et la mère, que se passe-t-il dans le ventre dans la mère ? Quel est l'élément à l'origine de l'enfant ? (Où est le bébé ?). Dans la seconde classe de quatrième⁶⁹, les élèves doivent dessiner ce qui permet, juste après un rapport sexuel, de former un embryon et écrire un texte explicatif dans lequel ils précisent ce qu'il se passe au moment de la formation de l'embryon (Où est l'embryon ? Qu'est-ce qui déclenche son développement ?). Dans les deux cas, nous avons laissé nos élèves en autonomie pendant une dizaine de minutes. Puis, les élèves sont passés nous voir, individuellement, au bureau afin de nous aider à préciser leur production.

■ 2.2. Le débat scientifique

À partir de l'analyse des productions des élèves, nous avons alors essayé de constituer des groupes homogènes, selon leur conception de la fécondation, ce qui a permis de former :

- dans la première classe de quatrième : 3 groupes « animalculistes », 1 groupe « oviste », et deux groupes « fécondationnistes » ;
- dans la seconde classe de quatrième : 2 groupes « animalculistes », 2 groupes « ovistes » et 1 groupe « fécondationniste ».

Dans chaque groupe, nous leur avons demandé de s'expliquer entre eux sur leur représentation puis de faire un schéma explicatif commun, sur une affiche. Ensuite un rapporteur de chaque groupe est venu expliquer le travail commun à toute la classe. Dans la première classe de quatrième, ce sont les groupes « animalculistes » qui ont commencé la présentation de leur affiche, puis les groupes « ovistes » pour terminer par les « fécondationnistes ». Dans la seconde classe de quatrième, il y a eu alternance des

⁶⁸ Classe de quatrième du collège Anne-Frank, Vassy (14). Classe de 22 élèves d'Aurélien Cadet.

⁶⁹ Classe de quatrième du collège Jean Moulin, Caen (14). Classe de 23 élèves de Caroline Tanqueray.

groupes « animalculistes » et « ovistes » pour terminer par les « fécondationnistes »⁷⁰. Il nous a semblé pertinent de commencer par ceux qui étaient les plus éloignés de la conception actuelle afin qu'ils ne soient pas influencés par les « fécondationnistes ». De ces présentations des affiches ont émergé un débat entre les élèves.

■ 2.3. Le corpus de données

Quarante trois productions individuelles ont été recueillies lors de l'évaluation diagnostique et seront analysées. Les deux débats ont été filmés et retranscrits. Le débat dans la première classe de quatrième d'une durée de 19 minutes contient 209 tours de parole. Celui dans la seconde classe de quatrième contient 109 tours de parole. C'est à partir des scripts des débats (présentés analysés en annexe 1 et 2) que nous allons déterminer les problèmes effectivement construits par les élèves des deux classes de quatrième. Ces sont ces données que nous allons maintenant analyser.

3. Analyse des données et discussion

■ 3.1. Analyse de l'évaluation diagnostique

• 3.1.1. Méthodologie de l'analyse des données

Pour analyser les productions des élèves, nous nous sommes appuyées sur une grille d'analyse construite à partir d'une analyse épistémologique du concept de fécondation. L'analyse est principalement construite à partir de l'origine du principe géniteur : soit le principe géniteur est fourni par l'un des deux parents, soit le principe géniteur provient des deux parents. Cela nous a conduit à distinguer trois types d'explication différentes.

La première est une conception animalculiste qui signifie que le père, seul, est à l'origine de la formation du bébé, le spermatozoïde contenant (en puissance ou en acte⁷¹) le bébé est dans le spermatozoïde. Les élèves mobilisant une explication de ce type produisent des écrits proches de celui présenté sur la figure 1. Dans ce type d'explication, c'est bien le spermatozoïde qui est, seul, à l'origine de l'embryon (« c'est la tête de spermatozoïde devenu embryon »). Pour la production d'élève présentée à la figure 1, il nous semble que l'élève est sur une conception de type animalculiste/épigéniste.

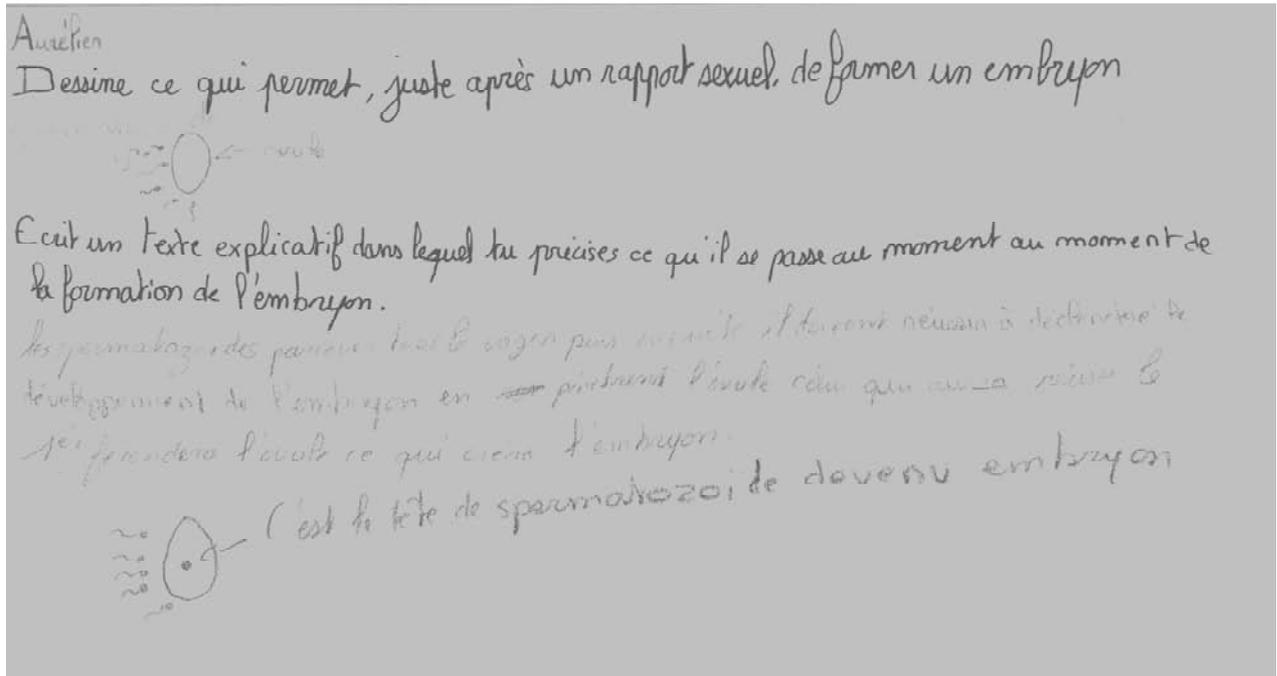
⁷⁰

Nous avons choisi d'alterner le passage des groupes « animalculistes », « ovistes », pour voir dynamiser le débat scientifique en faisant alterner des conceptions antagonistes.

⁷¹

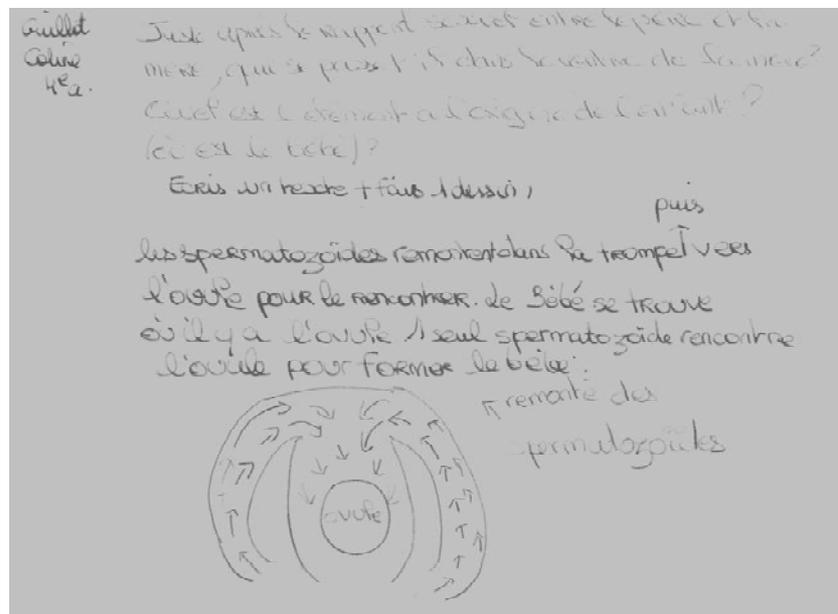
Soit le bébé est préformé dans le spermatozoïde et il n'aurait qu'à se développer, soit le spermatozoïde contient toute la matière nécessaire à la formation du futur bébé. Cette distinction renvoie à une seconde question qui est celle du développement du bébé en opposant une conception préformiste à une conception épigéniste du développement du bébé.

Figure 1. Une explication animalculiste/épigéniste produite par un élève de quatrième⁷²



La deuxième est une conception oviste qui signifie que la mère, seule, est à l'origine de la formation du bébé qui serait contenu dans (en puissance ou en acte) l'ovule. Le schéma présenté dans la figure 2 est typique des réponses produites par des élèves qui mobilisent ce type de conception.

Figure 2. Une explication oviste produite par un élève de quatrième⁷³



⁷²

« Les spermatozoïdes parcourent tout le vagin puis ensuite ils doivent réussir à déclencher le développement de l'embryon en pénétrant l'ovule celui qui aura réussi le 1er fécondera l'ovule ce qui créera l'embryon ». Sur le dessin, il ajoute : « c'est la tête de spermatozoïde devenu embryon ».

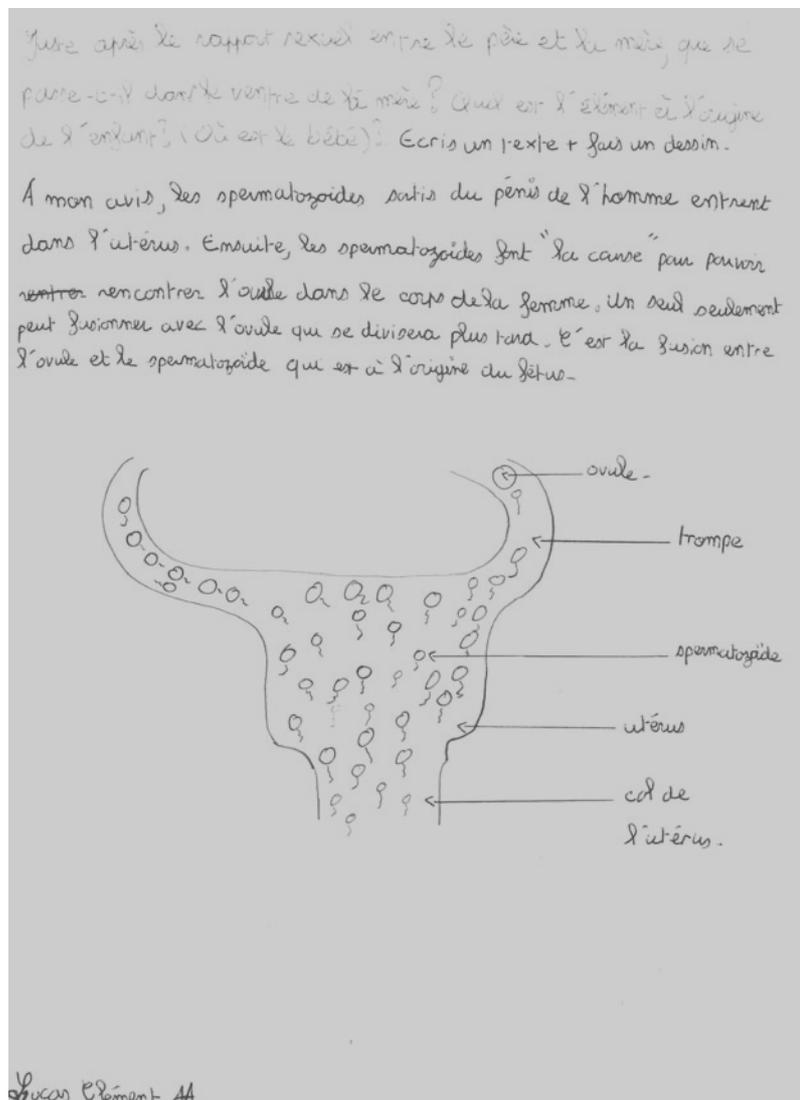
⁷³

« Les spermatozoïdes remontent dans la trompe puis vers l'ovule pour le rencontrer. Le bébé se trouve où il y a l'ovule. 1 seul spermatozoïde rencontre l'ovule pour former le bébé ».

L'interprétation de ce type de schéma n'est pas toujours simple car dans la phrase produite par l'élève : « Le bébé se trouve où il y a l'ovule. 1 seul spermatozoïde rencontre l'ovule pour former le bébé » n'est pas très explicite. En effet, nous avons considéré que la combinaison de ces deux phrases, pouvait nous laisser croire que le bébé est présent dans l'ovule et que c'est le moment de la rencontre qui déclenche le développement du bébé.

La dernière conception est une conception fécondationniste dans laquelle les deux parents fournissent chacun un élément à partir desquels le bébé va se former. Ce type de conception est obligatoire épigéniste. La conception actuelle de la fécondation postule que les deux gamètes apportent chacun 23 chromosomes qui vont après la caryogamie reformer une cellule-œuf avec un noyau à 46 chromosomes, cellule-œuf qui sera à la base du futur embryon. La figure 3 est représentative d'une explication d'élève mobilisant une conception fécondationniste de la fécondation.

Figure 3. Une explication fécondationniste produite par un élève de quatrième⁷⁴



⁷⁴

« À mon avis, les spermatozoïdes sortis du pénis de l'homme entrent dans l'utérus. Ensuite, les spermatozoïdes font "la course" pour pouvoir rencontrer l'ovule dans le corps de la femme. Un seul seulement peut fusionner avec l'ovule qui se divisera plus tard. C'est la fusion entre l'ovule et le spermatozoïde qui est à l'origine du fœtus ».

Dans cette production, les élèves attribuent un rôle symétrique aux deux gamètes dans la formation du bébé (« c'est la fusion entre l'ovule et le spermatozoïde qui est à l'origine du fœtus »).

- **3.1.2. Résultats et discussion**

Les résultats pour les deux classes sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Résultats de l'analyse de l'évaluation diagnostique dans les deux classes de quatrième sur le concept de la fécondation

Type de conception	Nombre d'élèves		
	première classe de quatrième	seconde classe de quatrième	total
Animalculiste	10	9	19
Oviste	3	9	12
Fécondationniste	7	5	12

Une part très importante des élèves (31/43) attribuent le principe géniteur à l'un des deux parents ce qui conforme aux résultats classiques obtenus dans des précédents travaux de didactique des SVT avec des élèves plus jeunes (Giordan). Parmi ces élèves, la plupart attribuent aux pères la fonction d'apport du principe géniteur, ce qui est également en adéquation avec les résultats présentés par Giordan qui précisait que les élèves les plus jeunes attribuait ce rôle à la mère et que des élèves plus âgés sont majoritairement animalculistes. Pour ce qui concerne les modalités du développement de l'embryon, il nous semble que la très grande majorité d'entre eux sont épigénistes.

Cette analyse nous permet également de justifier le choix fait de centrer les objectifs d'apprentissage de cette séance.

Ces résultats justifient le fait que ce concept de fécondation est au cœur de l'apprentissage de cette séquence car il s'agit bien de permettre de passer d'une conception animalculiste/oviste à une conception fécondationniste de la fécondation mais plus précisément de leur permettre de fonder en raison cette explication de type fécondationniste. Pour déterminer les problèmes construits par les élèves lors de la mise au travail de ces représentations, nous allons maintenant analyser le débat scientifique qui a eu lieu dans la première classe de quatrième.

- **3.2. Le problème construit par les élèves dans la première classe de quatrième**

- **3.2.1. Méthodologie d'analyse du débat**

Nous nous sommes attachés à définir l'espace des contraintes mises en jeu dans ces deux classes de quatrième. Pour cela, nous avons choisi de nous appuyer sur la méthode d'étude des débats proposées par Orange (2000), présentée succinctement dans la partie théorique.

Les débats filmés, puis retranscrits servent de support à l'analyse. L'unité d'analyse choisie est « l'intervention ». Seules les interventions des élèves sont prises en compte. Les interventions des enseignantes sont considérées uniquement comme des catalyseurs de débat. Bien que les interventions enseignantes sont très importantes, on leur donne le statut

d'éléments facilitateurs qui permet de se focaliser sur les raisons prises en charge par les élèves.

Nous avons classer les interventions des élèves selon les registres qu'elles mettent en jeu : registre empirique seul (RE), relation entre registre empirique et registre des modèles (RE-RM), registre des modèles seul (RM). À partir de cette première catégorisation, nous avons de comprendre comment ces éléments du registre empirique et du registre du modèle sont articulés entre eux pour permettre la construction des contraintes et des nécessités (Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007).

Pour mener à bien cette tâche, il a donc fallu un va-et-vient continu entre la retranscription et le visionnage du film pour situer, à chaque fois que le besoin se faisait sentir, les propos dans le contexte.

- 3.2.2. *Le problème construit par les élèves de la première classe de quatrième*

L'analyse complète du débat scientifique de la première classe de quatrième est présenté en annexe 1. Nous avons découpé le débat en trois parties que nous allons présenter maintenant.

La première partie du débat (1-32) correspond au début du débat scientifique où l'on observe une discussion autour de plusieurs définitions du mot fécondation proposées par les élèves sans que ces définitions soient vraiment soumises à la critique des autres (moi je pense ça, moi je pense que c'est plutôt ça). On voit poindre des désaccords entre ceux qui pensent que la fécondation est une rencontre entre l'ovule et le spermatozoïde et ceux qui parlent d'une fusion de l'ovule et du spermatozoïde, mais cette controverse n'est pas thématifiée par les enseignantes. Par contre, on voit bien que pour les élèves, les deux gamètes sont nécessaires à la formation du bébé et que cela ne sera jamais mis en doute au cours de ce débat. Nous pensons qu'il s'agit d'une contrainte théorique déjà identifiée dans une étude précédente (Beorchia & Lhoste, 2007), celle d'une « *participation des deux gamètes pour former le bébé* » (CT1). Nous avons interprété la mobilisation de cette contrainte théorique de la façon suivante : « *il nous semble que cette contrainte théorique pourrait correspondre à une nécessité antérieurement construite par les élèves qui, ensuite, aurait été stabilisée pour devenir une contrainte théorique. Il est possible que la nécessité d'une participation des deux gamètes à la formation du bébé ait été préalablement construite (comme dans le cas des problématisations à l'école) par articulation avec une contrainte empirique : "il faut un papa et une maman pour faire un bébé"* » (Beorchia & Lhoste, 2007). Il est intéressant de noter que cette mise en relation sera explicitée dans ce débat par Jim en 104 dans la troisième partie du débat : « Et en même temps si y a pas d'ovule ... si y a qu'un spermatozoïde et qu'un ovule, y a rien. Et si y a qu'un ovule et qu'il y a pas de spermatozoïde y a rien non plus ».

La deuxième partie du débat (33-93) permet le développement d'un modèle animalculiste de la fécondation. En plus de la contrainte théorique précédente (CT1), les élèves s'appuient sur une nouvelle contrainte théorique pour construire d'autres contraintes et d'autres nécessités : « c'est le père qui fournit le principe géniteur » (CT2). Nous allons maintenant expliciter quelques articulations entre contraintes et nécessités qui nous ont permis d'établir en quoi les éléments du RE et du RM ont pris le statut de contrainte ou de nécessité. La contrainte empirique que « le bébé grandit, grossit dans le ventre de la

maman » (CE1) est en relation avec la « nécessité que chaque gamète joue un rôle dans la formation du bébé » (CM1). Voyons comment ces mises en relation sont construites à partir de quelques extraits du corpus (extrait 1).

Extrait 1

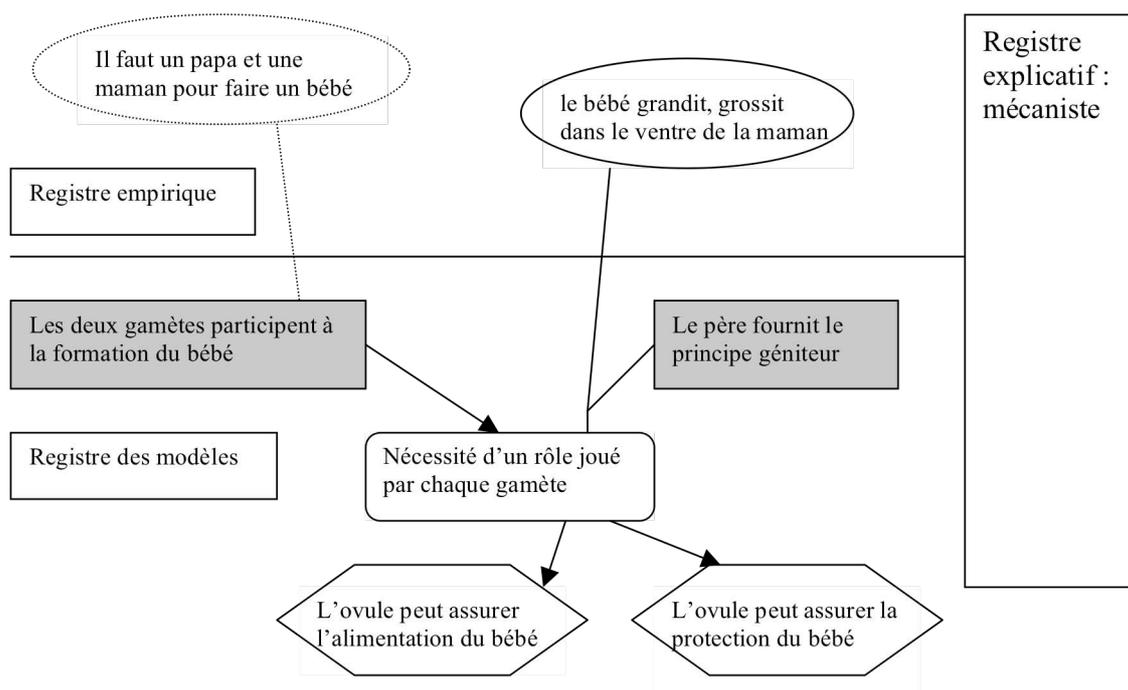
51	Camille	Le bébé, c'est le spermatozoïde
52	P2	Alors il sert à quoi l'ovule ?
60	Maëva	Le spermatozoïde c'est le bébé et l'ovule, c'est ce qui va servir à alimenter le bébé.

On voit bien que Camille expose une conception animalculiste de la fécondation, où le principe géniteur est fourni par le père (CT2). Comme les élèves savent que le bébé se développe dans le ventre de la mère (CE1) et que les deux gamètes participent à la formation du bébé (CT1), cela oblige à attribuer un rôle à l'ovule (CM1), selon le raisonnement sous-entendu par l'enseignante en 52 et explicité plus loin dans le débat par Jonathan en 86: « L'ovule il est pas là pour décorer, faut bien qu'il serve à quelque chose ».

Dans ce débat, les élèves attribuent à l'ovule un rôle dans la protection et l'alimentation du bébé qui sont présentés comme des rôles possibles pour l'ovule puisque le bébé grandit et grossit et qu'il se développe à l'intérieur du ventre de la mère dans une « petite maison » (Jérémy en 69). Nous retrouvons ici, un mécanisme que nous avons déjà décrit dans une autre étude sur le même thème (Beorchia & Lhoste, 2007). La question que nous nous posons ici concerne le caractère ou non de nécessité que l'on attribue à la protection et à l'alimentation du bébé puisque les raisonnements développés sont très peu explicites et qu'ils reposent sur des savoirs partagés par les élèves : ainsi l'idée d'une protection du bébé, entendue dans un sens large (protection physique et alimentation du bébé) correspond-elle ou non à une nécessité ? Compte tenu de l'avancée de nos travaux (Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007), nous proposons que cette idée d'une protection du bébé ne correspond pas à une nécessité au sens d'une construction qui permet l'accès à un savoir apodictique mais qu'il s'agit plutôt de ce nous avons appelé une nécessité fonctionnelle qui relève de la modalité l'assertorique (ici l'ovule assure la protection et l'alimentation du bébé mais il aurait pu également jouer un autre rôle).

Ce sont des possibles par rapport à l'idée de protection du bébé qui sont présentés et discutés dans la suite du débat (69-93). Cela nous conduit à construire un premier espace de contraintes présenté figure 4 pour ce premier long échange entre les élèves (33-93).

Figure 4. Espace de contraintes en jeu dans la discussion (1-93) d'un modèle animalculiste de la fécondation dans la première classe de quatrième



La troisième partie du débat (95-209) soumet ce premier modèle à la critique et permet de construire le problème de la fécondation d'une autre façon.

La première critique émise contre le modèle animalculiste de la fécondation a lieu dans la seconde partie du débat (Landry en 77 : « Moi, je pensais plutôt que c'était l'ovule et le spermatozoïde qui formaient à eux deux l'enfant »). Selon lui, l'enfant ne peut pas venir uniquement du père. Dans cette intervention, nous pouvons supposer que Landry attribue un rôle identique aux deux parents par rapport à la constitution du bébé en soumettant l'idée d'une union des gamètes mais l'argumentation qui permettra de construire les contraintes et les nécessités est développée par Clément en 95 : « Moi, je pense que l'ovule, euh, c'est, euh, c'est comment... c'est la rencontre entre le spermatozoïde et l'ovule qui fait le bébé parce que sinon y aurait, dans l'homme ... des bébés si le spermatozoïde c'est le bébé ».

Clément établit l'impossibilité d'un principe géniteur uniquement dans le spermatozoïde, par un raisonnement par l'absurde que nous tentons de modéliser ci dessous :

SI A : « il y avait un principe géniteur uniquement dans le spermatozoïde » ;

ALORS B : « les hommes pourraient porter des bébés ».

OR NON-B (le bébé se développe dans le ventre de la maman) **donc NON-A**.

En creux, il nous semble que Clément relie ici la nécessité d'une union des gamètes (CM2) à la contrainte empirique que le bébé se développe dans le ventre de la maman (CE1) et au fait que les deux gamètes participent à la formation du bébé (CT1). Ce raisonnement par l'absurde qui vise à montrer l'impossibilité de l'animalculisme est réutilisé par Jonathan (extrait 2)

Extrait 2

104	Jim	Et en même temps si y a pas d'ovule ... si y a qu'un spermatozoïde et qu'un ovule, y a rien. Et si y a qu'un ovule et qu'il y a pas de spermatozoïde y a rien non plus. Donc moi je serai plus d'accord avec Clément. C'est les deux qui forment... les deux choses réunies qui forment une.
105	P	Jonathan.
106	Jonathan	Oui parce que sinon, il ferait chacun de leur côté, l'homme aurait un enfant, la femme aurait un enfant et XXX (agitation)

La nécessité d'une union des gamètes est construite en montrant l'impossibilité d'un principe géniteur uniquement fourni par le père et par la mère : SI A : « le principe géniteur est uniquement dans l'ovule ou dans le spermatozoïde », ALORS B : « la maman ou le papa pourraient faire un bébé tout seul ». Or on sait bien qu'il faut un papa et une maman pour faire un bébé (contrainte empirique non explicitée mais qui appartient à la culture partagée des élèves : CE2), NON-B donc NON-A.

Ces deux raisonnements successifs permettent de préciser la première nécessité que nous avons présenté dans la deuxième partie du corpus. Dans la partie précédente du débat, la nécessité était la suivante : « nécessité d'un rôle joué par chaque gamète dans la formation de l'enfant », les rôles respectifs des différents gamètes pouvant être très différents. Ici, cette nécessité se précise et l'on voit que le rôle attribué aux gamètes devient équivalent pour la formation du bébé (le spermatozoïde et l'ovule ont le même rôle) ceci en relation avec la nécessité d'une union des deux gamètes. Il nous semble donc qu'ici les élèves de cette classe de quatrième sont en train de construire le concept de fécondation.

Cette construction du concept de fécondation s'appuie également sur la présentation d'une nouvelle contrainte empirique dont nous allons montrer la construction (extrait 3).

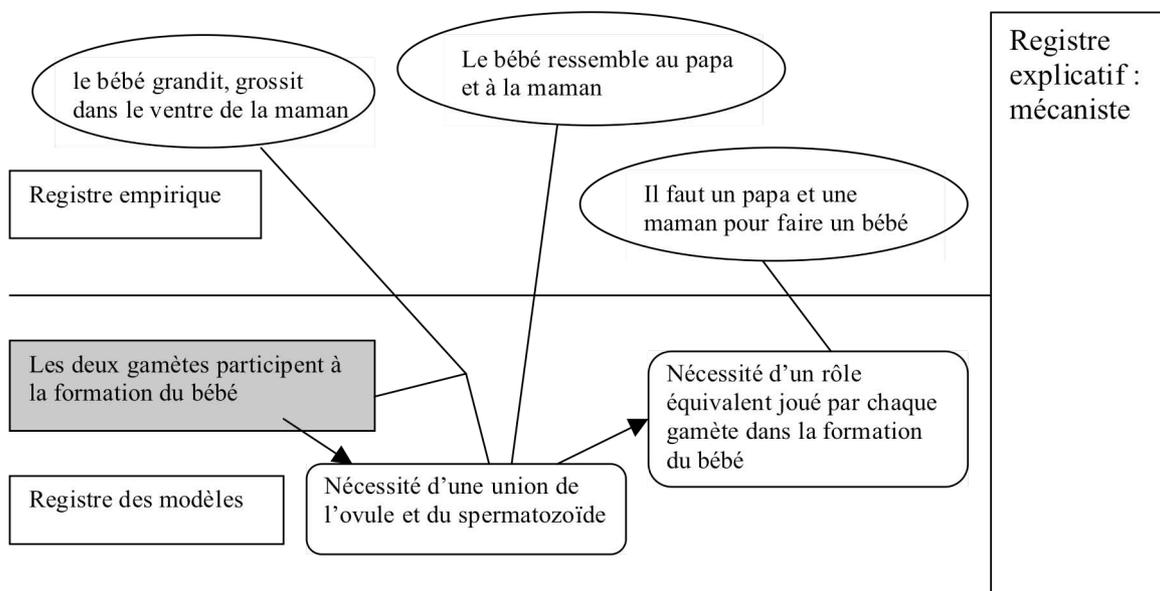
Extrait 3

165	Maëva	Et ben, c'est la fécondation. C'est ça la fécondation.
166	Clément	Bah oui, y a contact (même mouvement)
167	Jonathan	Y a contact, y a joignage.
168	Maëva	Y a joignage (rires)
169	Jonathan	Y fusion.
170	E ?	Y a mélange
171	Maëva	Voilà, y a fusion.
172	P	Maëva, t'es d'accord ? y a fusion ?
173	Maëva	Hein ?
174	P	Y a mélange ?
175	Maëva	Enfin oui... d'un côté, bah oui parce que...
176	P	Dis Maëva. Parce que ?
177	Maëva	Ben... Parce que c'est euh y a ... après le bébé, il va avoir les gènes de la mère et du père.

On voit que dans cet extrait, c'est la contrainte empirique d'une ressemblance du bébé au père et à la mère (Maëva,177) qui est mise en relation avec la nécessité d'une union d'une union des gamètes (« Y a joignage » en 167 et 168). Nous interprétons le « il va avoir les gènes de la mère et du père » comme une référence explicite aux caractères du père et de la mère car il nous semble que pour ces élèves les gènes et les caractères de l'individu sont liés.

Voyons à présent comment le concept de fécondation a été construit par les élèves quatrième à ce moment du débat (figure 5).

Figure 5. Espace de contraintes en jeu dans la discussion (94-209) du concept de fécondation dans la première classe de quatrième



Le concept de fécondation nous semble construit au cours de ce débat par plusieurs élèves et nous pensons que la contrainte forte d'une ressemblance du bébé aux deux parents et l'impossibilité pour l'un des deux parents seul à faire un bébé va permettre aux élèves de stabiliser la nécessité d'un rôle équivalent de chaque gamète dans la formation du bébé. Mais plusieurs élèves, comme Maëva ou Camille (interventions 191, 204, 207), reprennent le modèle animalculiste en l'adaptant aux nouvelles contraintes explicitées ci-dessus. Comme le dit un élève en 204 et 207, le bébé est dans le spermatozoïde (qui contient les gènes du père). La ressemblance à la mère est expliquée par le fait que le futur bébé est « alimenté par la mère », par le « cordon ombilical », ce qui permet la transmission des gènes/caractères.

■ 3.3. Discussion

Plusieurs points méritent d'être discuté plus avant dans ce débat.

Le premier point concerne la façon dont les élèves construisent les contraintes et les nécessités dans ce débat. Il développe des raisonnements par l'absurde que nous avons déjà identifiés par ailleurs (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009). Ici ce mode de raisonnement : « si A , alors B ; or non B donc non- A » est utilisé à plusieurs reprises par trois élèves (Jim en 104 ; Jonathan en 106, 124, 192, ; Clément en 116). Il permet de construire une relation entre la contrainte qu'il faut deux parents pour faire un bébé et deux nécessités : celle d'un rôle équivalent des deux gamètes dans la formation du bébé et celle d'une union de l'ovule et du spermatozoïde. C'est le seul raisonnement logique qui est développé par les élèves. Les autres raisonnements qui assurent la construction des contraintes et des nécessités ne sont pas construits dans le cadre d'une certaine logique

formelle, mais font appel à des mises en relation entre certains observables et certaines idées.

Le second point qui nous semble mis en évidence dans ce premier débat concerne la dimension d'obstacle à la construction du concept de fécondation par le modèle animalculiste. En effet, malgré l'explicitation par Jim et Jonathan de deux raisonnements par l'absurde qui établissent l'impossibilité du modèle animalculiste, Maëva reprend ce modèle en 108 : « Moi, ce que je dis, c'est que au départ, l'enfant c'est quand même bien le spermatozoïde au départ » qui sera ensuite adapté aux nouvelles contraintes apparues dans le débat et notamment celle de la ressemblance du bébé aux deux parents. Le modèle animalculiste fonctionne bien comme un obstacle car c'est un modèle simple d'explication qui est relativement satisfaisant compte tenu du problème traité par les élèves (économie cognitive). De plus, il doit avoir une composante affective forte compte tenu du thème abordé. Enfin, il s'appuie sur l'idée commune que c'est le papa qui donne « une petite graine » à la maman. Le modèle animalculiste joue un rôle d'obstacle à la construction du concept de fécondation, d'autant plus que les élèves de quatrième ne sont pas encore familiers des raisonnements qui portent sur les différents niveaux d'organisation et sur les liens gènes/caractères.

Le dernier point qui nous semble intéressant concerne l'évolution et la polysémie possible des termes employés par les élèves pour désigner la relation entre l'ovule et la spermatozoïde. De fait, si tous les élèves sont d'accord pour dire que le spermatozoïde féconde l'ovule, les élèves n'expliquent pas exactement ce qu'ils entendent derrière le mot fécondation. Le tableau 2 présente les différents termes employés par les élèves pour désigner les relations entre ovule et spermatozoïde.

Tableau 2. Termes employés par les élèves pour désigner les relations entre ovule et spermatozoïde au cours du premier débat

5	Jim	FUSION
7	Camille	RENCONTRE
8	Emilie	VA DANS L'OVULE
11	Romain	FUSION
15	Romain	MELANGE
17	Wilfrid	RENCONTRE
19	Romain	FUSION - RENTRE DANS - MELANGE
25	Amandine	RENCONTRE
31	Amandine	MELANGE
34	Emilie	RENCONTRE
36	Emilie	RENCONTRE
46	Wilfrid	DANS L'OVULE
47	Valérian	RENCONTRE
55	Coline	DEUX ENSEMBLE
57	Emilie	DANS L'OVULE
74	E ?	DANS L'OVULE
95	Clément	RENCONTRE
117	E ?	ENSEMBLE
122	Jonathan	LES DEUX
129	Jonathan	RENTRE DANS
143	Jonathan	RENTRE DANS
145	Maëva	RENTRE DANS
158	A	RENCONTRE - FUSION - RENCONTRE

161	Clément	RENCONTRE
162	Jonathan	SE JOIGNENT
163	Maëva	RENTRE DANS
166	Clément	CONTACT
167	Jonathan	CONTACT – « JOIGNAGE »
168	Maëva	« JOIGNAGE »
171	Maëva	FUSION
209	Clément	MELANGE des gènes

Ce flou au niveau lexical rend très polysémique une phrase comme les deux gamètes jouent un rôle dans la formation du bébé. Pour certains élèves, les deux rôles sont dissymétriques, le spermatozoïde contenant le futur bébé en puissance et l'ovule assurant la protection et l'alimentation du bébé alors que pour d'autres élèves les deux gamètes ont un rôle équivalent dans la formation du bébé. C'est très net dans le débat que nous venons d'analyser avec Maëva qui malgré les arguments de Jim et de Clément et certaines de ces interventions (en 168, elle parle de «joignage») finit par bricoler son modèle animalculiste de la formation du bébé. Pendant le débat, ce flou lexical peut donner l'impression que tous les élèves sont d'accord alors qu'ils développent des modèles différents. Pour aider à pointer les désaccords entre élèves, il conviendrait, sans doute, que l'enseignant fasse expliciter le rôle que les élèves attribuent à chacun des gamètes et thématise davantage des désaccords. Il convient également de noter le rôle du non-verbal qui accompagne les termes employés par les élèves. Ainsi lorsque les élèves parlent de fusion pour désigner ce qui arrive aux deux gamètes, ils accompagnent ce mot d'une intrication des doigts des deux mains pour rendre compte de ce qu'ils veulent dire.

Bibliographie

- Astolfi J.-P. (2002). L'œil, la main, la tête. *Cahier pédagogique*, n° 409, p. 15-18.
- Bachelard G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Beorchia F. & Lhoste Y. (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherche en éducation*, n° 3, p. 29-50. Disponible sur Internet : <http://www.crenantes.net/spip.php?article61> (consulté le 18 mai 2008).
- Fabre M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- Lhoste Y., Peterfalvi B. & Orange C. (2007). Problématisation et construction de savoirs en SVT : quelques questions méthodologiques et théoriques. *Actes du Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation*. AREF, Strasbourg, 28-31 août 2007. Disponible sur Internet : http://www.congresintaref.org/acte_cd.php?act=show&cont_id=300 (consulté le 18 mai 2008).
- Meirieu P. (1991). *Apprendre...oui, mais comment ?* Paris : ESF Editeur.
- Orange C. (1993). Repères épistémologiques pour une didactique du problème. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 4-5, p. 33-49.
- Orange C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C., (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer des représentations ou construire des raisons ? *Actes des premières journées*

scientifiques de l'ARDIST, Cachan.

Orange C., Lhoste Y. & Orange-Ravachol D. (2009). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin. *L'argumentation dans l'apprentissage des sciences*. Lyon : INRP.

Schneeberger P. (2001). *Fonctions des langages dans les apprentissages scientifiques : bilan et perspectives de recherche et de formation*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches non publiée, université de Nantes, Nantes.

Schneeberger P. (2002). Des controverses scientifiques en CE2. *Les Cahiers Pédagogiques*, n°401.

Annexe 1. Analyse du débat scientifique dans la première classe de quatrième

N° Intervention	Intervenant	Contraintes construites	Catégorisation	
1	Jim		RMf	Les spermatozoïdes se dirigent vers l'ovule et des fois ils se trompent de chemin et c'est pas la bonne trompe, et, ... y a des spermatozoïdes qui meurent parce qu'ils sont trop fatigués. Une fois qu'il y a un spermatozoïde qui rentre dans l'ovule, il y a une sorte de, ..., ça crée un truc dur, il devient tout dur (fait un geste englobant) et les autres petits spermatozoïdes ils peuvent plus entrer dans l'ovule. Et ensuite, ça forme un embryon, enfin je sais pas trop.
2	Prof			Il est où le bébé au départ ?
3	Jim	CE1:Le bébé grandit, grossit dans le ventre de la maman CM1: Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Ah oui, après l'ovule, enfin, il va revenir au milieu de, de ..., de l'appareil reproductrice féminin.
4	Prof			Et, il est où le bébé au départ alors ?
5	Jim		RMf	Bah, c'est un des spermatozoïdes et ... il va entrer dans l'ovule et il y a fusion entre l'ovule et le spermatozoïde.
6	Prof			Et les autres vous êtes d'accord ?
7	Camille		RMf	Au départ les spermatozoïde arrivent, ils essayent de trouver l'ovule. Quand il rencontre l'ovule ça s'appelle la fécondation.
8	Emilie		RMf	La fécondation alors c'est l'ovule plus un spermatozoïde. Le spermatozoïde va dans l'ovule et bah, le spermatozoïde, en fait, c'est le bébé.
9	Prof			Vous êtes d'accord ?
10				Oui, ... Brouhahah.
11	Romain		RMf	Relit la question. Nous en avons un représenté, donc voici un zoom sur la trompe. Donc voici l'ovule et le spermatozoïde. Donc La fusion entre l'ovule et le spermatozoïde forme le bébé.
12	P2			J'ai une question ? C'est quoi fusion, c'est un mot que je connais pas.
13	Romain			C'est la fécondation.
14	P2			Si tu emploies des mots que je ne connais pas. Si moi, je ne suis pas biologiste, comment tu expliquerais avec tes mots, des mots simples ?
15	Romain		RMf	C'est le mélange un petit peu... c'est
16	P2			D'accord, c'est déjà un mot, vous connaissez tous mélange, est-ce que tout le monde connaissait bien fusion, fécondation, c'est pas des mots qu'on utilise tous les jours, quoi. Euh, donc les deux du groupe, vous êtes d'accord sur le mot mélange, fusion du spermatozoïde et de l'ovule, cela veut dire mélange.
17	Wilfrid		RMf	C'est la rencontre donc ... Enfin, je sais pas ...
18	Valérian			Si, si c'est ça.
19	Romain		RMf	On peut dire que la fécondation c'est

				comme la fusion, ..., c'est le spermatozoïde qui rentre dans l'ovule, ça créait un certain ... mélange (il se pétri les mains)
20	P2			Mélange, d'accord, ceci dit c'est la première fois qu'on entend mélange, parce que tout à l'heure, ou fusion ou ... si on emploie les mots plus scientifiques. Les deux groupes d'avant n'ont pas parlé de mélange ou de fusion.
21	Romain			Non, ils n'ont pas parlé de fusion.
22	P2			Bah alors, ils ont dit quoi ?
23	Romain			La fécondation
24	P2			Donc est-ce que les autres vous êtes d'accord sur la définition fécondation, parce que les autres groupes qui ont marqué fécondation, ça veut dire quoi ? C'est les filles.
25	Amandine		RMf	Bah, c'est la rencontre entre l'ovule et le spermatozoïde.
26	P2			D'accord et donc comme le bébé est dans le spermatozoïde, quand ça se rencontre, ça se déclenche, vous avez dit aussi quand le spermatozoïde il remonte, il y a le bébé et puis les deux se rencontrent c'est ce que vous avez dit tout à l'heure ou j'ai mal compris ?
27	P			Allez-y
28	P2			C'est peut être moi qui est mal compris.
29	P			Allez-y
30	P2			Ce que disent les garçons, vous êtes entièrement d'accord avec ?
31	Amandine		RMf	Bah, c'est pas vraiment un mélange.
32	P2			C'est pour ça que je vous demande de définir bien bien ce que c'est
33	P			Alors c'est quoi pour vous les filles ?
34	Emilie		RMf	C'est une rencontre.
35	P			C'est une rencontre, ..., c'est qui qui rencontre.
36	Emilie		RMf	C'est les spermatozoïdes qui rencontrent l'ovule
37	P			Et le bébé il est où là dedans ?
38	Emilie et Camille		RMf	Ben, c'est le spermatozoïde.
39	P			Redit le bébé il est où ?
40	Emilie			Le spermatozoïde
41	P			Tout le monde est d'accord ?
42	Elèves			Non...
43	P			Bah je sais pas moi ?
44				Brouhaha
45	Wilfrid			Le bébé ...
46	Wilfrid		RMf	Le bébé, c'est quand le spermatozoïde est dans le ... dans l'ovule.
47	Valérian		RMf	C'est la rencontre entre l'ovule et le spermatozoïde.
48	P			Attendez !
49	Wilfrid		RMf	C'est le bébé, c'est l'ovule.
50	P			Bah dit ce que tu penses, on s'en fou de ce qui est bon.
51	Camille			Le bébé, c'est le spermatozoïde
52	P2			Alors il sert à quoi l'ovule ?
53	Elève			bah oui dans ce cas là
54				Brouhaha (ovule, à former le bébé, à faire des enfants)
55	Coline		RMf	Le bébé, moi je dis que c'est les deux

				ensemble et quand tout est ... (ouverture des mains)
56	P			Camille, Amandine et Emilie, elles ne sont pas d'accord.
57	Emilie		RMf	Ben si, c'est quand le spermatozoïde il est dans l'ovule que après ça forme le bébé.
58	Coline		RMf	Parce qu'avant c'est pas un bébé.
59	P			Ben, je ne sais pas. Maëva.
60	Maëva	CE1:Le bébé grandit, grossit dans le ventre de la maman CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète CM2 : Nécessité d'une alimentation du bébé	RE/RMf	Le spermatozoïde c'est le bébé et l'ovule c'est ce qui va servir à alimenter le bébé.
61	P			Vous êtes d'accord ?
62	P			Bah, je sais pas, ceux qui sont pas d'accord, dites pourquoi vous êtes pas d'accord.
63	Wilfrid		RMf	C'est aussi que l'ovule, en fait, c'est la moitié du bébé et que le spermatozoïde c'est la moitié du bébé.
64	P			Tu dis pas ça ?
65	Maëva			Bah non.
66	P			Pour toi ?
67	Maëva		RMf	Bah, c'est ... c'est ce qui sert, comme dit Jérémy, de maison
68	P			Pour toi, l'ovule, Jérémy, ben dis Jérémy !
69	Jérémy	CE1:Le bébé grandit, grossit dans le ventre de la maman CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé CM2 : Nécessité d'une alimentation du bébé	RE/RMf	C'est une petite maison, ben, pour le temps qu'il se forme
70	P			Et, il est où le bébé alors ?
71	Jérémy	CE1 : Le bébé grandit, grossit dans le ventre de la maman	RE	Ben dans la maison
72	P			C'est-à-dire ?
73	Autre E			C'est le sperme.
74	E		RMf	Le bébé, c'est le spermatozoïde, après il va dans l'ovule
75	P2			D'accord ?
76	P			Tout le monde est d'accord ? C'est sa maison qui l'alimente. Wilfried, tu fais une drôle de tête Wilfried, tu deviens blanc. Et Landry, t'es d'accord ? Nan, y dit pas ce qu'il pense, il dit oui pour faire plaisir. Dis ce que tu penses Landry. On s'en fou si c'est faux, ce qui est faux vous savez pas de toute façon. Donc on sait pas qui a raison, qui a tort.
77	Landry	CM4 : Nécessité d'une union des gamètes	RMc	Moi, je pensais plutôt que c'était l'ovule et le spermatozoïde qui formaient à eux deux l'enfant
78	Elèves			Ouai...

79	P			Donc y a pas une histoire de maison ou de bébé qui est dans le spermatozoïde
80	E			Nan
81	P2			Et pourquoi tu dis ça ? Pourquoi vous vous dites ça et les autres ils ont dit parce que l'ovule c'est juste une maison et ils nous ont donné des pistes (P : des arguments), nous on aurait plus tendance à les croire eux puisque ..., ça paraît logique si on y réfléchit peut être, alors essayez de dire pourquoi vous pensez ça vous
82	P2			Qu'est-ce qui te fait dire qu'il faut les deux, que y a les deux qui se mélangent, même d'autres si y en a d'autres qui ont fait la même chose, qui pensent la même chose.
83	Jérémy	CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RMc	Pourquoi alors l'ovule accepterait un spermatozoïde et pas d'autres ?
84	Landry		RMf	Parce que c'est le plus solide.
85	P			Jonathan .
86	Jonathan	CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé	RMc	L'ovule il est pas là pour décorer, faut bien qu'il serve à quelque chose et ... ça peut pas être sa petite maison comme dit Jérémy puisqu'il est recouvert après d'autre chose qui va les protéger tous les deux. Si ils sont protégés tous les deux...
87	P			Coline.
88	Coline	CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé	RMc	A la fin y a pu d'ovule en fait, le bébé il est plus dans l'ovule à la fin quand il est..., comme c'est presque à la fin en fait.
89	Maëva	CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé	RMc	Nan, c'est parce qu'il est formé
90	Coline	CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé	RMc	Bah alors il y a plus d'ovule, c'est pas la maison alors.
91	Maëva	CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé	RMc	Oui mais, justement ça lui sert de formation
92	Coline			Donc, c'est pas la maison.
93	Maëva (+ Jérémy)	CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète CM 3 : Nécessité d'une protection du bébé	RMc	Oui, mais c'est un truc ..., voilà, c'est temporaire.
94	P			Clément.
95	Clément	CE1 : Le bébé grandit, grossit dans le ventre de la maman CM 4 : Nécessité	RE/RMc	Moi, je pense que l'ovule, euh, c'est, euh, c'est comment... c'est la rencontre entre le spermatozoïde et l'ovule qui fait le bébé parce que sinon y aurait, dans l'homme ... des bébés si le spermatozoïde c'est le

		de l'union des gamètes		bébé.
96	P			Ca c'est pas mal
97	Clément			Ca c'est un bon argument
98	P2			Qu'est-ce qu'on dit après ?
99	P			Là, là tu m'as scotché, moi j'pensais plutôt que Jérémy et Camille avait raison mais là je suis un peu embêté.
100	P2			Là, c'est pas mal comme argument.
101				Agitation
102	Maëva			Faut qu'on trouve quelque chose. Attends je réfléchis.
103	P			Jim
104	Jim	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMc	Et en même temps si y a pas d'ovule ... si y a qu'un spermatozoïde et qu'un ovule, y a rien. Et si y a qu'un ovule et qu'il y a pas de spermatozoïde y a rien non plus. Donc moi je serai plus d'accord avec Clément. C'est les deux qui forment... les deux choses réunies qui forment une.
105	P			Jonathan.
106	Jonathan	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMc	Oui parce que sinon, il ferait chacun de leur côté, l'homme aurait un enfant, la femme aurait un enfant et XXX (agitation)
107	P			Pas bête Maëva.
108	Maëva		RMf	Moi, ce que je dis, c'est que au départ, l'enfant c'est quand même bien le spermatozoïde au départ.
109	P			Pourquoi ?
110	P2			Là, ça contrebalance pas trop
111	P			Bah oui, tu dis pas pourquoi. Je veux bien te croire moi, moi je veux bien croire celui que me fera plus... qui me convaincra le plus
112	Maëva	CM1 : Nécessité d'un rôle par chaque gamète	RMc	Parce que c'est lui qui cherche l'ovule.
113	Eleves			XXX
114	P			Emilie.
115	Emilie	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM 1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMc	Bah sans spermatozoïde y a pas d'enfants
116	Clément	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMc	Sans ovule, y a pas d'enfant non plus ... Puisque l'Homme il a pas d'ovule, c'est pour ça que y fait pas d'enfant
117	E ?	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un	RE	C'est pour ça qu'ils sont ensemble en fait

		papa et une maman		
118				XXX
119	P2			Pas tous en même temps.
120	P			Marion.
121	Marion	CM1: Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RMc	Le spermatozoïde, c'est le bébé et pour le former il faut l'ovule. Pour que le bébé se forme, il se forme ...
122	Jonathan	CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RMc	C'est les deux
123	Marion	CM 1: Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RMc	Il se forme avec l'ovule.
124	Jonathan	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMc	Si le spermatozoïde c'est l'enfant, l'homme il pourrait faire ça quand il veut.
125	Es			C'est clair
126	P			Bah ouai, je suis d'accord.
127	Jérémy			Non
128	P			Pourquoi non ? Ah bah Jérémy, il faut que tu argumentes, pourquoi non ?
129	Jonathan	CE1 : Le bébé grandit, grossit dans le ventre de sa maman CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMf	Bah, euh, au début le spermatozoïde ils rentrent dans le, le vagin de la femme, après ça passe dans l'utérus. L'ovule il sort d'un des ovaires et puis bah les spermatozoïdes ils cherchent l'ovule pour qu'il y en ait un qui rentre dedans. Donc après il y en a qu'un qui peut rentrer dedans. Donc, alors, on appelle ça la fécondation. Donc après il y a le bébé qui se forme.
130	P			Donc le bébé, il est où ?
131	P2			Donc t'es d'accord avec qui là ?
132	Jonathan		RMd	Moi, je dis, euh... dans l'ovule
133	P			Tu penses que le bébé, il est plutôt dans le spermatozoïde ou c'est la fusion des deux.
134	P2			Ou dans l'ovule, toi tu dis qu'il est dans l'ovule déjà ?
135	Jonathan		RMd	Bah plus dans l'ovule que dans le spermatozoïde
136	P2			Ah d'accord.
137	P			Et Jonathan, il dit carrément autre chose, il dit carrément que le bébé au départ, il est dans l'ovule.
138	P2			Il est déjà là en fait.
139				XXX
140	P2			Ah, nan. Exprime toi bien alors.
141	Jonathan		RMc	Nan, dans les deux. Mais par exemple, s'il y a des jumeaux, y a deux bébés mais y a quand même qu'un spermatozoïde qui rentre, donc c'est l'ovule qui se sépare en deux. Donc je pense que ce serait plus l'ovule qu'apporterait le bébé.
142	P2			Ah, écoutez là ce qu'il a dit Jonathan parce que, c'est pas idiot du tout, réexplique nous ton idée des jumeaux là.

143	Jonathan		RMc	Je dirai un peu plus... Je dis les deux, mais un peu plus l'ovule, parce que quand y a des jumeaux qui naissent, y a qu'un spermatozoïde qui rentre dans l'ovule mais y a deux bébés, donc c'est l'ovule qui se sépare en deux.
144				XXX
145	Maëva		RMc	C'est deux spermatozoïdes qui rentrent dans l'ovule.
146				XXX Nan, c'en est qu'un XXX
147	P2			Ca dépend les faux ou les vrais.
148				XXX
149	P			Si c'est des vrais, y en a qu'un. Si c'est des faux, y en a deux.
150	P2			Ouai, ça existe les deux...
151				XXX
152	P2			Les deux existent, il peut y avoir un ou deux spermatozoïdes.
153				XXX
154	P2			Là l'idée des jumeaux, ça nous a un peu ...
155	E			Scotché
				Groupe 5
156	Elève au milieu des 3 (A)	CE1 : Le bébé grandit, grossit dans le ventre de la maman. CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMd	Y a un spermatozoïde qui rentre dans la vagin et donc euh, y en a plusieurs, enfin y se séparent dans plusieurs directions et y a en a que un qui rentre dans l'ovule. Ca va s'appeler la cellule œuf et après ça se développe et y a le bébé qui naît, enfin qui sort.
157	P2			Bon et c'est quoi votre argument pour dire que c'est pas comme les filles ? Dans le spermatozoïde ou ... Qu'il est déjà là ou qu'il est pas déjà là où ?
158	A	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM 4: Nécessité d'une union des gamètes	RMc	Bah, c'est les deux (s'accompagne d'un mouvement des deux mains paume ouverte qui se rejoignent et s'entrelacent) bah quand ils se rencontrent, c'est la fusion qui... Parce que le bébé il se développe que quand les deux ils se rencontrent dans la cellule-œuf.
				Groupe 6
159	Clément		RE/RMf	Le sperme de l'homme qui arrive à l'ovaire, ils font la course là. Après y a fécondation et c'est le bébé qui est le résultat de cette fécondation. Le bébé, c'est...
160	P2			Dis nous bien, fécondation, ça veut dire quoi pour vous ?
161	Clément	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM 4: Nécessité d'une union des gamètes	RMf	Bah, c'est les deux qui se rencontrent et qui euh... (fait des gestes avec les mains, les doigts tendus des deux mains s'entrecroisent),
162	Jonathan	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM 4: Nécessité d'une union des	RMf	Qui se joignent (fait mouvement des mains comme Clément)

		gamètes		
163	Maëva	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RMf	Le spermatozoïde qui rentre dans l'ovule
164	Clément			Bah y a ... y a ... (deux mains ouvertes qui font des mouvement de rapprochement doigt contre doigt)
165	Maëva			Et ben, c'est la fécondation. C'est ça la fécondation.
166	Clément	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM 4: Nécessité d'une union des gamètes	RMf	Bah oui, y a contact (même mouvement)
167	Jonathan	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM 4: Nécessité d'une union des gamètes	RMf	Y a contact, y a joignage.
168	Maëva			Y a joignage (rires)
169	Jonathan			Y fusion.
170	E ?			Y a mélange
171	Maëva			Voilà, y a fusion.
172	P			Maëva, t'es d'accord ? y a fusion ?
173	Maëva			Hein ?
174	P			Y a mélange ?
175	Maëva			Enfin oui... d'un coté, bah oui parce que...
176	P			Dis Maëva. Parce que ?
177	Maëva	CE3 : Ressemblance du bébé avec le père et la mère CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Ben... Parce que c'est euh y a ... après le bébé, il va avoir les gènes de la mère et du père.
178	P			Ah
179				XXX
180	E ?			Elle disait le contact avant
181	P			Tu disais le contact
182	P2			Bah tu disais l'inverse tout à l'heure.
183				XXX (rires)
184	Maëva			Quoi ?
185	P			Bon, le bébé il est où là dedans ? Parce que là ...
186	Maëva		RMd	Le bébé il est là (montre sur l'affiche la cellule-œuf)
187	Clément		RMd	Le bébé vraiment (montre sur l'affiche)
188	Maëva	CE3 : Ressemblance du bébé avec le père et la mère CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Mais le bébé il va recevoir les gènes du père et de la mère

189	P2			Les gènes du père et de la mère
190	Jonathan			Parce que l'ovule
191	Maëva	CE3 : Ressemblance du bébé avec le père et la mère CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMc	Parce que le spermatozoïde ça vient du père, donc il va avoir forcément le ... le sang du père et l'ovule ça vient de la mère donc... euh... et en plus il est alimenté par la mère... donc il va avoir les...
192	Jonathan	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CE 3 : Ressemblance du bébé avec le père et la mère CM5 : Nécessité d'un rôle de chaque gamète dans la formation du bébé	RE/RMc	Un spermatozoïde n'est pas obligé d'avoir n'est pas obligé d'avoir deux maisons, donc si il avait, euh... d'ovule, donc si il avait euh... si il avait euh... pas besoin de l'ovule dans le ventre de la mère il pourrait se former des milliers de... des milliers d'enfants... ce qui prouve que si il se dirige vers lui et si euh...
193	P2			Finit ta phrase. C'est important pour nous.
194	P			Il se rappelle plus
195	Jonathan			Qu'est-ce que j'ai dit ?
196	P2			Est-ce que cela a convaincu ceux qui... ceux du premier
197	Es			Bah oui...
198	P2			Pas forcément. Chut. Rapidement.
199				Nan (en noir qui fait la grimace)
200	P2			Toujours pas ?
201	P			Pour toi, le bébé il est où Camille, en vrai, dans le fond de ton coeur
202	Camille	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM1 : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RMf	Bah dans le spermatozoïde et il se forme dans l'ovule. C'est dans l'ovule qu'il peut se former.
203	P2			Et donc, comme Maëva a dit, elle parlait des gènes quand même, c'était important ça, c'était pas mal, des gènes du père et de la mère, il fait comment le bébé alors si il est dans le spermatozoïde
204	E ? (trop de monde parle en même temps)	CE 3: Ressemblance du bébé avec le père et la mère CM4 : Nécessité d'une union des gamètes	RE/RMc	C'est que les gènes du père.
205	P2			Bah, il a les gènes du père et de la mère le bébé, c'est ça ?
206				XXX
207	E ? (trop de monde parle en même temps)	CE2 : Pour faire un bébé, il faut un papa et une maman CM1: Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Bah oui, mais le cordon ombilical, ça vient de la mère.
208	P2			D'accord.
209	Clément	CE3 : Ressemblance du	RMc	Moi je pense que les spermatozoïdes il a les gènes du père et que l'ovule il a les

		bébé avec le père et la mère CM4 : Nécessité d'une union des gamètes		gènes de la mère et ça fusionne, donc ça fait un mélange des gènes
--	--	--	--	---

Annexe 2. Analyse du débat scientifique dans la seconde classe de quatrième

N° intervention	Intervenants	Contraintes	Registres	
1	Aurélien	CE : Présence des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule	RE/RMf	Une fois le spermatozoïde entré , ça féconde.
7	Aurélien	CE : lieu du développement CM : nécessité d'un contact du spermatozoïde pour déclencher le développement de l'embryon	RE/RMf	Ben l'embryon il est au milieu de l'ovule, le spermatozoïde au contact de l'embryon forme le fœtus.
10	Agathe		RMc	Mais y a du temps qui se passe pour qu'il arrive à l'embryon.
13	Aurélien	CE : lieu du développement CM : nécessité d'un rôle joué par l'ovule	RE/RMd	Y a comme du blanc transparent dans l'œuf, dans le jaune y a un truc noir minuscule.
15	Aurélien		RMf	C'est sûrement l'embryon qui a été fécondé et ça fait le fœtus.
22	Mathieu		RMd	L'embryon il est pas là pour l'instant, il va arriver après
25	Léo		RMd	Il y a les spermatozoïdes qui arrivent.
26	Axel		RMd	Il y a les spermatozoïdes qui sont autour de l'ovule.
27	Grégoire	CE : Présence des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule	RE/RMf	Il y a un spermatozoïde qui rentre dans l'ovule.
28	Jimmy	CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RMc	Après c'est l'embryon. C'est le spermatozoïde qui le forme.
30	Jimmy	CE : Présence des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RE/RMf	C'est le sperme, il rentre et il forme l'embryon.
32	Léo	CE : Présence des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RE/RMf	Ben puisqu'il rentre dedans, l'embryon se forme dès qu'un spermatozoïde rentre dans l'ovule.
36	Jimmy	CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RMc	Ben c'est le spermatozoïde qui se transforme en embryon
42	Chloé		RMf	C'est l'ovule qui forme l'embryon.
43	Eliot	CM : nécessité d'un rôle joué par l'ovule	RMc	C'est l'ovule qui forme l'embryon et pas le spermatozoïde.
45	Chloé	CE : Présence des deux parents et donc des deux gamètes CM : nécessité de la	RE/RMc	Mais parce que c'est les deux qui forment l'embryon et pas plus les spermatozoïdes.

		présence des deux gamètes pour former l'embryon		
46	Jimmy	CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RMc	Si y a pas de spermatozoïde, Y va rien y avoir du tout.
47	Eliot	CM : nécessité d'un rôle joué par l'ovule	RMc	Ouèh, mais si y a pas d'ovule, ça fait rien du tout ;
48	Jimmy	CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RMc	Si y a pas de spermatozoïde, ça fait rien du tout, y aura pas d'embryon.
49	Marie	CM : nécessité d'un rôle joué par l'ovule	RMc	Ben si y a pas d'ovule, y aura pas d'embryon non plus.
50	Chloé	CE : lieu de développement CM : nécessité d'un rôle joué par l'ovule	RE/RMc	C'est dans l'ovule que y a l'embryon, il commence à se développer.
51	Jimmy		RMc	Ouèh mais l'ovule elle y est déjà.
52	Marie	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité de la présence des deux gamètes pour former l'embryon	RE/RMc	Ouèh, mais si tu dis que le spermatozoïde se transforme en embryon, ça peut se faire même si c'est pas dans l'ovule.
53	Pierre	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité de la présence des deux gamètes pour former l'embryon	RE/RMc	Il faut un peu des deux (groupe 5)
54	Chloé		RMc	C'est plus l'aide de l'ovule.
55	Aurélien	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : Nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RE/RMf	Moi je pense qu'en fait, c'est le spermatozoïde qui, quand il rentre dans l'ovule féconde l'embryon. C'est le spermatozoïde qui permet le développement.
	GROUPE 2			
56	Agathe	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : Nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule	RE/RMf	Ben, en fait, on pense que quand le spermatozoïde il rentre dans l'ovule, et ben, après quelques temps il va former l'embryon.
58	Agathe	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : Nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes	RE/RMd	Ben le spermatozoïde mais pas tout seul, avec l'ovule, il y a quelque chose qui se passe.
59	Valentin	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : Nécessité d'une union des deux gamètes CM : Nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Il faut que le spermatozoïde et l'ovule soient réunis parce que c'est le spermatozoïde qui, en rentrant dans l'ovule, grâce à l'ovule et à ce qu'il y a dedans, va former l'ovule.
62	Agathe	CM : nécessité de la présence des deux gamètes	RMc	Ben, sans spermatozoïde, il ne pourrait pas y avoir d'embryon.

65	Aurélien	CM : nécessité d'une rencontre des deux gamètes	RMc	C'est quand les deux se rencontrent que, c'est là que, ça forme l'embryon.
GROUPE 3				
72	Aline	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule	RE/RMf	Nous, on pense que le spermatozoïde entre dans l'ovule pour former l'embryon.
74	Aline		RMd	Le spermatozoïde féconde l'ovule.
78	Amélie	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule CM : nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Ben l'embryon il est au cœur de l'ovule et dès qu'un des spermatozoïdes, qui composent le sperme, entre dans l'ovule il fait se développer l'embryon.
81	Amélie	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans l'ovule CM : nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RE/RMf	Mais au début il n'existe pas l'embryon, c'est quand le spermatozoïde entre au cœur de l'ovule qu'il commence à se développer.
82	Jimmy	CM : nécessité d'un rôle joué par le spermatozoïde	RMc	Moi j'suis pas d'accord. C'est le sperme l'embryon.
84	Marie	CE : présence des deux parents : un père et une mère donc des deux gamètes CM : nécessité des gènes des deux gamètes	RE/RMf	Ben en fait, ça peut pas être que le spermatozoïde, parce que dans l'ovule y a les gènes de la femme et dans le spermatozoïde y a ceux de l'homme. Donc il y a besoin des 2 pour donner un enfant.
85	Chloé	CE : présence des deux parents : un père et une mère	RE	Sinon on ferait un bébé toute seule ! Ben toi ce que tu dis, c'est que c'est que l'homme qui fait ... Brouaha féminin
86	Jimmy	CE : lieu de développement CE : le bébé se forme dans le ventre de la maman	RE	Y a besoin de la femme parce que c'est pour le bébé, c'est pour qu'il soit dans la femme.
88	Vincent	CE : le bébé se forme dans le ventre de la maman	RE	Elle sert de support. Brouaha féminin
89	Jimmy	CE : Alimentation du bébé	RE	L'ovule sert à donner à manger au bébé, et tout, et l'oxygéner.
90	Chloé	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité d'un rôle du spermatozoïde	RE/RMd	Au début y a aussi besoin du spermatozoïde pour former l'embryon.
91	Agathe	CM : nécessité d'un rôle du spermatozoïde	RMc	Moi je crois que ce qu'il a dit Jimmy, c'est pas pareil. Si le spermatozoïde qui rentre dans l'ovule, c'est pour lui donner de l'oxygène. Mais sinon il s'arrêtera jamais, il va continuer.
93	Agathe	CM : nécessité de la présence des deux gamètes	RMc	Ca fera jamais un ... Il a besoin de l'ovule pour faire un embryon.
GROUPE 5				
94	Florentin	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes	RE/RMf	On pense que le spermatozoïde c'est la moitié de l'embryon et l'ovule c'est l'autre moitié donc il faut les deux pour faire

		CM : nécessité d'une union des deux gamètes		l'embryon.
96	Pierre	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité d'une entrée du spermatozoïde dans le noyau de l'ovule	RE/RMf	Je pense qu'il y a un spermatozoïde qui rentre dans l'ovule et puis il va dans le noyau et puis ça forme un embryon.
98	Pierre	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité des gènes des deux gamètes	RE/RMf	Il faut les gènes de la mère et du père.
100	Pierre	CM : nécessité d'un rôle joué par chaque gamète	RMc	Il faut les deux sinon ça peut pas marcher.
101	Eliot	CE : ressemblance entre les parents et l'enfant CM : nécessité des gènes des deux gamètes	RE/RMd	Une ressemblance du père et de la mère.
	SONNERIE			
105	Amélie	CE : Présence des deux parents donc des deux gamètes CM : nécessité d'une plus grande quantité d'ovule que de spermatozoïde	RE/RMd	Il y a eu plus de constituant de l'ovule pour former l'embryon par rapport au spermatozoïde.
108	Florentin	CM : nécessité d'un contact du spermatozoïde avec l'ovule	RMc	Peut-être qu'il y a plus de constituants dans l'ovule mais sans le spermatozoïde ça ne marcherait pas. C'est un peu la clé du coffre.
109	Chloé	CM : nécessité d'une prédominance d'un gamète par rapport à l'autre	RMc	Peut-être que c'est soit l'ovule qui fait plus de travail enfin qui développe plus l'embryon soit c'est plus le spermatozoïde.

La procréation : quelles problématisations du CP au collège ?

Françoise Beorchia, IUFM Basse-Normandie ; CERSE, université de Caen-Basse-Normandie ; francoise.beorchia@caen.iufm.fr

Yann Lhoste, IUFM Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Résumé

Cette contribution vise à déterminer quelles sont les problématisations qui se sont développées dans le cadre de débats scientifiques menés en classe de CP (élèves âgés de 6 ans), de CM2 (élèves de 9-10 ans) et de 4^e (élèves de 12-13 ans) sur le thème de la procréation. À partir de ces trois cas, nous discuterons certains aspects de la méthodologie d'analyse des débats scientifiques utilisée, autour notamment des deux principales catégories de contraintes : les contraintes empiriques et les contraintes théoriques.

Mots-clés : Problématisation, procréation, débat scientifique

Le thème de la procréation humaine dont il va être question dans cet article motive les élèves, même très jeunes, par le fait qu'il touche à la question de leur origine personnelle et de leur sexualité. Ce n'est cependant pas le point de vue de l'attractivité qui nous intéresse ici mais celui de l'apprentissage. Au delà de l'intérêt que portent les élèves à ce sujet et des besoins de savoir qu'ils expriment, nous cherchons à préciser les problèmes qu'ils perçoivent, qu'ils construisent sur ce thème. Des débats menés à trois niveaux de la scolarité (CP, CM2, 4^e de collège) autour de la question « comment on fait les bébés ? » seront analysés selon le point de vue de la problématisation. Les données recueillies (productions orales : transcriptions de débats) dans trois classes contiennent des informations sur les conceptions des élèves (animalculisme ou fécondationnisme, préformisme ou épigénisme). Elles contiennent aussi des indicateurs sur les raisons construites par les élèves lorsqu'ils s'engagent dans le processus de problématisation (Orange, 2000). Après une analyse du savoir en jeu, nous ferons état des problématiques élaborées par ces groupes d'élèves, en particulier en recherchant les faits signifiants pour eux. Ceci nous amènera à discuter certains points de la méthodologie d'analyse des débats que nous aurons utilisée.

1. Le cadre théorique de la problématisation

Nous entendons par problématisation ou construction de problèmes, le processus cognitif permettant l'accès à un savoir scientifique compris dans une tradition rationaliste (Bachelard, 1949 ; Popper, 1991, Jacob, 1981).

Les mises en relation entre faits et théories explicatives, à la base de la construction des concepts scientifiques, sont rarement explicites dans les communications des chercheurs. Elles peuvent le devenir dans le cadre de débats dans lesquels les scientifiques sont amenés à défendre leur point de vue en argumentant. En classe, et dans la mesure où les élèves partagent un cadre d'explication commun (ce point est actuellement discuté : voir Ménard & Pineau, 2006), cette « *mise en tension* » entre registre empirique et registre des modèles (Orange, 2000 ; Orange 2002) peut s'expliciter dans les propositions d'élèves lorsque ceux-ci discutent et argumentent autour des explications possibles sur un phénomène donné.

Dans cet article, le point que nous souhaitons développer concerne la comparaison entre les différentes contraintes construites par les élèves à différents niveaux de scolarité dans des situations semblables (à quelques nuances près). Notre contribution devra également permettre d'explicitier les différents statuts que peuvent avoir ces contraintes (contraintes empirique ou théoriques).

Nous entendons par contraintes empiriques, les faits ou phénomènes qui sont retenus dans les explications soit parce qu'on cherche à les expliquer soit parce qu'on s'appuie dessus pour expliquer ; dans les deux cas, il s'agit de données qui relèvent de l'observable ou du mesurable, c'est-à-dire de la phénoménologie ou de la phénoménotechne (Martinand, 1992). En revanche, nous appellerons contraintes théoriques des données ne relevant pas de l'empirique mais qui interviennent dans la problématisation comme des contraintes. En général, les contraintes théoriques sont partagées par la plupart des élèves de la classe et ne sont pas soumises à discussion (elles sont hors question) pendant le débat, mais elles conditionnent les nécessités construites et les contraintes empiriques retenues. Des nécessités sur le modèle en lien avec ces contraintes sont construites pendant le débat dans les argumentations des élèves. Certaines argumentations ne sont pas complètement explicitées par les élèves, c'est alors le chercheur qui infère, à partir des propositions des élèves, les mises en relation entre contraintes et nécessités.

Par exemple, dans la problématique qui va se construire tout au long du projet sur la procréation en CP, une contrainte empirique retenue « le bébé est dans le ventre de la maman » est en relation avec la question que les élèves se posent : « comment les parents font-ils un bébé ? ».

À cette question, les élèves n'ont pas forcément les mêmes explications :

- certains évoquent une intervention extérieure (médecin) pour apporter « le début de bébé » ;
- d'autres pensent que le bébé a toujours été dans le ventre de la maman et que même si le papa intervient ce n'est que pour le faire sortir ou encore déclencher sa croissance (et développement) ;

- d'autres ont l'idée que c'est le papa qui apporte « la graine » ;
- un nombre peu important explique que le papa et la maman donnent chacun une graine et que l'ensemble des deux est à l'origine du bébé.

La confrontation de ces différentes solutions met en évidence le problème à résoudre, qui est celui du principe géniteur.

Un autre exemple de contrainte empirique retenue dans ce questionnaire est celle de la présence des deux parents dans un couple ordinaire qui les conduit d'abord à s'interroger sur le rôle de chacun d'eux (s'il y a deux parents c'est que chacun a un rôle à jouer), puis à s'appuyer sur les ressemblances entre le bébé et ses deux parents (le bébé peut ressembler à l'un ou l'autre mais éventuellement aux deux) pour discuter de la pertinence de l'une ou l'autre des explications.

Dans les deux exemples cités, on peut remarquer que toutes les explications produites ne sont pas équivalentes : certaines explications sont proches des savoirs scientifiques actuels, tandis que d'autres en sont fort éloignées. La question qui se pose à l'enseignant est celle de la gestion du débat et dans celle-ci, celle de la pertinence des éléments de l'espace de contraintes que les élèves construisent. Comment distinguer dans les contraintes susceptibles d'être mobilisées, celles qui permettent de faire avancer la discussion (sur le problème choisi), donc importantes dans le développement de l'espace de contraintes et par conséquent dans l'accès à un savoir raisonné et celles qui peuvent être négligées car d'un intérêt second dans ce processus ?

C'est cette discussion que nous allons aborder en nous appuyant d'abord sur l'analyse du concept de fécondation dans son acception la plus actuelle (prenant en considération les apports de la génétique) puis de trois exemples de problématisation autour de la procréation humaine.

2. Analyse du savoir : le concept de fécondation

■ 2.1. Reproduction sexuée et fécondation dans le curriculum prescrit

La fécondation et la méiose sont les deux concepts qui permettent de comprendre la notion de reproduction sexuée. C'est l'alternance entre ces deux phases qui permet le passage d'une génération à l'autre, en permettant, à la fois, le maintien des caractéristiques de l'espèce et la création de la diversité intraspécifique par recombinaison d'une partie de l'information génétique du père et de la mère dans le double jeu du hasard (qui intervient au moment de la formation des gamètes et de la fécondation).

D'un point de vue curriculaire, même si la notion de reproduction sexuée est abordée dès les programmes de cycle 1 de l'école primaire, puis en 6^e, en 4^e et en 3^e, c'est seulement dans ce dernier niveau qu'elle se déploie pleinement en faisant intervenir formation des gamètes et fécondation. Le terme de fécondation qui sera explicitement au programme de la classe de 4^e⁷⁵, apparaît dans les documents d'application des programmes du cycle 3⁷⁶

⁷⁵ « La reproduction sexuée animale comme végétale comporte l'union d'une cellule reproductrice mâle et d'une cellule reproductrice femelle. Le résultat de la fécondation est une cellule-oeuf à l'origine d'un nouvel individu. »

dans le thème « Reproduction des humains et éducation à la sexualité » alors qu'il n'est jamais mentionné dans le thème « Les divers modes de reproduction (animale et végétale) : procréation et reproduction non sexuée (bouturage...) ».

■ **2.2. La fécondation : du savoir en jeu à un espace de contrainte « expert »**

La fécondation met en jeu deux types de cellules spécialisées appelées gamètes : le gamète mâle et le gamète femelle. Elle a lieu, dans toutes les espèces animales dans un milieu liquide. Chez les mammifères, il s'agit de celui de l'ampoule. Entre l'arrivée du spermatozoïde à proximité de l'ovocyte et la première division de segmentation, Thibault propose de retenir 6 stades pour décrire la fécondation (figure 1).

La fécondation commence par le franchissement des enveloppes ovocytaires, puis un spermatozoïde produit par le père s'attache à la membrane plasmique de l'ovocyte, produit par la mère. L'entrée du spermatozoïde se fait par fusion progressive des deux membranes plasmiques qui se confondent insensiblement. Cet accollement provoque une « impulsion fertilisante » qui se traduit par, d'une part l'expulsion des granules corticaux dans l'espace périovulaire évitant la polyspermie et, d'autre part, la réactivation de la seconde division de méiose de l'ovocyte.

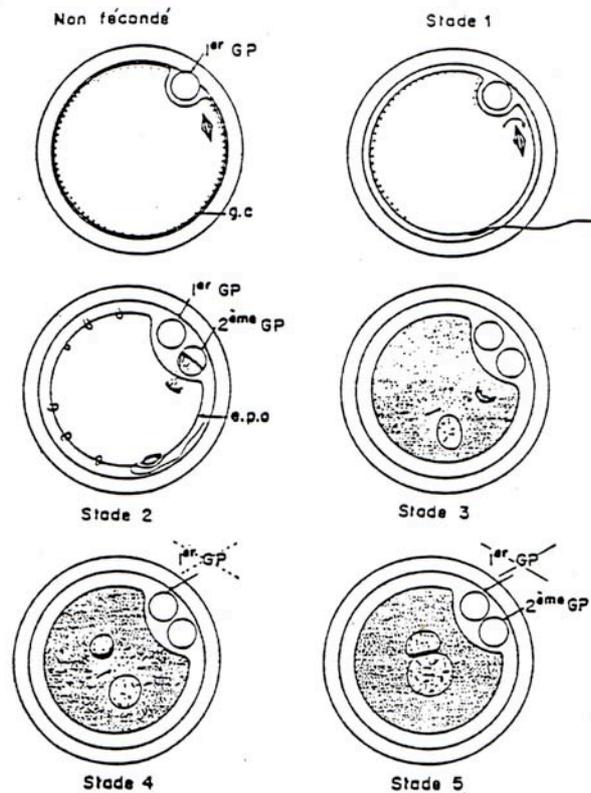
Le stade 2 correspond au gonflement de la tête du spermatozoïde et à l'émission du deuxième globule polaire. Le gonflement de la tête du spermatozoïde qui contient l'équivalent d'une moitié de l'information génétique du père, correspond à une décondensation de la chromatine nucléaire (sous contrôle d'un facteur de croissance). Le deuxième globule polaire est émis à l'extérieur, ce qui constitue l'achèvement de la méiose du gamète femelle qui contient alors l'équivalent d'une moitié de l'information génétique de la mère. Cette phase s'accompagne également de modifications cytoplasmiques qui correspondent à la remise en marche de synthèses cellulaires.

Le stade 3 correspond à la formation du pronucléus mâle et femelle et l'apparition transitoire du spermaster, sorte de fuseau qui s'organise autour du pronucléus mâle et qui attirera le pronucléus femelle.

⁷⁶ « On se limite à quelques repères essentiels sur la fécondation et le développement jusqu'à la naissance, ainsi que l'explication des règles : au cours des rapports sexuels, l'homme dépose dans le corps de la femme des millions de spermatozoïdes. Quand un spermatozoïde pénètre dans un ovule, un oeuf est formé. C'est la fécondation. »

Figure 1. Les six stades de la fécondation chez les mammifères (Thibault, 1969)

GP : globule polaire ; GC : granules corticaux ; EpO : espace périovulaire.



Le stade 4 se caractérise par le rapprochement des pronucléi et la duplication de l'ADN préparatoire à la première division de segmentation du zygote.

Le dernier stade, achevant la fécondation, est l'accolement des pronucléi. Les chromosomes apparaissent et s'organisent sur un même fuseau. Les membranes nucléaires disparaissent et il s'écoule alors un peu de temps avant la première division de segmentation.

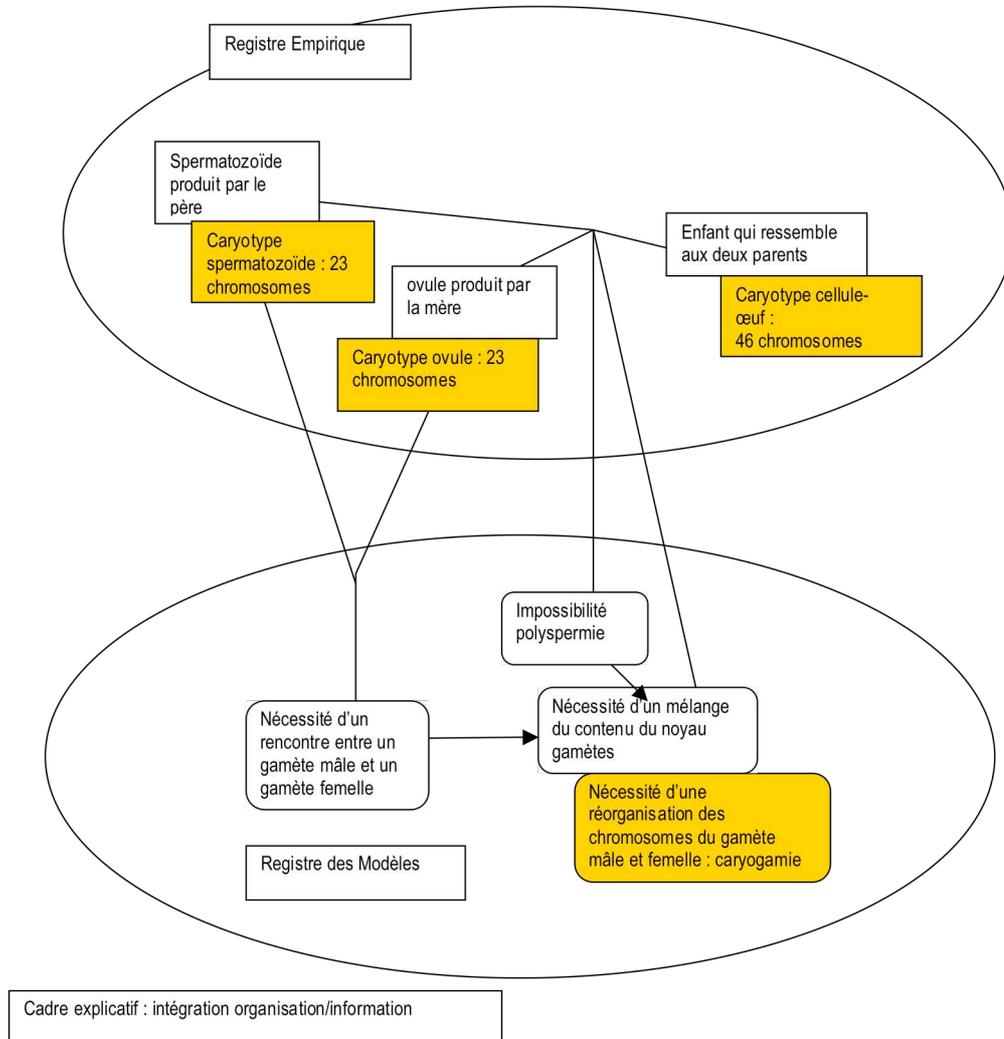
La fécondation met en jeu des phénomènes qui se situent à deux niveaux d'échelle différents, au niveau cellulaire (rencontre des gamètes, entrée de la « tête » du spermatozoïde dans l'ovocyte par fusion des membranes plasmiques) et au niveau moléculaire (au niveau de la molécule d'ADN). Considérés ensemble, ces phénomènes biologiques rendent compte de la façon dont le père et la mère participent, à part égale, à la constitution du patrimoine génétique de l'enfant.

C'est à partir de ces informations que nous pouvons construire un espace de contraintes « expert », figure 2, qui tente de décrire le concept de fécondation en articulant des éléments de la phénoménologie savante et des nécessités.

Figure 2. Espace de contrainte « expert » – la fécondation

Pour rendre compte du mécanisme de la reproduction sexuée, il conviendrait de faire figurer la nécessité de méiose et le caryotype des cellules somatiques

Fond blanc : au niveau de l'organisation – Fond grisé : au niveau de l'information



Maintenant, nous allons essayer de montrer quels sont les problèmes que les élèves de l'école et du collège peuvent reconstruire sur ce thème de la fécondation.

3. Les problèmes construits par les élèves du CP à la classe de 4^e

■ 3.1. Problématisation en classe de CP (élèves de 6 ans)

• 3.1.1. Présentation du corpus

Plusieurs explications sur l'origine du bébé coexistent dans cette classe ; elles ont été présentées et explicitées à l'ensemble de la classe lors d'une présentation des productions écrites (sous forme d'affiches), réalisées par des groupes de 4 ou 5 élèves (ayant eu des réponses similaires lors d'une évaluation diagnostique préalable) :

- 2 groupes (9 élèves) n'ont représenté que la maman avec le bébé dans son ventre (formé à partir d'une graine pour 4) ;
- 3 groupes (12 élèves) ont dessiné les deux parents ; pour deux de ces groupes (8 élèves) le papa donne une graine à la maman et c'est cette graine qui devient le bébé.
- 1 groupe (4 élèves) parle des cellules du papa et de la maman qui se mélangent et ça fait un bébé.

Le débat engagé par l'enseignante amène les élèves à se positionner et argumenter autour des questions suivantes : faut-il une graine ou pas ? ; qui donne la graine ?

• 3.1.2. Analyse du débat : quelles contraintes empiriques construites ?

1^{er} exemple : le bébé dans le ventre de la maman

Tous les élèves ont représenté dans leurs dessins le bébé dans le ventre de la maman : c'est un fait construit et signifiant mais qu'en est-il de sa mobilisation comme contrainte empirique ?

Tableau 1. Interventions mobilisant la CE : « le bébé est dans le ventre de la maman »

	1	Elise :	on avait dit tout ce qu'on pensait pour que, pour les bébés
	2	E :	Pour les bébés, c'est-à-dire ?...plus précisément, c'était quoi la question ?
RE- RM	3	Elise :	fallait qu'on dise comment les bébés ils sortaient du ventre de la maman
	4	E	Est-ce que c'était comment les bébés sortent du ventre ?
	5	Plusieurs	Non
RMf	6	Nils :	comment on fabriquait les bébés et à partir de quoi on fabriquait les bébés.
	7	E :	D'accord Nils.... La dernière fois chaque groupe a expliqué son dessin, ce qu'il pensait... je vais vous relire les différentes petites phrases que vous aviez écrites : premier dessin» Le bébé est d'abord dans le ventre, dans la poche de la maman. Il a un tuyau pour manger. » Deuxième groupe...» Il y a une graine dans le ventre de la maman. Il y a un bébé qui apparaît. »
RMc	8	Un élève	il apparaît pas comme ça.
	9	E :	je continue, celui là, Mathilde, Océane, Théo, Mylène» Le papa a mis la graine dans le ventre de la maman. La graine grossit et ça fait un bébé. Après, il sort. » Edmond, Mathias, Romane, « Le papa donne la graine à la maman par le zizi. La graine grossit dans le ventre de la maman et elle devient un bébé ». Et le dernier groupe c'était Capucine, Inès, Elise, Anne – Sophie... « Les cellules du papa et de la maman se mélangent. Ça fait un bébé mais il n'est pas encore bien formé. Le bébé se forme de plus en plus dans le ventre de la maman. Il y a un tuyau qui relie la maman au nombril du bébé. Comme cela il peut manger et se fabriquer » Voilà
	18	E :	donc pour expliquer comment il se fabrique y'a des enfants qui pensent qu'il ne faut pas de graine, d'autres pensent qu'il faut une graine, ou celle du papa, ou de la maman et d'autres pensent qu'il faut les deux, et qu'elles se mélangent. Alors, est-ce qu'on peut fabriquer un bébé sans graine ?
	19	Plusieurs	Non
RE- RM	20	A.S :	sinon comment il apparaît dans le ventre de la maman, moi j'y comprends rien si y'a pas de graine
	21	E :	d'après toi A.S., s'il n'y a pas de graine, il ne peut pas apparaître dans le ventre de la maman ?
	22	A.S.	non, non pas du tout j'ai cru pas
	23	E :	pas du tout, qu'en pensent les autres ?
	24	E :	alors comment ça peut se faire ça (silence) C'est possible, ou c'est pas possible ?
	25	Plusieurs	c'est pas possible
	26	Mylène :	c'est possible
	27	E :	c'est possible qu'un bébé puisse venir même s'il n'y a pas de graine dans le ventre de la maman ?
	28	Plusieurs	non, c'est pas possible
	29	E	pourquoi ?
RE-	30	A.S	parce que comment le bébé y va se former, comment y va apparaître, moi j'me pose

RM			cette question, si y a pas de graine, pourquoi y serait là si y'a pas d'graine ?
	31	E ?	: et les autres
	32	Plusieurs	ouais

L'intervention d'Elise, en 3, indique qu'elle tient compte de ce fait (le bébé est dans le ventre) mais l'intègre dans un questionnement non visé dans ce débat (comment se déroule l'accouchement ?). C'est pourquoi en 4, 5, 6, 7, 8, 9, 18 l'enseignante, puis les élèves recentrent le débat sur le problème de l'origine du bébé. Le problème choisi et travaillé dans ce débat est celui de la procréation, de l'origine du bébé : l'enjeu est d'expliquer « la présence du bébé dans le ventre » et non comment il va pouvoir en sortir.

Dans plusieurs de ses interventions, Anne Sophie cherche une explication à cette contrainte (le bébé apparaît dans le ventre alors qu'il n'y était pas avant) :

- en 8 : « il (le bébé) apparaît pas comme ça » ;
- en 20 : « sinon comment il apparaît dans le ventre de la maman, moi j'y comprends rien si y'a pas de graine » ;
- en 30 : « parce que comment le bébé y va se former, comment y va apparaître, moi j'me pose cette question, si y a pas de graine, pourquoi y serait là si y'a pas de graine ».

Après avoir exprimé l'impossibilité d'une génération spontanée (proposition 8), en 20 Anne Sophie met en relation le fait signifiant retenu (« l'apparition du bébé dans le ventre ») et la nécessité d'une graine (formulée explicitement par Anne Sophie dans l'intervention 20 et par la classe et par plusieurs élèves de la classe dans l'intervention 28). L'articulation entre les deux est encore plus précise en 30.

Ce n'est donc pas simplement le fait de la présence du bébé dans le ventre qui est signifiant, c'est sa présence à partir d'un certain moment, son apparition, sa formation dans le ventre de la maman que l'on cherche à expliquer.

Deux points émergent de cette première analyse :

- la formulation d'un fait peut varier dans les propositions d'élèves : les contraintes empiriques sont proches mais renvoient à des problèmes différents ;
- la contrainte empirique n'acquiert véritablement ce statut que dans son articulation avec une nécessité : elle n'existe que dans le problème qui se construit.

2° exemple : le bébé ressemble à ses deux parents

À plusieurs reprises la discussion a porté sur l'existence de deux graines pour former le bébé :

- certains disent qu'une seule graine est nécessaire (Nils), celle du papa ;
- d'autres affirment que les deux sont indispensables (une venant du père, l'autre venant de la mère) (Anne Sophie, Yasmine, Inès).

Tableau 2. Controverse 1 graine ou 2 graines

51	E	mais alors y'en a qui pensent qu'il faut la graine du papa et d'autres qui pensent qu'il faut la graine de la maman.
52	A S	y'en a des deux
53	E	est-ce que c'est la graine du papa dans ce cas là ou est-ce que c'est la graine de la maman ?
54	Nils	du papa
55	A S	Les deux

Cette controverse va engager les élèves dans une argumentation mobilisant pour certains une contrainte empirique nouvelle (le bébé ressemble à ses deux parents). L'émergence de cette nouvelle contrainte empirique demande à être regardée de près pour au moins deux raisons :

- la première, c'est qu'elle n'avait pas été anticipée par l'enseignante⁷⁷ ;
- la seconde, c'est que même si elle émerge principalement dans les propositions d'Anne Sophie (élève métisse, père blanc et mère noire), elle est reprise par d'autres élèves qui l'utilisent (exemple : Yasmine, Inès) mais ne se l'approprient pas forcément (exemple : Nils un peu plus loin).

Nous pouvons distinguer deux temps dans la construction de cette contrainte. Le premier correspond aux échanges présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Émergence de l'idée de mélange

	115	E	donc ça veut dire qu'il faut une graine du papa, et la graine de la maman alors est-ce qu'on en a besoin ou pas ?
RE-RM	117	Anne Sophie	si la graine du papa et de la maman qui se mélangent et ça se forme, ça forme le bébé,
RMf	119	Anne Sophie	j'ai dit que ça s'mélange dans le ventre de la maman et après ça sort
	120	E	qu'est-ce qui s'mélange ?
RE-RM	121	Anne Sophie	les graines pour faire le bébé
	122	E	les graines ! de quelles graines tu parles ?
RMf	123	Anne Sophie	de la maman et du papa
	124	E	la graine de la maman et du papa, donc toi tu penses qu'il faut les deux, qu'il y en aurait deux ?
RMc	125	Anne Sophie	parce que sinon le bébé il est tout petit, il est tout petit.

Dans les propositions 117 et 119, Anne Sophie met en relation la contrainte « le bébé se forme dans le ventre de la maman » avec une idée de mélange des deux graines. Elle développe cette idée dans la proposition 125 où la nécessité d'un mélange est établie à partir de la contrainte empirique que le bébé n'est pas tout petit : puisque le bébé grossit il y aurait nécessairement un mélange. Ainsi Anne-Sophie raisonne de façon mécaniste : il faut deux graines pour que l'apport de matière soit suffisant (elle n'est pas la seule à penser de cette façon, voir l'intervention de Nadjoua en 38).

Dans un premier temps, la nécessité d'un mélange est construite sur la base d'un raisonnement mécaniste. Dans les échanges suivants (tableau 4) la nécessité d'un mélange va être fondée par une mise en relation avec un autre élément du registre empirique (la ressemblance entre parents et enfants).

Tableau 4. Construction de la contrainte empirique (ressemblance) et de la nécessité de mélange.

RE-RM	176	Anne Sophie	elle venait du papa et de la maman et quand ils se font des bisous sur la bouche, les grandes personnes et ben les deux graines ça se mélange
RE-RM	212	Anne Sophie	oui mais les deux boules se mélangent dans le ventre de la maman parce que le bébé, quand y sort du ventre, il voit que ça leur ressemble

⁷⁷ Lors de la préparation du projet et dans l'analyse de productions de groupe ou individuelles, rien ne permettait de penser que cette contrainte allait émerger de façon aussi importante. Les enseignantes qui ont mené ce débat avaient plus l'intention de déstabiliser les conceptions des élèves que des les amener à construire des raisons.

	213	E	Aaaaah ! alors, vous avez entendu c'qu'elle a dit A.S. ? elle a dit que il en faut plusieurs parce que quand le bébé sort du ventre, on voit bien que le bébé il ressemble
	214	Anne Sophie	à ses parents
RE	216	Yasmine :	oui si par exemple y'en a un qui est blanc et l'autre il est noir, et ben y va être des deux couleurs.
RE	218	AS	: moi je sais pourquoi, parce que si y'a un papa qu'est blanc par exemple et la maman est noire, ça fait un bébé comme de ma couleur, comme ma couleur parce que moi j'ai un papa blanc et une maman noire. C'est pour ça.
	219	E	et tu n'es pas noire comme ta maman et pas blanc comme ton papa tu es les deux en même temps
RE	220	Anne Sophie	oui je suis les deux couleurs en même temps, c'est pour ça que j'suis ?
	226	E	ah ça, Romane, elle grossit toute seule. Moi je voudrait bien qu'on revienne sur l'idée d'A.S. A.S. elle a expliqué que il faut que les graines se mélangent parce que quand le bébé naît on voit bien qu'il ressemble au papa et à la maman Alors je redemande ma question moi.
RE	227	Anne Sophie	parce que moi j'ai les yeux de ma maman et je crois que j'ai le nez de mon papa
RE- RM	229	Anne Sophie	non il faut la graine de ma maman sinon je n'resemble pas à ma maman et ça veut dire que ce n'est pas ma maman.
	230	E	voilà y'a un problème là hein, et si y'avait que la graine de ta maman est-ce que tu serais là
RE- RM	231	Anne Sophie	non parce que faut la graine de mon papa, parce que si j'ai la graine d'un papa, j'ai un autre papa, je ne vais connaître
	232	E	oui ça c'est un autre problème hein Est-ce que ton papa il est blanc ou est-ce qu'il est noir A.S., je ne le connais pas.
RE	233	Anne Sophie	il est blanc
	234	E	il est blanc, d'accord et si y'avait que la graine de ta maman, comment tu serais ?
RMc	235	Yasmine	toute noire
	236	Anne Sophie	noire
	237	E	et oui et est-ce que c'est possible, est-ce que c'est vrai ?
	238	Nils	oui, non,
	239	E	non tu n'es pas toute noire
	240	Nils	et si t'avais que celle de ton papa ?
RE- RM	241	Anne Sophie	ben blanche mais il faut la graine de ma maman
RE	243	Inès	moi mon papa il est blanc. J'ai pas la même couleur qu'A.S mais j'ai la couleur de mes parents
RMf	247	Un élève	non, faut deux graines parce que
	248	E	il faut deux graines alors
RMf	249	Un élève	la graine de la maman et la graine du papa
RE- RM	250	Anne Sophie	parce que la graine de la maman ça fait que l'enfant ressemble à sa maman et la graine du papa ça fait que l'enfant ressemble un peu aussi de son papa et de sa maman
RE- RM	251	Yasmine	et si on met les deux graines ça se mélange et puis après ça fait un bébé des deux couleurs.
RE	259	yasmine	non parce que sinon, A.S elle ressemblerait que à sa maman
RE	260	Anne Sophie	ou que à mon papa
RE	263	Mathilde	oui mais des fois on peut ressembler, des fois on peut des fois, on peut ressembler à son papa
RE	266	Mathilde	et des fois on peut ressembler à ses cousins et cousines
	303	E	voilà est-ce que ça veut dire que si quelque chose qui ressemble à notre papa où à notre maman, ça veut dire qu'il fallait les deux graines pour qu'on ait quelque chose qui ressemble, c'est ça ?
RE	304	Anne Sophie	oui, aux parents parce que moi j'ai le nez de ma maman et peut-être que j'ai quelque chose de mon papa

Dès la proposition 176, l'idée de mélange revient par le constat des relations étroites qu'entretiennent les parents (ils se font des bisous) ce qui rend possible un échange, une

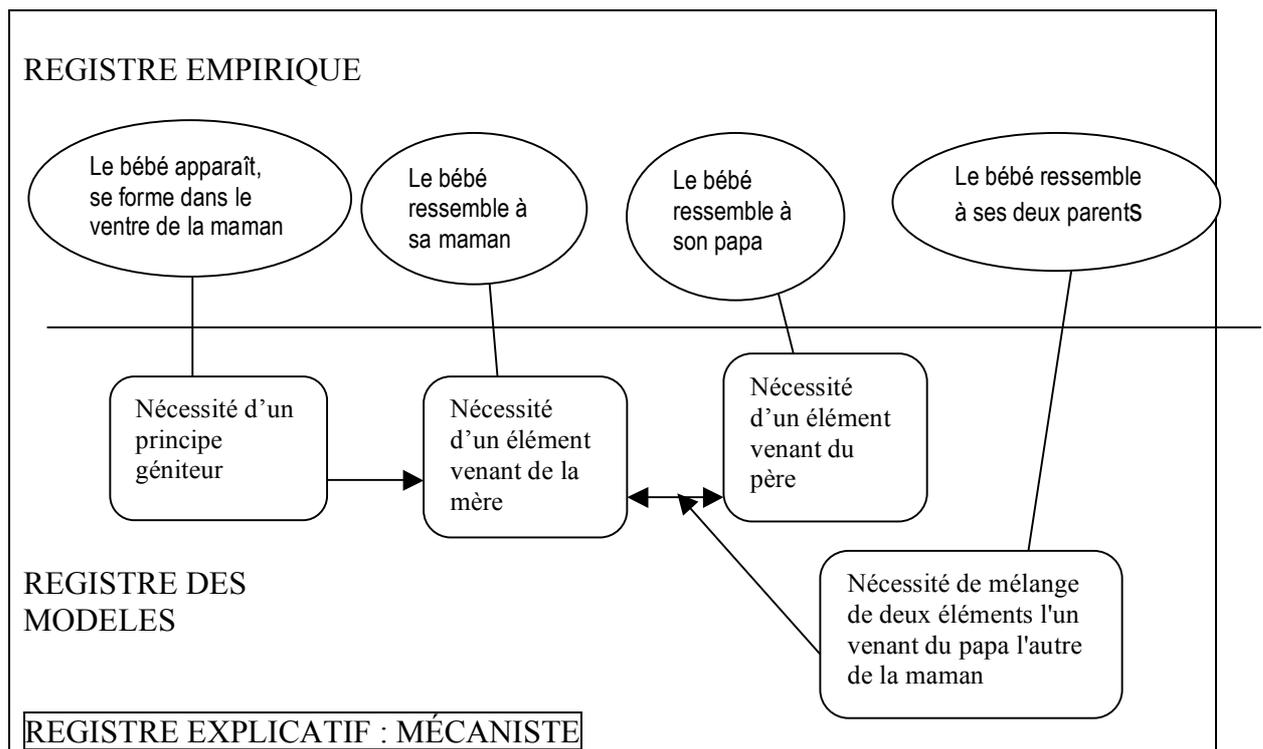
rencontre et donc un brassage des caractéristiques des parents (même si ce n'est pas explicitement formulé par les élèves).

Puis en 212, la contrainte empirique de la ressemblance entre parents et enfants est formulée et mise en relation avec ce qu'on peut considérer comme une nécessité (celle de mélange) : il y a bien construction conjointe de la contrainte et de la nécessité. Cette nécessité est formulée comme telle par Anne Sophie dans la proposition 229 : « Il faut la graine de ma maman sinon je n'resemble pas... ».

Alors qu'elle a d'abord été formulée de manière générale, la contrainte retenue se particularise en fonction du vécu des élèves et se focalise sur le cas du métissage d'Anne Sophie (propositions 216, 218, 220) mais pas exclusivement (227, 304 et d'autres propositions non reportées dans le tableau) et élargissant la question aux ressemblances familiales (266).

Les analyses présentées ci-dessus aident à comprendre ce qui s'est joué dans ce débat du point de vue de la problématisation. Nous pouvons le résumer en schématisant sous forme d'un espace de contraintes (figure 3) les différentes mises en relation qui ont été relevées dans les propos des élèves.

Figure 3. Espace de contraintes partiel correspondant aux extraits présentés mettant en évidence les contraintes empiriques construites par les élèves de la classe de CP



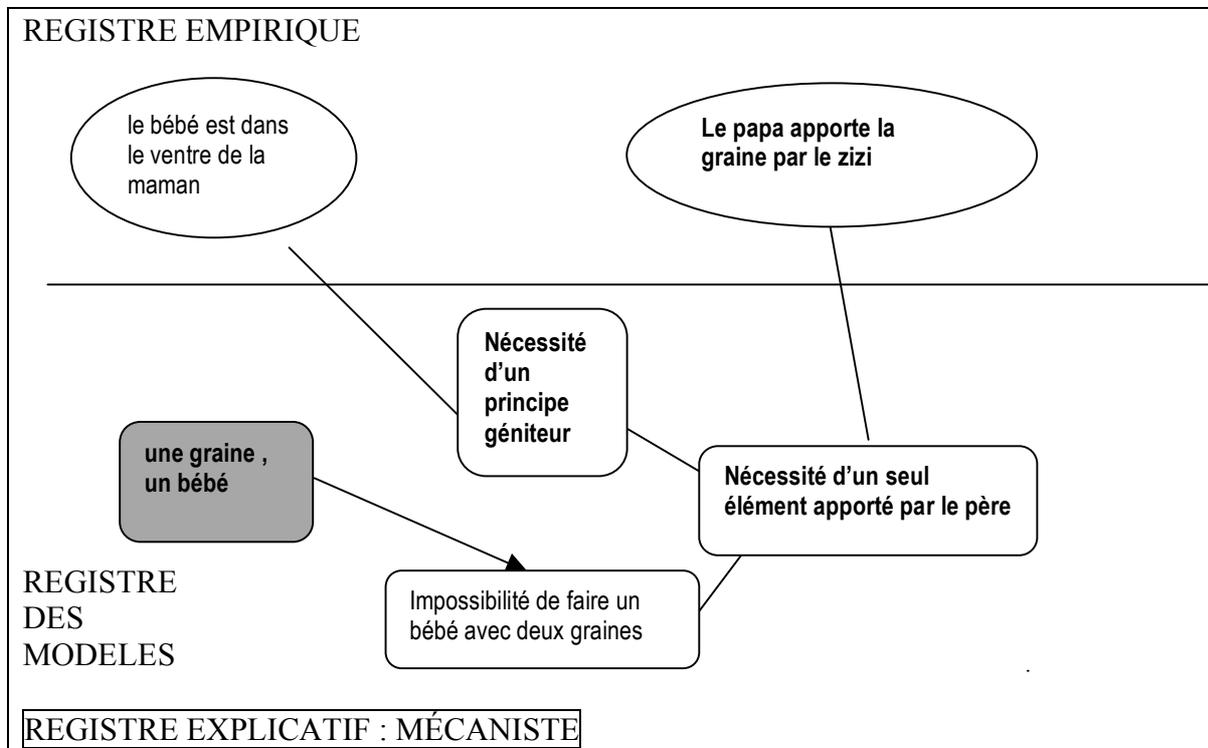
Le désaccord formulé à plusieurs reprises par Nils indique qu'il est resté en marge de cet échange (et sans doute d'autres avec lui). Nous allons essayer de comprendre pourquoi Nils est sur l'idée d'une graine venant du papa avec l'argumentation développée dans le tableau 5.

Tableau 5. Une contrainte théorique « une graine, un bébé »

	252	E	bon, et alors les autres ? ceux qui pensaient qu'il fallait que la graine du papa qu'est-ce qu'ils pensent maintenant
RMf	253	Nils	j'crois qu'il en faut toujours qu'une
	254	élèves	il en faut deux
	255	E	Nils, tu n'es pas persuadé alors
	256	E	Nils, tu peux expliquer pourquoi tu ne comprends pas toi cette idée là
RE-RM	257	Nils	ben parce que sinon ça fait deux bébés quand y'a deux graines. Moi je disais que une graine appartient à un bébé.

Nils explique que s'il y avait deux graines cela ferait deux bébés et non un seul (257) : il s'appuie sur ce que nous considérons comme une contrainte théorique pour lui, un principe incontournable : « une graine ne peut correspondre qu'à un bébé et un seul ». Cela nous permet de construire l'espace de contraintes qui représente le problème construit par Nils (figure 4).

Figure 4. Espace de contraintes partiel représentant le problème construit par Nils (CP)



La dernière intervention de Nils peut laisser penser qu'il mobilise une explication animalculiste préformiste : « moi je lui ai demandé à mon papa mais papa ne savait pas, ni maman, comment est arrivé le premier homme sur la terre ? ». Est-il en effet en train de raisonner selon la théorie de l'emboîtement, dans laquelle tous les individus seraient contenus dans le premier ?

• 3.1.3. Conclusion partielle

La seule contrainte empirique commune à tous les élèves de cette classe est celle de l'apparition du bébé dans le ventre de la maman. Cela permet donc une discussion posant le problème de l'origine de ce bébé avec les différents possibles cités plus haut.

En revanche, la contrainte empirique de la ressemblance entre parents et enfants n'est pas partagée par tous. Elle n'a pas été retenue dans l'argumentation des élèves « animalculistes », dont l'explication est fortement liée (au moins pour Nils) à la contrainte théorique, une graine = un bébé.

Un second exemple en CM2 dans lequel cette même contrainte émerge va nous donner quelques éléments de réflexion supplémentaires.

■ 3.2 Problématisation en classe de CM2 (élèves de 10 ans)

• 3.2.1. Présentation du corpus

Les groupes ont produit des affiches en réponse à la question : « comment on fait les bébés ? ». Pour un groupe de 3 élèves, la présence des deux parents est nécessaire, mais pas comme géniteurs. Parmi les cinq autres groupes, quatre (15 élèves) sont plutôt animalculistes (principe géniteur apporté par le père) et préformistes ; dans le dernier, une élève indique un apport équivalent du père et de la mère pour former le bébé (conception fécondationniste ?) et épigéniste.

À la différence du débat précédent, la présentation des affiches et la discussion se sont faites simultanément mais se déroulent dans deux séances différentes conduite par une stagiaire PE2 et non par des PEMF⁷⁸.

• 3.2.2. Analyse du débat : Quelles contraintes empiriques construites ?

Les contraintes empiriques construites dans ce débat et relatives à la question de l'origine du bébé sont celles que nous avons déjà pointées en CP :

- le bébé grandit dans le ventre de la maman ;
- la présence du père et de la mère (même s'il a été question des rapports sexuels entre les parents lors d'une discussion collective, l'enseignante a recadré la demande d'explication autour de la fécondation) ;
- la ressemblance entre enfants et parents.

C'est cette dernière que nous allons étudier afin d'en dégager quelques éléments de comparaison avec le cas précédent.

Après une première discussion dans laquelle le constat des ressemblances est intervenu, l'enseignante revient sur ce point dans les interventions présentées dans le tableau 6.

Tableau 6. Mise en tension entre ressemblance et nécessité de mélange

	154	E	Tout à l'heure, vous avez parlé de ressemblances, pourquoi ?
RE-RM	155	Coline	Pour moi, il faut un spermatozoïde et un ovule. L'ovule ça vient de la femme et les spermatozoïdes de l'homme.
	156	E	Pourquoi tu dis ça ?
RE-RM	157	Coline	Ils se mélangent tous les deux donc ça donne un enfant qui a les particularités de l'homme et les particularités de la femme comme la voix aiguë.

⁷⁸ Professeur des écoles – maître formateur (PEMF).

Pour Coline, la cohabitation de particularités de l'homme et de la femme chez l'enfant (contrainte empirique) est mise en tension avec la nécessité de mélange (157). Son modèle proche du fécondationnisme (155) est en accord avec cette nécessité. Pour elle, il faut les deux éléments : un spermatozoïde et un ovule qui se mélangent. L'espace de contraintes est donc très voisin de celui construit en CP (figure 3). Cependant, cette explication n'est pas partagée par tous les élèves de la classe comme en témoignent les échanges présentés dans le tableau 7.

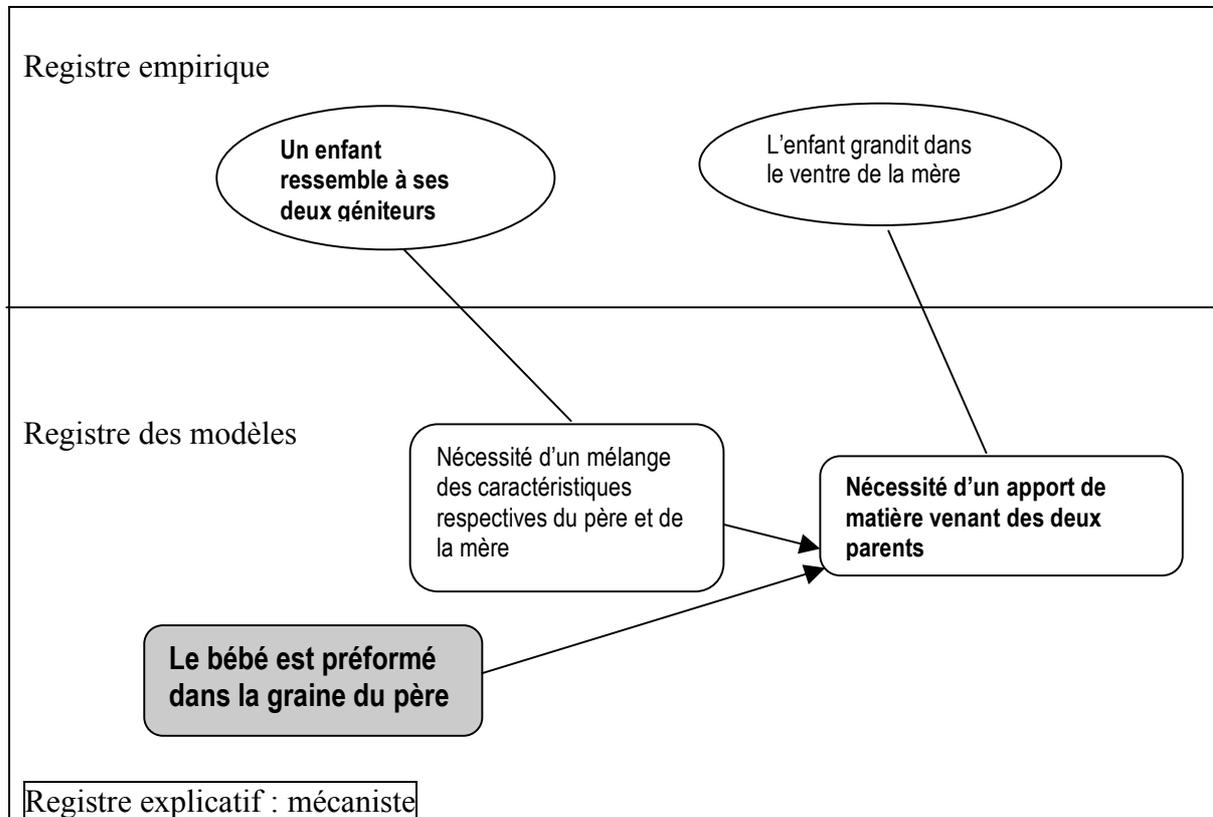
Tableau 7. La contrainte théorique du préformisme

RMc	244.	Xavier C	Y'a Elisa qui a dit que c'était pas possible d'avoir de tous petits bébés mais c'est possible.
	245	E	Tu penses que dans cette petite graine il peut y avoir un tout petit bébé dans la graine quand le papa la donne à la maman ?
	246	Xavier C.	: Oui.
RE-RM	250	Xavier C.	Peut-être qu'il commence à grandir dans le ventre du papa et après il commence à grandir un petit peu et il reste comme et il continue dans le ventre de la maman.
	251	E	Vous en pensez quoi ? Xavier dit que peut-être, quand le papa donne la graine, il y a déjà un tout petit bébé et il commence à grandir dans le ventre du papa et il continue dans le ventre de la maman.
RMc	252	Mathilde	C'est possible parce que comme ça au moins y'a les deux moitiés, la moitié de l'homme et la moitié de la femme.
RE-RM	253	Mélanie	Oui, parce que c'est le papa qui donne la graine et puis l'enfant il est aux deux.
	254	E	Ca veut dire quoi « l'enfant il est aux deux », comment on le sait ?
RE-RM	255	Mélanie	Ben, parce que c'est eux qui l'ont fait.
	256	Jade	Oui, aussi, c'est aux deux parce qu'ils l'appellent comme ils veulent.
RE-RM	257	Mélanie	Même si ils l'appellent comme ils veulent, le bébé peut pas savoir si c'est vraiment son papa. Vu qu'il a dit Xavier tout à l'heure, j'suis un peu d'accord, il grandit un petit peu dans le ventre du papa et donc le bébé il peut voir quand même qu'il est dans le ventre de son papa et puis après dans celui de sa maman.
	258	E	Et alors ?
RE	259	Xavier C	Ben, quand il est né, il sait qui c'est parce qu'il est un peu comme eux.
	260		Un peu comme eux, ça veut dire quoi ?
RMf	261	Xavier C.	Ses parents lui donnent un peu de choses.
RE	262	Mélanie	Il leur ressemble.
RE-RM	263	Aubin	Eux, comme ils avaient dit, comme on se ressemble comme les sourcils de notre père, les cheveux comme notre mère, c'est peut-être pour ça que d'abord la question à Xavier, quand le bébé il grandit un petit peu dans le ventre du papa et après dans le ventre de la maman, c'est pour ça peut-être qu'on a les mêmes sourcils que les pères.
	264	E	Donc, Aubin, finalement, il se demande comment ça se fait qu'on ressemble aux deux parents.

Pour Xavier C. (244, 246, 250) l'idée que le bébé est préformé dans la graine apportée par le papa est un élément qui ne fait pas partie de l'empirique (il n'a pas pu l'observer). Il le met en relation avec la nécessité de mélange (261), elle-même articulée avec la contrainte empirique de ressemblance (259). Donc, nous considérons cette idée de préformation comme une contrainte théorique qui s'impose aux élèves dans leur recherche d'explication des ressemblances entre parents et enfants. La même thèse est reprise par Mathilde, Mélanie, Jade, Aubin (252, 253, 255, 256, 257, 262, 264). Ces élèves envisagent comme solution à ce problème de ressemblance des moments de croissance distincts pour le bébé, d'abord dans le ventre du père, ensuite dans le ventre de la mère : la nécessité de mélange ne concerne donc pas des informations déterminant les caractéristiques mais peut-être de la matière déjà organisée venant des deux parents (261). Il y a donc une autre nécessité (qui reste implicite dans le débat) qui peut être mise en tension avec la précédente : celle d'apport de matière en relation avec la contrainte empirique de la croissance du bébé dans

le ventre de la maman. Ces deux nécessités trouvent leur place dans un cadre d'explication mécaniste. L'espace de contraintes résultant de ces mises en tension est donc celui présenté par la figure 5.

Figure 5. Espace de contraintes partiel construit en relation avec la contrainte théorique du préformisme par les élèves de CM2



• 3.2.3. Conclusion partielle

La contrainte empirique de la ressemblance a été construite dans ce débat de CM2 et mobilisée par plusieurs élèves. Cependant il semble que les mises en tension effectuées soient différentes selon les conceptions sous-jacentes :

- dans le cas de Coline, séparation entre processus de mélange des éléments mâle et femelle (identification de la fécondation) et processus de développement du bébé : émergence d'une explication fécondationniste et épigéniste ;
- dans le cas de Xavier C. et de la plupart des élèves de cette classe, non distinction des deux phénomènes : explication animalculiste préformiste.

■ 3.3. Problématisation en classe de 4^e (élèves de 13-14 ans)

• 3.3.1. Présentation du corpus

Comme dans les exemples précédents, on retrouve dans cette classe plusieurs explications sur l'origine du bébé. 16 productions individuelles d'élèves répondant à la question « Que se passe-t-il après l'accouplement pour qu'il y ait formation d'un nouvel individu ? » ont

été analysées avant la constitution de quatre groupes de trois à cinq élèves ayant une conception proche :

- 1 groupe (3 élèves) propose une explication qui fait principalement intervenir l'ovule dans la formation du bébé ; l'ovule grossirait grâce aux aliments consommés par la mère ;
- 2 groupes (8 élèves) propose une explication qui font jouer le rôle de principe géniteur au spermatozoïde, l'ovule ayant une fonction d'accueil et/ou de protection du spermatozoïde ;
- 1 groupes (5 élèves) produisent plusieurs explications, une typiquement animalculiste (Kévin en 137 : « c'est... le spermatozoïde... qui grandit ») et une qui serait plutôt fécondationniste (Luc en 142 : « c'est la conjugaison entre les deux »).

Les controverses se développent autour du rôle respectif du spermatozoïde et de l'ovule dans la formation du bébé.

• 3.3.2. *Analyse du débat : quelles contraintes et quelles nécessités construites ?*

Une contrainte empirique : Le bébé se développe dans le ventre de la mère

Tableau 8. Interventions indiquant le rôle protecteur et nourricier attribué à la mère

RE/RM	78	David :	(lecture de l'affiche) Un spermatozoïde entre dans l'ovule, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu, il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Il peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années. Cela dépend de l'individu.
RE/RM	117	Hélène	Oui, ben oui, ça se développe grâce...enfin, c'est en quelque sorte un milieu fécond quoi. Dès que y a l'élément qui manque et ben ça se développe bien. Voilà. Et c'est protégé par la mère.

Alors que dans le débat de CP, la contrainte empirique prend son sens dans un questionnement par rapport à la formation du bébé, ici cette contrainte paraît mise en relation avec la nécessité d'une protection du bébé entendue au sens large (protection physique, approvisionnement en nourriture). Dans les différentes interventions des élèves, le rôle de protection et de nutrition du fœtus est généralement attribué à la mère qu'il s'agisse du ventre ou de l'ovule (110).

Une contrainte théorique : Les deux gamètes participent à la formation de l'enfant

Cette contrainte théorique apparaît dès la présentation de la première affiche à travers une question de l'enseignante reprise, sous forme critique, par David en 11, puis par Hélène en 62 (tableau 9).

Tableau 9. Critique du premier modèle qui ne précise pas le rôle du spermatozoïde

	9	Professeur :	C'est pas sûr que c'est quand la femelle mange que l'ovule grossit... Parce que là, en fait, on ne voit pas bien le rôle du spermatozoïde...
RMc	10	Charles	Oui
RMc	11	David	Oui, bah oui, il fait rien, on ne sait même pas où il est.
RMc	62	Hélène	Si l'ovule il se développe à partir de l'alimentation, le spermatozoïde il a rien à faire là quoi !

Ce qui sous-tend cette critique correspond à l'idée, partagée pour la plupart des élèves de la classe, que les deux gamètes participent à la formation du futur bébé. Nous considérons

cette participation des deux gamètes à la formation de l'enfant comme relevant d'un présupposé et non comme correspondant à une traduction de la question de départ à l'échelle cellulaire. On voit bien que la critique porte puisque toutes les autres présentations (tableau 10) feront explicitement intervenir un spermatozoïde et un ovule dans la formation du bébé.

Tableau 10. Interventions présentant les modèles des groupes 2, 3 et 4

RE/RM	78	David :	(lecture de l'affiche) Un spermatozoïde entre dans l'ovule, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu, il restera dans l'ovule jusqu'à sa formation complète et sortira. Il peut rester dans le ventre plusieurs mois, plusieurs semaines, plusieurs années. Cela dépend de l'individu.
RE/RM	110	Hélène :	Là c'est le spermatozoïde qui rentre. Donc, y a l'ovule qui est dans le ventre de la mère et y a un seul ovule qui va entrer dans... un seul spermatozoïde qui va rentrer dans l'ovule. Donc, les spermatozoïdes rencontrent l'ovule : « ovule plus spermatozoïde égal bébé en développement ». Un seul spermatozoïde rentre dans l'ovule et se développe grâce au contenu de celui-ci. Donc, le spermatozoïde, en fait, c'est quelque chose qui, a besoin de l'ovule pour se développer et donc l'un sans l'autre ça ne marche pas.
RE/RM	118	Kévin	Alors, y a plusieurs spermatozoïdes, ils courent dans l'ovule, dans le... d'accord ? Après ça fait l'embryon, un truc comme ça. Après l'accouplement, les spermatozoïdes rencontrent l'ovule, oui, ben c'est ce que je viens de dire... Et quelques semaines plus tard, ben le fœtus il se forme.

Hélène en 110 va jusqu'à thématiser cette contrainte (« l'un sans l'autre ça marche pas »). Il s'agit bien, à notre sens, d'une contrainte théorique puisqu'elle n'est jamais mise en relation de façon explicite avec des éléments du registre empirique et pourtant participe de façon importante à la problématisation des élèves. Cependant, il nous semble que cette contrainte théorique pourrait correspondre à une nécessité antérieurement construite par les élèves qui, ensuite, aurait été stabilisée pour devenir une contrainte théorique. Il est possible que la nécessité d'une participation des deux gamètes à la formation du bébé ait été préalablement construite (comme dans le cas des problématisations à l'école) par articulation avec une contrainte empirique : « il faut un papa et une maman pour faire un bébé ».

Cette contrainte théorique joue un rôle important dans la problématisation des élèves de cette classe puisqu'elle est mise en relation avec la « nécessité d'un rôle joué par les deux gamètes » dans un cadre explicatif mécaniste. En effet, comme les élèves de cette classe de 4e raisonnent dans un registre explicatif mécaniste, la participation des deux gamètes à la formation du bébé implique que chacun des deux gamètes ait un rôle, exerce une action précise pour former le bébé. C'est à partir de là que les élèves vont chercher à déterminer le rôle de chacun des deux gamètes dans la formation du bébé (tableau 11).

Tableau 11. Rôles respectifs attribués par les élèves à l'ovule et au spermatozoïde

	95	Professeur :	C'est bien représenté, le spermatozoïde va se développer dans l'ovule et va former un nouvel individu... Donc, c'est quoi le rôle de l'ovule ?
	96	David :	Protéger le spermatozoïde.
RE/RM	97	Professeur :	Protéger le spermatozoïde ?
	98	David :	Contre les mauvaises bactéries.
	112	Hélène :	Donc voilà, il se développe grâce au contenu de l'ovule jusqu'à la formation d'un nouvel individu.
	137	Kévin :	Ben, c'est... le spermatozoïde... qui grandit

C'est l'articulation entre la contrainte théorique « un rôle est joué par les deux gamètes », la contrainte empirique « le bébé se développe dans le ventre de la maman » qui permet de construire :

- la nécessité d'une rencontre entre les deux gamètes ;
- la nécessité d'une protection et alimentation du bébé.

Lors de la discussion de la 4e affiche apparaît un nouveau possible rapport au rôle respectif du spermatozoïde et de l'ovule dans la formation du bébé (tableau 12).

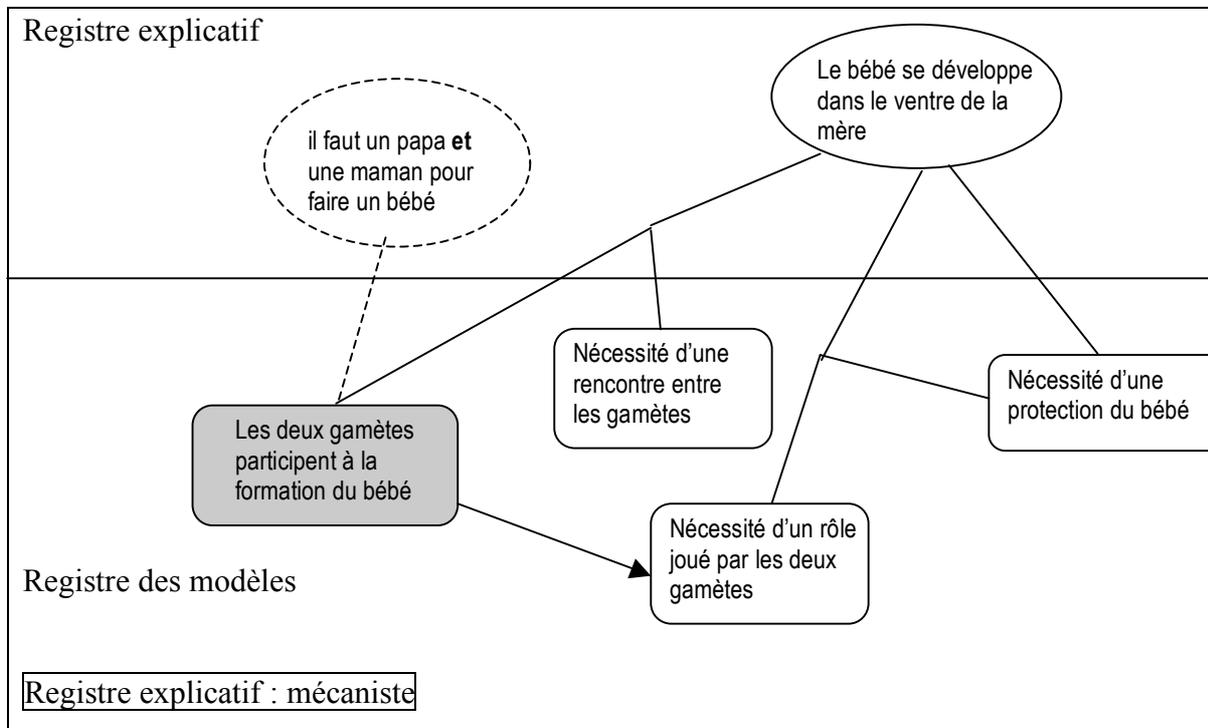
Tableau 12. La formulation de l'idée d'un mélange par Luc

	141	Professeur :	Dans le groupe, Luc est-ce que tu peux expliquer toi d'où il vient l'embryon ?
RMf	142	Luc :	C'est la conjugaison entre le spermatozoïde et l'ovule.
	143	Professeur :	Pour toi c'est une conjugaison entre les deux qui va former l'embryon.
	144	Luc :	Oui.

L'idée développée par Luc est différente de celle présentée par les autres élèves de la classe. Il indique que le futur bébé pourrait ne pas être présent dans le spermatozoïde, mais qu'il pourrait être constitué d'un mélange entre le spermatozoïde et l'ovule. Cette idée ne pourra pas devenir une nécessité dans ce débat puisqu'elle ne sera pas articulée avec une contrainte empirique du type : « ressemblance entre parents et enfants » qui n'est pas construite au cours du débat.

À partir des différents extraits présentés, nous pouvons construire un espace de contraintes qui représente l'articulation entre les contraintes et les nécessités telle qu'elles sont apparues au cours du débat (figure 6).

Figure 6. Espace de contraintes partiel correspondant aux extraits présentés mettant en évidence les contraintes construites (classe de 4e)



• 3.3.3. *Conclusion partielle*

De nouveau, la seule contrainte empirique qui soit construite ici est celle de la formation du bébé dans le ventre de la maman. Articulée à une contrainte théorique « les deux gamètes participent à la formation du bébé » dans un registre explicatif mécaniste, elle oriente le débat vers la question du rôle respectif des deux gamètes dans la formation du bébé et tend à réduire le rôle de l'ovule à un rôle protecteur et nourricier.

Cette problématisation ne permet pas de mettre en question les conceptions « préformistes animalculistes » des élèves, malgré l'intervention d'un élève qui présente l'idée d'un mélange entre spermatozoïde et ovule. Comme celle-ci n'est pas mise en relation avec des éléments du registre du modèle ni avec une quelconque contrainte théorique, elle garde le statut d'idée et ne fait pas avancer la problématisation de la classe.

■ 3.4. **Conclusion**

Des trois analyses ci-dessus, nous pouvons faire ressortir quelques éléments concernant les problématiques construites. Même si les trois débats se développent dans un registre explicatif mécaniste, les éléments pris en compte par les élèves et les mises en relation proposées diffèrent. On retrouve une contrainte empirique (la formation du bébé dans le ventre de la maman) commune aux trois niveaux de classe et une contrainte empirique (ressemblance entre parents et enfants) bien construite dans le débat de CP, émergente dans le débat de CM2 et absente en 4e. Les contraintes théoriques mobilisées par les élèves sont différentes (même si elles sont toutes en liaison avec le registre explicatif mécaniste) mais lorsqu'elles se construisent conditionnent les nécessités construites et ferment le champ des possibles.

De ces constats découle une première discussion sur les différentes contraintes empiriques et théoriques construites lors de ces débats :

- comment se construisent-elles ? ;
- comment pouvons nous distinguer contraintes empiriques et contrainte théoriques ?

Rappelons aussi que les enseignants ayant piloté ces débats étaient experts en CP, débutants en CM2 et 4e.

4. Discussion

À partir des ces trois études de cas, nous allons discuter trois points relatifs aux contraintes empiriques et théoriques.

■ 4.1 **Les contraintes empiriques et les contraintes théoriques sont construites**

Les différents exemples que nous venons de présenter montrent que les contraintes empiriques sont des éléments construits par les élèves pendant le débat scientifique. Cela ne nous ramène pas à une conception empiriste de la science puisque c'est bien « *par l'enchaînement conçu rationnellement, que les faits hétéroclites reçoivent leur statut de faits scientifiques* » (Bachelard, 1949/1998, p. 123). Ainsi les contraintes empiriques ne

sont pas des faits retenus au hasard mais des données qui ne prennent sens qu'en relation avec les explications que l'on cherche à élaborer donc en lien avec les solutions à des problèmes perçus et éventuellement construits. C'est la sélection de ces données qui marque le processus de construction. Cette construction est quelquefois bien décelable dans les débats lorsqu'on suit l'évolution de certaines interventions (exemple d'Anne Sophie en CP).

Dans les différents cas étudiés, une contrainte empirique que nous avons formulée de la même façon (le bébé se développe dans le ventre de la mère) – mais est-ce vraiment la même ?- ne s'articule pas avec les mêmes nécessités :

- en CP, « le bébé se forme dans le ventre » est mis en tension avec la nécessité d'un principe géniteur ;
- en CM2, elle est mise en relation avec la nécessité d'un apport de matière ;
- en 4^e, elle est reliée à celle de protection du bébé.

Les inférences que les élèves sont amenés à effectuer dépendent vraiment du problème qu'ils sont en train de traiter et qui peuvent être différents, malgré la proximité des situations de départ. Ainsi en CP, c'est l'apparition du bébé dans le ventre de la maman que l'on cherche à expliquer ; en CM2, c'est son développement et sa croissance alors qu'en 4^e, les élèves tentent de déterminer le rôle à l'ovule et au spermatozoïde dans la formation du bébé. Il semble que ce qui pouvait apparaître dans un premier temps comme une même contrainte empirique : « le bébé est dans le ventre » se décline différemment selon les problèmes construits. Cela montre que ces éléments ont un statut de contrainte, non pas en soi, mais par rapport à un processus de construction qui doit en tenir compte. Une étude plus précise des formulations selon un point de vue linguistique serait sans doute utile pour mieux comprendre ces différences et évolutions constatées.

Nous avons été amenés à distinguer les contraintes théoriques des contraintes empiriques car régulièrement, lorsque nous travaillons sur les débats sur le thème de la procréation, nous nous heurtons à la prise en compte dans les processus de problématisation des élèves d'éléments auxquels les élèves donnent le statut de contraintes (c'est-à-dire un élément qui contraint en excluant certains possibles) mais qui n'ont pas une dimension phénoménologique ou phénoménoteknique ce qui aurait permis de les placer dans le registre empirique. L'irruption de ces contraintes non empiriques nous a posé des problèmes pour les intégrer à notre cadre théorique, puisque si nous imaginions des contraintes théoriques, cela pouvait permettre à une problématisation de se développer entièrement dans le registre des modèles. Cela semble contradictoire avec le modèle élaboré par Orange selon lequel ce qui caractérise une problématisation scientifique consiste à mettre « *en tension critique le savoir* », c'est-à-dire à articuler « *explicitement des contraintes empiriques repérées comme pertinentes, avec des conditions de possibilité des modèles explicatifs* » (2000, p. 27).

Dans les trois cas présentés dans cette contribution, les traces de la construction des contraintes ne sont pas toujours explicites dans les propos des élèves car leurs raisonnements, leurs argumentations ne sont pas toujours complètes. Cela nous amène parfois à faire des inférences en complétant les raisonnements des élèves.

■ 4.2. Origines possibles des contraintes théoriques

À partir de l'étude menée, nous avons exploré plusieurs pistes possibles concernant l'origine des contraintes théoriques.

Nous pouvons envisager, dans certains cas, que des contraintes théoriques correspondent à la manifestation d'une contrainte empirique non explicitée. C'est le cas par exemple lorsque des élèves de 4^e s'engagent, avant apprentissage, dans la problématisation en faisant référence aux spermatozoïdes et aux ovules produits par le père et la mère et ces éléments. La discussion peut se développer sans que cette existence soit mise en question. Dans ce cas, on peut supposer que l'utilisation des contraintes empiriques « le père produit les spermatozoïdes » et « la mère produit des ovules » correspond à la manifestation des deux contraintes empiriques « participation du père » et « participation de la mère » qui ne sont pas explicitement formulées par les élèves car « allant de soi ». On peut se demander s'il est pertinent que le professeur tente de faire expliciter la contrainte empirique sous jacente à cette contrainte théorique par les élèves ou s'il convient de suspendre momentanément le débat, fournir des documents pour que la contrainte théorique puisse acquérir le statut d'une contrainte empirique.

Une contrainte théorique pourrait aussi correspondre, comme nous l'avons évoqué dans l'exemple du débat en 4^e (à propos de la contrainte théorique : Les deux gamètes participent à la formation du bébé), à une nécessité précédemment construite par les élèves qui serait stabilisée et fonctionnerait alors comme une contrainte dans l'activité de problématisation. On a déjà mis en évidence ce processus dans travaux précédents (Lhoste, 2006).

Enfin des contraintes théoriques peuvent correspondre à des principes explicatifs qui sont à mettre en relation avec le registre explicatif dans lequel se construit le débat. Dans les exemples qui précèdent (en CP : une graine -> un bébé ; en CM2 : le bébé est préformé dans la graine ; en 4^e : les deux participent -> focalisation sur le rôle de chacun des gamètes) les contraintes théoriques pourraient être considérées comme des manifestations d'un registre explicatif mécaniste dans les raisonnements des élèves.

■ 4.3. Contraintes théoriques comme manifestation d'un obstacle

Dans les trois problématisations présentées l'explication adoptée sous entend la continuité de la matière :

- pour faire un bébé, il n'est pas possible qu'il y ait deux graines (cela fait de la matière en trop dont on ne voit pas à quoi elle sert) ;
- le bébé est préformé dans la graine, car il n'est pas possible de faire un bébé à partir de matière informe (ce qui impliquerait une intervention extérieure ou une action non mécanique) ;
- les deux gamètes participent à la formation du bébé, ce qui pose la question du rôle respectif de chacun de ces gamètes d'un point de vue mécaniste : quelle est leur action ?

De plus, la contrainte théorique : « une graine = un bébé » des élèves de CP ou celle « le bébé est préformé dans la graine du père » mobilisée par les élèves de CM2 renvoient à la question du « Dieu fabricant » dans la plus pure tradition du mécanisme : « *la fabrication*

des machines vivantes avait été une opération initiale unique, et qu'en conséquence tous les germes de tous les vivants préformés, passés, présents et futurs, étaient, dès leur création, emboîtés les uns dans les autres » (Canguilhem, 1968). Dans les trois classes, nous avons pu mettre en évidence la construction d'un espace de contraintes dans un cadre mécaniste avec des explications majoritairement animalculistes. Essayons maintenant de regarder plus attentivement ce qui peut stabiliser et rendre efficace cette conception, lui donnant ainsi son statut d'obstacle épistémologique. Dans les trois exemples, nous avons montré qu'une contrainte théorique joue un rôle très important dans la problématisation des élèves puisqu'ils prennent fortement appui sur elle pour développer leur argumentation. De plus, cette contrainte théorique crée un lien entre différentes nécessités et stabilise en quelque sorte la problématique construite. C'est pourquoi nous pensons que dans les contraintes théoriques émerge quelque chose qui relève de l'obstacle. La préformation, la question du rôle de chacun des gamètes en terme d'action (ce qui pourrait être à mettre en lien avec les questions de mise en récit) ou d'apport de matière renvoient bien à une façon d'envisager la procréation qui est confortable et satisfaisante à certains égards. Cela relève donc bien de l'obstacle tel qu'il est défini par Peterfalvi (2001, p. 35) : « *Il (l'obstacle) témoigne plutôt d'un certain confort intellectuel que le sujet tend à préserver, car il lui est plus commode de penser les choses dans ces termes-là* ».

Le début du travail de cet obstacle pourrait revenir à aider les élèves à percevoir une dimension informationnelle dans ce problème de la procréation. Il y a bien des tentatives (Anne-Sophie en CP, Luc en 4^e) de penser la procréation en termes d'information, mais elles ne portent pas car les élèves ne perçoivent pas la double dimension de la procréation (organisation/information mise en évidence lors de l'analyse du savoir en jeu) ou alors n'arrivent pas à articuler ces deux dimensions. Cela permet, à la suite de Peterfalvi (2005) de réintroduire la question du travail de l'obstacle dans le cadre de la problématisation.

5. Conclusion

Les problèmes construits par les élèves des classes de CP, CM2 et 4^e sont différents (ils le seraient, sans doute, dans un même niveau) mais les trois débats se développent dans un registre explicatif mécaniste et même si des élèves introduisent l'idée d'un mélange entre les deux gamètes, l'articulation entre organisation et information ne se fait pas. Cette non distinction entre organisation et information renvoie à la question de l'obstacle du préformisme et à son traitement didactique dans le cadre d'une activité de problématisation.

Du côté du cadre théorique de la problématisation, nous avons essayé de faire avancer la réflexion autour de la question des différents types de contraintes intervenant dans le processus de construction de problème. Nous avons montré que les unes et les autres conservent un caractère construit plus ou moins manifeste dans les propos des élèves et que les contraintes théoriques peuvent avoir un lien étroit avec le registre explicatif dans lequel le débat se développe.

Il reste un travail à réaliser concernant ce que recouvre ce que nous appelons « mise en relation » entre les contraintes et les nécessités. Derrière ce terme, il y pourrait y avoir des relations de nature très différentes entre les situations de départ, les contraintes et les nécessités. Des recherches en cours (Orange, Lhoste & Orange Ravachol, 2009)

développant une analyse des argumentations produites par les élèves pourraient constituer un moyen d'accéder aux différents types de relation entre contraintes, nécessités et registre explicatif.

Enfin, en termes de formation des enseignants, les exemples présentés montrent, s'il en était encore besoin, l'importance des dimensions épistémologiques et didactiques dans la formation des enseignants pour leur permettre de conduire un débat scientifique qui vise la construction de savoirs scientifiques par les élèves. Il conviendrait également d'accorder de l'importance à l'analyse des débats dans les modules de formation (pour l'année de PE2 et de PLC2 cette réflexion est menée dans le cadre du travail de mémoire professionnel) et de mener de nouvelles études sur l'articulation de ces moments de débats et les temps de travail autour des observations, des expériences, des études de documents.

Remerciements

Nous tenons à remercier les différentes collègues qui ont participé au recueil des données. Françoise Vildey et Danielle Vandergucht, PEMF dans la classe de CP. Zoë Noyon, professeure des écoles dans la classe de CM2. Sabrina Desrues, professeure de sciences de la vie et de la Terre dans la classe de 4^e.

Bibliographie

- Bachelard G. (1949). *Le Rationalisme Appliqué*. Paris : PUF.
- Canguilhem G. (1968). Vie. In *Encyclopaedia Universalis*. Paris : Encyclopaedia Universalis.
- Jacob F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- Lhoste Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3^e : Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, n°42, (à paraître).
- Martinand J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Ménard I. & Pineau V. (2006). La respiration humaine au cycle 3 : Problèmes construits et registres explicatifs mobilisés par les élèves. *Aster*, n°42, (à paraître).
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation – Pour l'Ère nouvelle*, n 1, p. 25-41.
- Orange C., Lhoste Y. & Orange Ravachol D. (2009). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin. *L'argumentation dans l'apprentissage des sciences*. Lyon : INRP.
- Peterfalvi B. (2001). *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations : l'exemple des transformations de la matière*. Thèse de doctorat en sciences de l'Éducation non publiée, université de Rouen, Rouen.
- Peterfalvi B. (2005). Travail sur les obstacles et problématisation, quels apports réciproques. *73^e congrès de l'ACFAS*, Chicoutimi, Québec, mai 2005.
- Popper K.R. (1991/1998). *La connaissance objective*. Paris : Flammarion.

Troisième partie

Le concept d'évolution et d'ancêtre commun au collège et au lycée

1. L'ancêtre hypothétique commun : une analyse épistémologique

Yann Lhoste

Extrait de Lhoste Y. (2008). Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, université de Nantes, Nantes.

Il s'agit d'une analyse épistémologique qui permet de comprendre le dispositif d'enseignement apprentissage présenté dans l'article 2

2. Un dispositif d'enseignement-apprentissage pour construire le concept d'ancêtre hypothétique commun

Sandrine Faure, Jean-Philippe Canu, Armelle Roland & Yann Lhoste

Il s'agit de la présentation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage conçu dans le cadre du GFA. Il a donné lieu à deux recueils de données en classe de 4^e (article 3) et avec des étudiants préparant le concours de recrutement de professeur des écoles (article 4).

3. La construction du concept d'ancêtre commun par des élèves de 4^e : corpus de données

Sandrine Faure

Ce document constitue un recueil de données obtenues en classe de 4^e selon le dispositif décrit dans l'article 2 qui n'a pas donné lieu à analyse.

4. Comment des étudiants préparant le CRPE construisent le concept d'ancêtre commun

Yann Lhoste

Texte d'une communication 2007. Cinquième rencontre scientifiques de l'ARDIST, La Grande Motte, 17 - 19 octobre 2007, p. 209-216. Disponible sur Internet :

<http://ardist.aix-mrs.iufm.fr/index.php?quoi=2007,>

Il s'agit d'une communication qui présente les résultats obtenus à partir de la mise en œuvre du dispositif décrit dans l'article 2 avec un groupe d'étudiants préparant le concours de recrutement de professeur des écoles.

5. Quelle problématisation sur le thème de l'évolution en classe de première ES ? Dynamique et obstacles

Yann Lhoste & Julie Gobert

Extrait de Lhoste Y. (2008). Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, université de Nantes, Nantes.

Il s'agit de l'analyse réalisée dans le cadre de la thèse de Yann Lhoste à partir d'un recueil de données effectué dans une classe de 1^{re} ES de Julie Gobert sur le thème de l'évolution dans le cadre du GFA.

L'ancêtre hypothétique commun : une analyse épistémologique⁷⁹

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; INRP ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

1. L'ancêtre commun dans la systématique phylogénétique : apport de Hennig

C'est dans le contexte de l'évolution que Willi Hennig, entomologiste allemand, propose dans les années 1960 une approche résolument nouvelle dans la construction des arbres phylogénétiques⁸⁰. L'approche d'Hennig est différente puisqu'il propose des arbres « *sans ancêtre qui, pourtant, ne parlent que d'ascendance* » (Tassy, 1997, p. 74), dans le sens où l'on ne cherche pas à savoir si telle espèce est l'ancêtre de telle autre, contrairement à l'approche de la systématique évolutionniste, de Mayr et Simpson, qui recherchait parmi les archives fossiles, des ancêtres, des « *groupes ancestraux* » ou des « *chaînon manquants* ».

C'est sur la question de la reprise et de l'analyse plus fine du concept d'homologie qu'Hennig a introduit une nouvelle approche méthodologique. Les homologies désignent les ressemblances, qui existent entre différentes espèces, qui sont dues à leur ascendance commune. Il semble que les homologies aient été perçues depuis Aristote, mais le concept n'est explicité, sous le terme d'analogie, par Saint-Hilaire qu'au début du XIX^e siècle dans le champ de l'anatomie comparée⁸¹. Ce concept est formalisé par Owen vers 1850 qui distingue alors l'homologie et l'analogie (de Ricqlès, 1996, p. 7). L'analogie devient une

⁷⁹ Extrait de Lhoste Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, université de Nantes, Nantes.

⁸⁰ Le premier arbre présentant les relations évolutives entre les êtres vivants a été proposé par Haeckel vers 1866.

⁸¹ « *La recherche des homologies – similitudes liées à la descendance – est la base même de l'anatomie comparée* » (Darlu & Tassy, 1993, p. 16).

ressemblance entre espèces sans rapport avec la filiation (cas des convergences, par exemple, qui désignent « *des traits observés chez telle et telle espèce mais en fait apparus indépendamment* » [Darlu & Tassy, 1993, p. 19]). Comme le précise Ricqlès, « *l'apport original d'Hennig va, paradoxalement, consister à démembrer ce concept* » (1996, p. 7), plus précisément à l'interpréter dans une perspective évolutionniste. Ce déplacement lui permet « *de proposer une explication non plus seulement formelle, mais causale, de la répartition taxique des états des caractères* » (*ibid.*). Hennig distingue alors, parmi les caractères homologues, deux types d'état : un état primitif (ou état plésiomorphe) et un état transformé (ou état apomorphe). Comme le précisent Darlu et Tassy, « *cette constatation est triviale : des caractères se transforment, d'autres pas. Le nombre de doigts à la main de l'homme est primitif, tandis que le cortex de son cerveau est dérivé [transformé]* » (1993, p. 33), ce qu'Hennig attribue à une vitesse différente d'évolution des caractères. Les caractères primitifs sont ceux qui ont le moins évolué alors que les caractères transformés sont ceux qui ont subi les innovations les plus récentes dans l'histoire évolutive.

À partir de ce constat, Hennig montre que « *l'existence de caractères dérivés partagés, c'est-à-dire la synapomorphie, exprime l'apparement de façon précise et non-ambiguë* » (de Ricqlès, 1996, p. 7). C'est sur ce dernier point que l'approche d'Hennig est novatrice puisque, jusqu'à lui, la recherche de caractères primitifs communs était la règle. C'est le principe de partition, aujourd'hui admis par la communauté scientifique, entre caractères transformés et caractères primitifs : « *seul le partage par différentes espèces de caractères dont l'état est transformé (homologie phylogénétique ou synapomorphie) est signe d'une parenté étroite : c'est la ressemblance due à une ascendance commune. Au contraire, les caractères restés à l'état primitif (symplesiomorphie) ne témoignent pas d'une parenté* » (Tassy, 1997, p. 74).

Ensuite pour reconstituer la phylogénie, on regroupe les taxons⁸² synapomorphes ainsi que l'ancêtre à ces deux taxons pour constituer un groupe monophylétique : l'apport d'Hennig consiste en l'introduction d'ancêtres communs exclusifs, ou pour le dire autrement, d'ancêtres communs qui ne sont pas les ancêtres d'autres taxons. Ainsi Hennig met en évidence l'existence dans les anciennes classifications, à côté des groupes monophylétiques, de groupes paraphylétiques qui regroupent des taxons par la possession de caractères homologues primitifs⁸³. Un groupe paraphylétique n'a pas d'ancêtre commun exclusif puisqu'il le partage avec d'autres groupes (ce n'est donc pas un ancêtre commun exclusif). Par ailleurs, comme certains descendants sont exclus de ce groupe, le groupe n'a pas d'histoire propre. De Ricqlès en conclut que les groupes paraphylétiques « *ne peuvent être l'objet, ni constituer le résultat de mécanismes évolutifs concrets* » (1996, p. 8).

Pour construire les relations entre différents groupes monophylétiques et aboutir à la construction d'un arbre phylogénétique, il convient d'analyser l'état d'un grand nombre de caractères. Ensuite, les arbres sont construits en fonction du principe de parcimonie⁸⁴, c'est-à-dire que le chercheur regroupe les taxons présentant le plus d'homologies

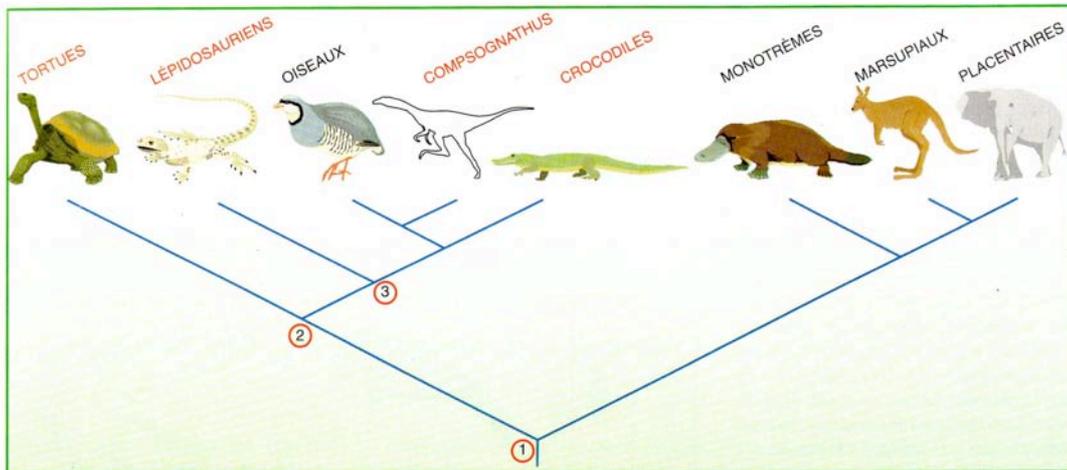
⁸² Le taxon est un groupe d'organismes formant une unité bien délimitée à chacun des différents niveaux hiérarchiques de la classification. Les espèces, les genres, les familles, les ordres sont des taxons de différents niveaux hiérarchiques.

⁸³ Le groupe des Reptiles, présenté en rouge sur la figure 5-5, est un exemple de groupe paraphylétique.

⁸⁴ Le principe de parcimonie c'est l'hypothèse que « *l'estimation la plus plausible d'un arbre évolutif est celle qui fait appel à la quantité minimale d'évolution* » (Darlu & Tassy, 1993, p. 69). C'est le principe d'économie puisque « *le partage, par différentes espèces, d'un même caractère hérité d'une espèce ancestrale commune n'implique qu'un seul évènement évolutif* » (Tassy, 1991, p. 57)

phylogénétiques et le moins d'homoplasies⁸⁵. La figure 1 présente un arbre phylogénétique pour le taxon des amniotes.

Figure 1. Relations de parenté des amniotes actuels (Tassy, 1997, p. 76)



RELATIONS DE PARENTÉ DES AMNIOTES ACTUELS avec l'inclusion d'un fossile (*Compsognathus*). Si un crocodile ressemble à un lézard (groupe des lépidosauriens), ce n'est qu'en raison de nombreux caractères restés primitifs (hérités des ancêtres 1, 2 ou 3) mais non en raison d'une parenté phylogénétique étroite. Au contraire, crocodiles et oiseaux sont étroitement apparentés, quoique peu ressemblants. C'est pourquoi la classe des Reptilia

(en rouge), faute d'inclure les oiseaux, n'est pas un concept phylogénétique. Les fossiles qu'on appelle dinosaures (ici représentés par *Compsognathus*) effacent l'hiatus morphologique qui sépare dans la nature actuelle oiseaux et crocodiles. De même que les chauves-souris sont des mammifères aériens, les oiseaux sont des dinosaures adaptés au vol. *Compsognathus* n'est pas pour autant l'ancêtre des oiseaux.

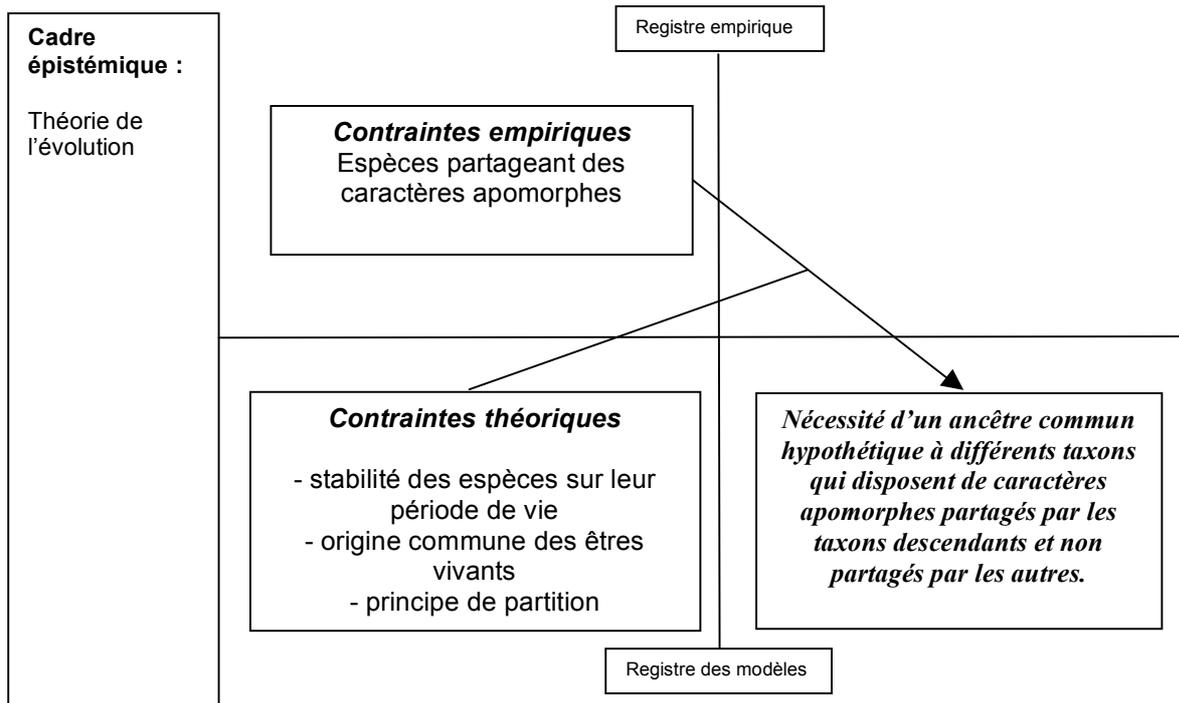
2. Le concept d'ancêtre commun

Sur de tels arbres phylogénétiques, au niveau de chaque bifurcation, on peut placer un ancêtre commun hypothétique. Il s'agit, comme le précise de Ricqlès « d'une abstraction, d'une collection d'états de caractères, associés à un moment du temps » (1996, p. 11). Ainsi, un ancêtre commun hypothétique représente « les parents dont les descendants non identiques, se sont séparés pour constituer deux espèces différentes. [...] Il s'agit d'une fiction qui résume simplement une très large diversité d'hypothèses concernant les événements susceptibles d'aboutir à l'émergence d'une nouvelle espèce et dont la plupart sont impossibles à préciser » (Heguerta, 2006, p. 50). C'est d'une fiction dans le sens où « nous n'avons pas accès à l'identité individuelle des ancêtres. Nous ne pouvons connaître d'eux que certains traits. Même s'ils ont bien existé, ils resteront à jamais à notre connaissance que des portraits robots, des puzzles incomplets, et non des réalités concrètes. C'est pour cela que l'on dit "ancêtre commun hypothétique". La reconstitution que je peux en donner est hypothétique » (Lecoindre, 2006).

À partir de ces différents éléments, nous pouvons construire un espace « contraintes et nécessités » qui tente de rendre compte du concept d'ancêtre commun dans le cadre de l'approche par la systématique phylogénétique. Il est présenté sur la figure 2.

⁸⁵ Une homoplasie désigne soit des caractères qui ont subi de façon indépendante la même transformation (convergence évolutive comme la nageoire des dauphins ou l'aile de la chauve souris), soit des caractères qui sont retournés dans un état ancestral (réversion).

Figure 2. Espace « contraintes et nécessités » de la problématisation du concept d'ancêtre hypothétique commun dans le cadre de la systématique phylogénétique



En se plaçant dans un cas simple, si deux espèces partagent des caractères apomorphes, compte tenu du principe de partition (les caractères apomorphes proviennent d'un ancêtre commun exclusif), dans un cadre explicatif évolutionniste où, comme le rappelle Tattersall (2003, p. 138), c'est à Charles Darwin et Alfred Russel Wallace « *qu'il revient d'avoir découvert la notion de "descendance d'ancêtre commun", grâce à laquelle il était désormais possible d'expliquer l'ordre existant dans la nature* », alors ces deux espèces ont nécessairement un ancêtre commun hypothétique. Ancêtre commun qui disposait du caractère apomorphe.

On pourrait même concevoir, à propos de caractères précis, d'établir des nécessités empiriques. De Ricqlès précise qu'avec la mise en œuvre de la systématique phylogénétique, « *on peut prévoir l'ordre d'apparition ou de ségrégation des différents lignages collatéraux porteurs d'attributs particuliers, quand bien même la documentation paléontologique concrète demeurerait lacunaire* » (1996, p. 12).

Au final, la constitution de groupes monophylétiques constitue un moyen de classer⁸⁶ les êtres vivants selon une relation d'ordre, symbolisée par l'utilisation des arbres phylogénétiques⁸⁷. La synapomorphie permet d'établir des critères problématisés définis, par Orange-Ravachol et Ribaud, comme des critères « *dont on a discuté la pertinence en se*

⁸⁶ Foucault précise que les classifications « *ont toujours pour fin de déterminer le "caractère" qui groupe les individus et les espèces dans des unités plus générales, qui distingue ces unités les unes des autres, et qui leur permet enfin de s'emboîter de manière à former un tableau où tous les individus et tous les groupes, connus ou inconnus, pourront trouver leur place* » (1966, p. 238).

⁸⁷ Le principe de parcimonie permet en effet de « ranger » les ancêtres communs les uns par rapport aux autres. En effet, plus un ancêtre commun est spécifique, plus il concerne un nombre réduit d'espèces et donc plus il est récent dans un arbre phylogénétique.

demandant pourquoi il est possible de les choisir et pourquoi il est impossible que tel autre ne soit pas retenu » (2006, p. 183). Les principes de Hennig constituent la théorie sous-jacente à l'assignation d'un caractère à un taxon (Tassy, 2004). Pour terminer cette analyse, il convient d'indiquer les conditions de possibilité qui ont permis la construction du concept d'ancêtre hypothétique commun.

3. Conditions de possibilité du concept d'ancêtre hypothétique commun

D'après Tassy (1997) c'est la mathématisation de la taxonomie⁸⁸ qui conduit au développement de deux critiques adressées à la systématique évolutive issue de la théorie synthétique de l'évolution de Dobzhansky, Mayr et Simpson.

La première critique est émise par les tenants de la taxinomie numérique qui critiquent les « hypothèses phylogénétiques vagues : tantôt il s'agissait de grades, tantôt il s'agissait de clades » (Tassy, 1991/1998, p. 144) sur lesquelles s'appuient les systématiciens évolutionnistes. Les taxonomistes numériques renoncent à la notion d'homologie qu'ils jugent vague et non applicable et ils lui substituent la mesure de la similitude globale. Elle permet la construction de phénogrammes ou dendrogrammes représentant les similitudes numériques. La mesure de la similitude globale est facilitée par l'augmentation de la puissance des calculateurs informatiques (calcul d'indices de ressemblance, de matrice de distances entre organismes...). Ce qui caractérise les phénogrammes c'est qu'ils ne renferment aucun groupe ancestral. Tassy précise que la taxinomie numérique est « restée davantage un outil destiné à tel ou tel problème particulier qu'un corpus conceptuel efficient » (2004, p. 198), justement parce qu'elle ne s'intéresse pas aux caractères individuels. Or, c'est bien du traitement des caractères individuels dont ont besoin les scientifiques pour concevoir des classifications, comme l'a déjà souligné Foucault (1966, p. 238, cité note 86).

Le second volet de critiques relève le manque de réflexion phylogénétique de la systématique évolutionniste, notamment « l'économie d'une réflexion moderne sur l'homologie » qui « restreint son champ d'application » (Tassy, 1991/1998, p. 158). C'est le développement de la biologie moléculaire et la construction de cladogrammes « de façon algorithmiquement contrôlée » (Tassy, 2004, p. 204), grâce à l'utilisation de l'outil informatique, qui assurent une autonomisation de la science phylogénétique. Avec ces outils, la phylogénétique entre, comme l'indique de Ricqlès, « dans le domaine d'une méthodologie hypothético-déductive explicite qui se substitue aux opinions d'auteurs » (1996, p. 12). Elle peut fournir des prévisions testables ouvrant la voie à de nouvelles propositions et contestations.

Le succès de la phylogénétique, à la suite des travaux de Hennig, conduit nécessairement à l'abandon de deux principes qui organisaient jusque-là la systématique évolutionniste et qui constituent, de notre point de vue, deux nouvelles conditions de possibilité de la construction du concept d'ancêtre hypothétique commun.

⁸⁸ La taxinomie comprend la science des classifications et pas seulement la dénomination des espèces.

Tout d'abord, le principe de la synapomorphie conduit à l'abandon de la recherche de l'ancêtre ou du groupe ancestral, voire du « *chaînon manquant* » pour en rester à la mise en évidence des groupes monophylétiques qui partagent les mêmes caractères apomorphes. En effet, le cladogramme « *ne nous montre pas de groupes évolués émergents de groupes primitifs mais une succession de groupes reliés deux à deux, les groupes frères* » (Tassy, 1991/1998, p. 170). De ce fait, les ancêtres situés au niveau des noeuds des cladogrammes sont « *hypothétiques, reconstruits et non directement observés* » (*ibid.*)⁸⁹. Cette façon d'envisager la phylogénie s'oppose à la vision commune, longtemps relayée par les évolutionnistes, celle d'une relation concrète ancêtre -> descendant, c'est pourquoi de Ricqlès parle de « *mutation épistémologique* » (1996, p. 9).

Le second concept qui doit être abandonné pour s'engager dans une pratique phylogénétique est celui de grade qui regroupe « *nombre de taxons familiers et de rang variés, reconnus et admis depuis longtemps comme naturels* » (*ibid.*). L'abandon des grades nécessite une reconstruction de l'arbre du vivant. De Ricqlès (*ibid.*, p. 10) relève les différentes idées communes associées au concept de grade comme la conception linéaire et continue de l'échelle des êtres vivants qui est associée à l'idée de progrès, dans une vision anthropocentriste de la nature, puisque « *les grades ou "paliers évolutifs" qui correspondent aux grands groupes traditionnels de vertébrés sont largement définis de manière négative par l'absence d'un caractère possédé par l'homme* » (*ibid.*).

1.2.4. Conclusion

L'émergence de la science phylogénétique depuis les années 1960, en appui sur les développements de la puissance de calcul des ordinateurs et de la biologie moléculaire, a conduit à une révision importante de la classification des êtres vivants. Elle est désormais basée sur la construction de groupes monophylétiques regroupés pour obtenir les taxons d'ordre supérieur.

De plus, comme le précise de Ricqlès, l'établissement des relations phylogénétiques construites à partir de principes propres, relativement indépendants des mécanismes évolutifs, vient fournir un corpus de patterns phylogénétiques qui vont venir contraindre les explications concernant les processus de l'évolution, en évitant « *les dangers de la circularité si fréquemment dénoncés, à juste titre, dans le cadre des approches traditionnelles* » (de Ricqlès, 1996, p. 12). Cela ouvre de nouvelles perspectives de recherche dans le champ de la biologie historique et évolutionniste, notamment au niveau de l'articulation entre les dimensions historiques et fonctionnelles de la biologie.

⁸⁹ La reconstruction est basée sur les caractères apomorphes partagés par les groupes frères.

Bibliographie

- Darlu P. & Tassy P. (1993). *La reconstruction phylogénétique : concepts et méthodes*. Disponible sur Internet : sfs.snv.jussieu.fr/pdf/Darlu_Tassy_online.pdf.
- de Ricqlès A. (1996). *Leçon inaugurale*. Collège de France. Disponible sur Internet : www.college-de-france.fr/media/pub_lec/UPL31988_LI_137_De_Ricql_s.pdf (consulté le 8 octobre 2008).
- Foucault M. (1966). *Les mots et les choses*. Paris : Gallimard.
- Heguerta S. (2006). L'introuvable ancêtre commun. *Hors série Sciences et avenir*, juillet/août 2006, p. 48-52.
- Lecointre G. (2006). *Ancêtre commun hypothétique ou bien réel*. Forum national de SVT. Disponible sur Internet : <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/phpBB/viewtopic.php?p=47505&sid=d791acaeea1c8806fdcadd5ee4e2d4b> (consulté le 22 décembre 2006).
- Orange-Ravachol D. & Ribaud A. (2006). Les classifications du vivant à l'école : former l'esprit scientifique ou inculquer la « bonne » solution ? À l'école des sciences, tome 1. *Spécial Grand N*, p. 181-196.
- Tassy P. (1991/1998). *L'arbre à remonter le temps*. Paris : Christian Bourgeois Éd.
- Tassy P. (1991). *Le message des fossiles*. Paris : Hachette : La Villette.
- Tassy P. (1997). L'avènement de la cladistique. *Dossier Pour la Science*, L'évolution, p. 74-76.
- Tassy P. (2004). La systématique contemporaine ; les modalités de sa renaissance. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie*, vol. 11, n° 2, p. 193-217.
- Tattersall I. (2003). *L'émergence de l'homme*. Paris : Gallimard.

Un dispositif d'enseignement-apprentissage pour construire le concept d'ancêtre hypothétique commun

Sandrine Faure, Collège André Maurois de Deauville (14)

Jean-Philippe Canu, Collège Charles Lemaître d'Aunay sur Odon (14)

Armelle Roland, Collège Jean Macé d'Argences (14)

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes

1. Premier temps de travail : une évaluation diagnostique

est apparu sur Terre.

Les élèves sont invités à produire un schéma et un texte où ils doivent expliquer comment l'homme moderne

2. Deuxième temps de travail : la confrontation à un corpus de données

sont confrontés à un corpus de documents présenté en annexe 1. Pour cela, nous avons choisi trois espèces de la façon suivante : nous avons choisi deux espèces actuelles et une espèce fossile de sorte que l'espèce fossile (l'australopithèque) et une espèce actuelle (homme moderne) appartiennent à un groupe monophylétique auquel n'appartient pas la deuxième espèce actuelle (le singe). Cela empêchera la construction d'une histoire linéaire lorsque l'on introduira le respect d'une contrainte de temps dans la tâche proposée aux élèves. Nous avons choisi l'homme moderne et le chimpanzé comme espèces actuelles et australopithecus afarensis comme espèce fossile.

À partir du corpus de documents, les élèves et le professeur font une comparaison à partir de caractères présentés qui, pour chaque espèce, correspondent à un état primitif ou un état dérivé :

- le plan d'organisation (les trois espèces étudiées ont le même plan d'organisation qui constitue un caractère dérivé par rapport à des plans d'organisation plus ancestraux)
- le volume cérébral (caractère primitif : faible volume crânien ; caractère dérivé : volume crânien élevé) ;
- la forme du bassin, du tibia et de l'angle fémuro-tibial qui indiquent le mode de locomotion régulier (caractère primitif : quadrupédie ; caractère dérivé : bipédie) ;
- la forme de la mâchoire inférieure (caractère primitif : forme en U ; caractère dérivé : forme en V) ;
- l'épaisseur de l'émail des dents (caractère primitif : émail épais ; caractère dérivé : émail mince).

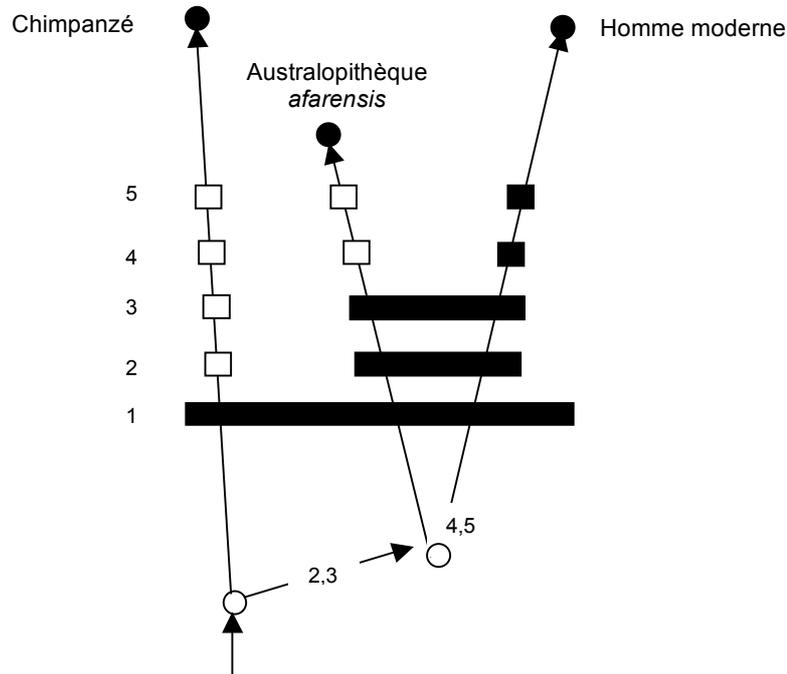
Le tableau 1. récapitule le travail ces différentes données. La comparaison est réalisée avec tout le groupe, même si les notions de caractère primitif et de caractère dérivée ne sont pas énoncées dans le temps de la formation.

Tableau 1. Comparaison de différents caractères chez l'homme moderne, le chimpanzé et l'australopithèque

Caractères comparés	Homme moderne	Chimpanzé	Australopithèque
Plan d'organisation (1)	Caractère dérivé	Caractère dérivé	Caractère dérivé
Volume crânien (5)	1 300 à 1 500 cm ³ Caractère dérivé	380-440 cm ³ Caractère primitif	500 cm ³ Caractère primitif
Mâchoire inférieure (4) et épaisseur émail (3)	Mâchoire en V Caractère dérivé Dent à émail épais Caractère dérivé	Mâchoire en U Caractère primitif Dent à émail mince Caractère primitif	Mâchoire en U Caractère primitif Dent à émail épais Caractère dérivé
Forme du bassin, du tibia, angle fémuro-tibial (2)	Locomotion bipède Caractère dérivé	Locomotion quadrupède Caractère primitif	Locomotion bipède Caractère dérivé

Du point de vue du savoir scientifique actuel, la mise en œuvre des principes phylogénétiques permet de construire l'arbre phylogénétique de la figure 1.

Figure 1. Relations de parenté entre les 3 taxons étudiés fondées sur 5 caractères, dans le cadre phylogénétique
 1 : plan d'organisation ; 2 : mode de locomotion ; 3 : épaisseur de l'émail ; 4 : forme de la mâchoire ; 5 : volume crânien. En noir : état dérivé (= apomorphe) des caractères ; en blanc : état primitif (= plésioporphe).



Ainsi, compte tenu des taxons considérés, l'australopithèque, l'homme moderne et leur ancêtre commun hypothétique forment un groupe monophylétique partageant le caractère apomorphe bipède et émail épais. L'homme moderne, l'australopithèque et le chimpanzé ont hérité d'un ancêtre hypothétique commun le caractère dérivé : plan d'organisation.

Dans un troisième temps de travail, les élèves devront expliquer l'origine de l'homme moderne à partir de ce corpus de données.

3. Troisième temps de travail : reconstitution des relations phylogénétiques entre ces trois espèces

À partir de trois vignettes qui récapitulent les caractères étudiés de ces trois espèces, les élèves doivent reconstituer, individuellement, sur une échelle de temps en abscisse, les relations généalogiques entre ces trois espèces. Les caractères étudiés et l'échelle temporelle jouent le rôle de contraintes de situation. Les productions individuelles sont analysées, ce qui permet de constituer des groupes d'élèves ayant établi des relations similaires entre espèces.

4. Quatrième temps de travail : un travail de groupe

À l'issue du deuxième temps de travail, des groupes d'élèves sont constitués.

Chaque groupe d'étudiants doit, à partir des productions individuelles construites lors du deuxième temps de travail, produire une représentation des relations généalogiques des trois espèces. Les productions individuelles doivent être confrontées et mises en cohérence par rapport aux périodes d'existence des espèces étudiées introduites préalablement à ce temps de travail (tableau 2). C'est l'introduction de ces nouvelles contraintes de situation qui doit permettre aux étudiants de poser le problème de la structure linéaire de l'apparition de l'homme moderne.

Tableau 2. Période d'existence des différentes espèces

	<i>Homme moderne</i>	<i>chimpanzé</i>	<i>australopithèque</i>
<i>Période d'existence de l'espèce</i>	Espèce connue depuis 110 000 ans	Espèce connue depuis 550 000 ans	Espèce connue dans la documentation paléontologique entre 5 et 2,2 millions d'années

Les différents groupes d'élèves pour produire une nouvelle représentation qui répond aux mêmes contraintes que la production individuelle réalisée lors de l'étape précédente.

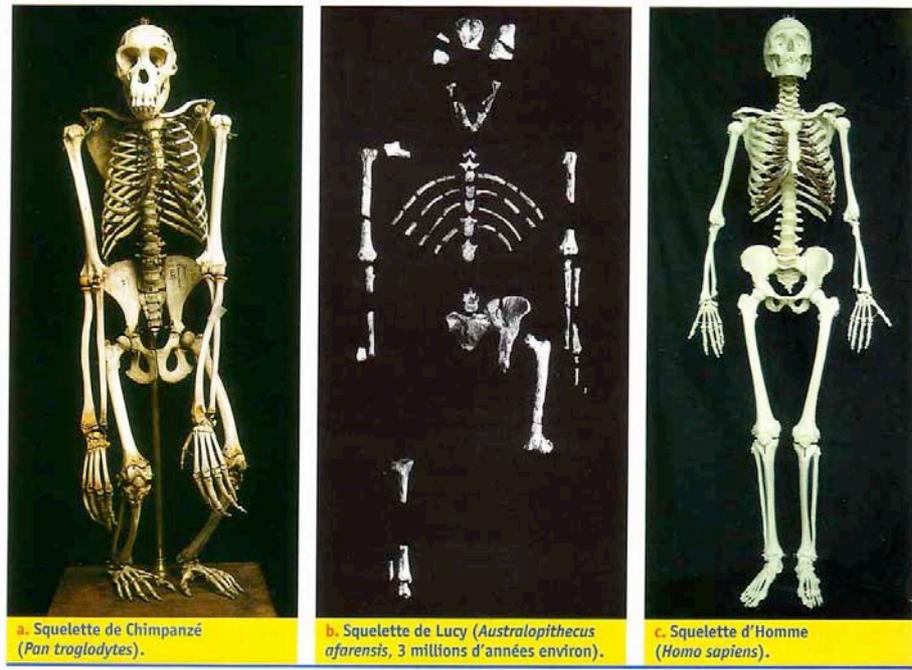
5. Cinquième temps de travail : le débat scientifique

discussion critique.

Les différentes productions de groupe sont présentées oralement en grand groupe et elles sont soumises à une

Annexe 1. Corpus de documents

Caractères plan d'organisation et volume crânien



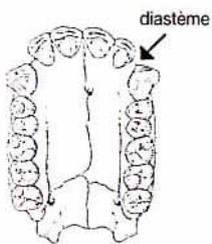
Volume crânien

380 à 440 cm³

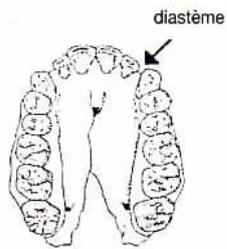
500 cm³

1 300 à 1 500 cm³

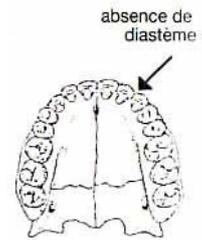
Caractères forme de la mâchoire inférieure et épaisseur de l'émail



Forme en U
Dent à émail mince



Forme en U
Dent à émail épais



Forme en V
Dent à émail épais

La construction du concept d'ancêtre commun par des élèves de 4^e : corpus de données

Sandrine Faure, Collège André Maurois de Deauville (14)

Il s'agit de la retranscription d'une séance menée dans une classe de 4^e.

🔍 **Problème** : Quelle est l'origine de la lignée humaine ?

Travail sur l'origine de l'espèce humaine (Homo Sapiens = homme actuel).

1. Activité 1 :

À l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'Homo Sapiens est apparu sur Terre.

Dans toutes les représentations du groupe filmé (1/2 classe) les élèves pensent que Homo sapiens (HS) descend du singe. Singe → HS (marqué au tableau).

2. Première phase du débat

Retranscription :

Prof : On va s'intéresser à la dernière. Dans toutes les fiches vous m'avez marqué : « singe qui s'est transformé ou qui a donné où qui a évolué en HS ». Je voudrais savoir qu'est-ce qui vous a fait penser que le singe a donné l'Homme ? Qu'il est l'ancêtre de l'Homme ?

Emmanuel : Le singe a évolué. Il y a plusieurs embranchements et au fil du temps il a comme les autres espèces animales, il a évolué. Il a descendu des arbres et puis il s'est adapté à son milieu.

Prof : Mais qu'est-ce qui vous fait penser qu'on descend du singe ? Est-ce qu'on a des preuves de ça ?

Antoine : il a la même morphologie.

Prof : Il a la même morphologie.....

Antoine : Le crâne, tout ça.

Prof : D'accord, donc sur des arguments physiques.

Il n'y a rien d'autre qui vous fait penser ça ?

Il y en a qui ont rajouté d'autres choses.

Benoît : Au début, il était tout petit puis après il a commencé à développer son corps.

Prof : On a des preuves de ça ?

Igor : La théorie de Darwin.

Prof : La théorie de Darwin... Est-ce qu'on a des preuves physiques.

Antoine : On a retrouvé des os.

Prof : On a retrouvé des os... Des os de quoi ?

Emmanuel : on a retrouvé des squelettes fossilisés, ... (incompréhensible)..... qui ont au fil du temps avec les roches qui les ont fossilisés ces os. On a pu savoir de combien de temps ils datés et établir une échelle.

Prof : Vous avez tous entendu parler de ces squelettes qui ont été retrouvés ?

Classe : Oui.

Prof : Qui a dit oui ?

Camille : aux informations

Prof : Tu as vu ça aux informations ; est-ce qu'ils ont donné des noms ? Est-ce que tu peux me dire des choses sur ces squelettes ? Non ?

Igor : oui, il y a Lucy.

Classe, bruit de fond : Oui .

Prof : Vous avez tous entendu parler de Lucy ?

Plusieurs élèves : Bien oui

Camille : C'était un singe.

Prof : C'est un singe, Lucy ?

Camille :: Un Homme préhistorique

Ludovic : Une espèce de singe.

Prof : Une espèce de singe....

Au tableau le prof ajoute sur le coté : Lucy = espèce de singe, homme préhistorique.

Prof : Vous la mettriez où vous Lucy la dedans
(prof montre au tableau Singe → HS)

Classe : bruit de fond :

Prof Là sur la ligne Singe → HS)

Classe : nouveau bruit de fond :

Un élève ? : au milieu

Igor : non à la fin.

Prof : Quel que part entre les deux ?

Camille : non plus proche du singe ;

Igor : plus vers HS.

.Prof : en tout cas quelque part entre singe et HS. Donc au tableau on marque :
Singe → Lucy → Homo Sapiens
Ça vous va comme ça ?

Igor : Je pensais que Lucy était un Homo Sapins

Prof : Nous sommes des Homo Sapiens

Igor : Oui mais un vieux comme nous

Prof : Tu l'as mettrais plus proche de nous, c'est ça ?

Igor : Oui

Prof : D'accord

Prof : Qu'est-ce qui vous fait penser que le singe est l'ancêtre de Lucy ?

Emmanuel : Le singe vu au début ses mouvements, en fait il marchait sur ses 4 pattes. Et on a vu que grâce au squelette qu'avec le temps le singe est devenu bipède.

Prof : Il est devenu bipède. Il faut qu'on regarde donc des tableaux de comparaison entre morphologie du singe et de Lucy.

Vous avez d'autres arguments ?

Ludovic : Il a un peu des deux.

Prof : Il a un peu des deux...

Ludovic : Il a du singe et de l'Homme.

Il y a t-il un singe qui se rapproche le plus de l'Homme ?

élève ? : Chimpanzé

Camille : Non le Gorille

Prof : En réalité ces singes ont été étudiés, celui qui génétiquement nous ressemble le plus c'est le chimpanzé. Donc je vais vous distribuer un petit texte sur le chimpanzé.

3. Travail sur un corpus de documents

Parmi les documents :

- Texte sur le comportement « social » des chimpanzés ;

- Distribution d'un document sur Lucy

Correction au tableau de leur tableau.

	Chimpanzé	Australopithèque (Lucy)	Homo Sapins
1. Volume du cerveau	380 à 440 cm ³	500 cm ³	1300 à 1500 cm ³
2. Mâchoires	Forme U	Forme U	Forme en V
3. Mode de locomotion	Quadrupédie	Bipédie	Bipédie
4. Période de vie			

4. Deuxième phase de débat

Retranscription :

Prof : Est-ce que ça va bien dans le sens que vous m'avez proposé tout à l'heure : Le singe qui a donné Lucy et qui a donné HS ?

Antoine : Oui

Camille (redoublant) : Non c'est le contraire c'est Lucy qu a donné le singe qui a donné HS

Antoine Non

Camille + Florian : Mais si

Prof : Qu'est ce qui te fais dire ça ?

Camille : mon intuition.

Igor : Non je ne pense pas car il y avait la forme de U, elle correspond avec la forme de la mâchoire de Lucy e. et le mode de locomotion de Lucy correspond au mode de locomotion d'HS

Prof : D'accord, donc tu me dis que le singe a une mâchoire en U qu'on a retrouvé chez l'australopithèque là , (prof suit du doigt au tableau). Chez l'homme là elle s'est transformée en V. et par contre...

Igor :Le mode de locomotion c'est le même chez l'austral. Et chez HS

Prof : Oui, 'est vrai.

Emmanuel : le volume du cerveau, on voit qu'il a évolué, la boîte crânienne a évoluée, elle augmente. Chez le singe elle était inférieure à celle de Lucy.

Prof : Oui d'accord, donc la boîte crânienne, le volume de cerveau augmente. Donc ça va bien dans ce sens ? (prof montre : Singe → Lucy → Homo Sapiens)

Igor , Emmanuel, Antoine : Oui

Prof : Donc si ça marche, en condition vérifiable on doit trouver des périodes de vie allant de ..

Prof et quelques élèves : singe australo, HS

Prof : on va vérifier, je vais vous donner les périodes de vie.

Prof : Le chimpanzé : il est apparu : il y a -550 000 ans jusqu'à maintenant. Il vit encore le chimpanzé.

Camille : mais avant il était aussi intelligent qu'il est aujourd'hui....

Prof : il y a -550 000 ans il lui ressemblait. On a retrouvé des fossiles. Le plus ancien chimpanzé a - 550 000 ans.

Donc l'austral. devrait être plus jeune ou plus vieux que - 555 000ans.

Classe : plus jeune.

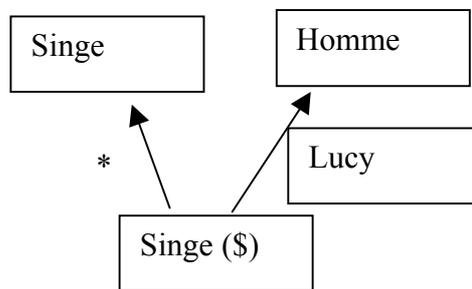
Prof : Oui plus jeune si votre hypothèse tient la route. En réalité il est apparu, il - 5 millions d'années et a disparu il y a -2.2 millions d'années. Et l'homme est apparu, il y a - 110 000 ans.

Alors est ce que ça tient toujours ?

	Chimpanzé	Australopithèque (Lucy)	Homo Sapins
1. Volume du cerveau	380 à 440 cm ³	500	1300 à 1500 cm ³
2. Mâchoires	Forme U	Forme U	Forme en V
3. Mode de locomotion	Quadrupédie	Bipédie	Bipédie
4. Période de vie	Connu depuis 550 000 ans	5 Ma à 2.2 Ma	Connu depuis 110 000 ans

Igor : C'est parce que le chimpanzé c'est 2 lignes différentes qu'ont évolué en même temps. Et l'Australo et lui avait un cousin en commun qui remonte à plus loin. Il y a une division entre le singe qui été au début ; ça a fait d'un côté les chimpanzés et de l'autre les Australo.

Prof : Est-ce que tu peux venir nous montrer ça au tableau.



Prof : ce singe (\$) là il est plus vieux que lucy ?

Igor : Oui mais les chimpanzés sont ici (*) ; ce singe (\$) c'est pas un chimpanzé.

Prof : Vous êtes d'accord avec ça.

Classe : Oui

Prof : Alors qu'est ce que vous mettez là ?

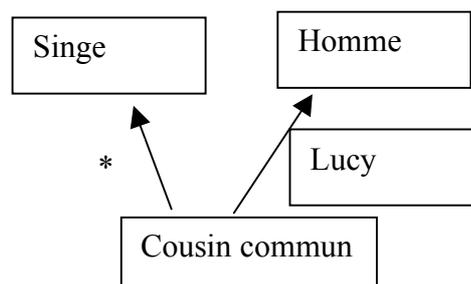
Camille Et bien là on sait pas.

Emmanuel : c'est des mammifères qui ont évolué

Classes : bruit de fond, gorille ...

Prof : Tous les singes que vous m'avez cités tout à l'heure sont tous plus jeunes que lucy.

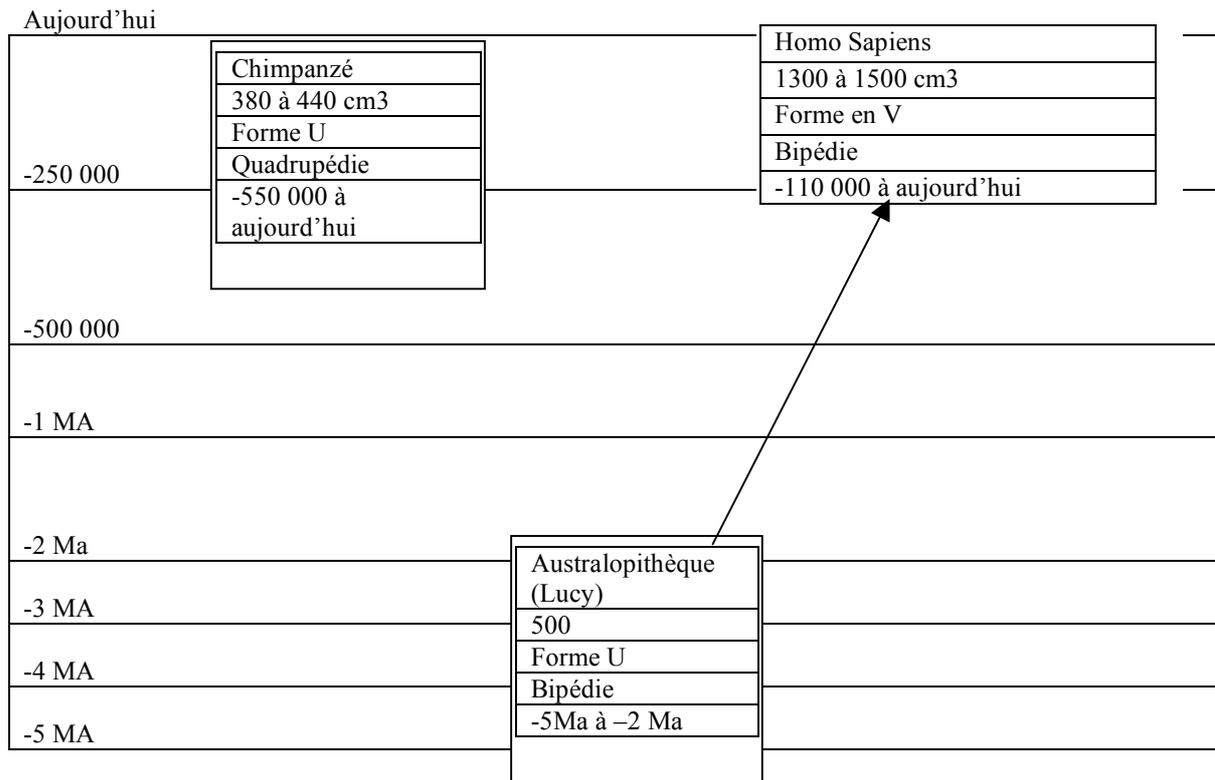
Igor : Je ne sais pas ce que ça peut être... c'est un cousin en commun.



Prof : pour s'y retrouver on va faire une construction comme lui ; On va reprendre votre tableau, le découper puis le remettre sur une échelle des temps pour savoir qui est l'ancêtre de qui.

5. Construction individuelle (les élèves d'une même paillasse ont la même chose) et discussion avec chaque binôme

■ **Groupe 1. Présentation d'Igor**



Igor : C'est pas les mêmes ; Ils ne vont pas ensemble ;

Prof : qu'est ce qui ne va pas ensemble ?

Igor : Ces deux là vont ensemble (HS et lucy) mais lui (Ch) est à part.

Prof : Tu penses que Lucy...

Igor : ...est le descendant (ancêtre sur le schéma) d'HS mais pas du chimpanzé .

Prof le chimpanzé est à part. Qu'est-ce qui te fait dire que Lucy n'est pas l'ancêtre du CH.

Igor : Déjà par rapport à l'âge...

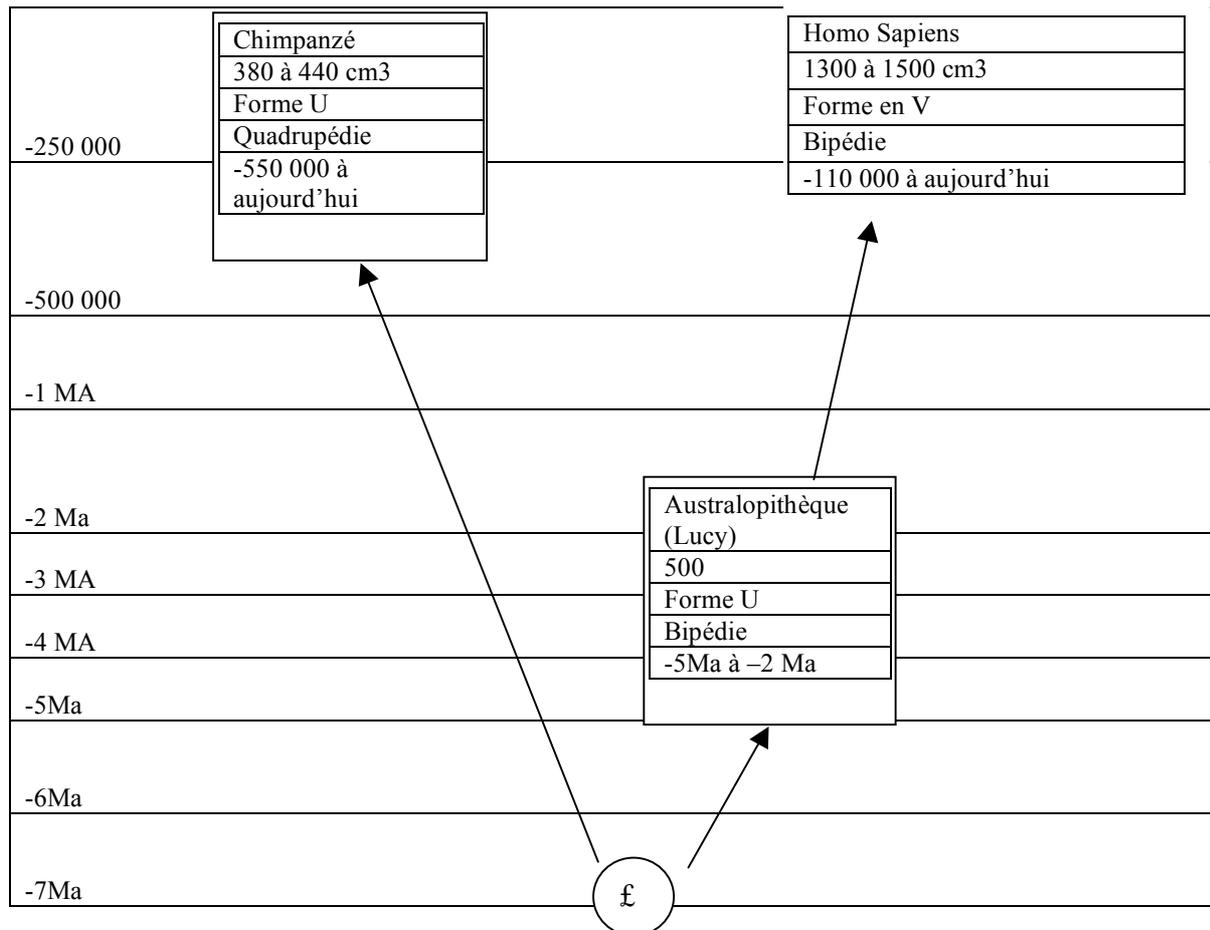
Igor : Non, si ,si par rapport à l'âge ça serait possible (silence)

Prof : Et sinon. On a vu que le chimpanzé avait des caractères en communs avec nous ; On se ressemble. Comment t'expliquerais qu'on se ressemble ?

Igor : ça vient de plus bas

Prof : Vas-y dessine un rond plus bas ;;; Dessine tes flèches.

■ **Présentation groupe 2**



Prof : ça tient la route. Il faudrait maintenant que tu trouves des arguments pour m'expliquer pourquoi le chimpanzé descendrait de cet ancêtre là (§) et pourquoi il ne descendrait pas directement de Lucy ?

On va te laisser, on va passer ;;;

Igor : Il ne pouvait pas être sur 2 pattes (il montre Lucy) puis sur 4 pattes (Chimp) et s'être remis à 2 pattes (HS)

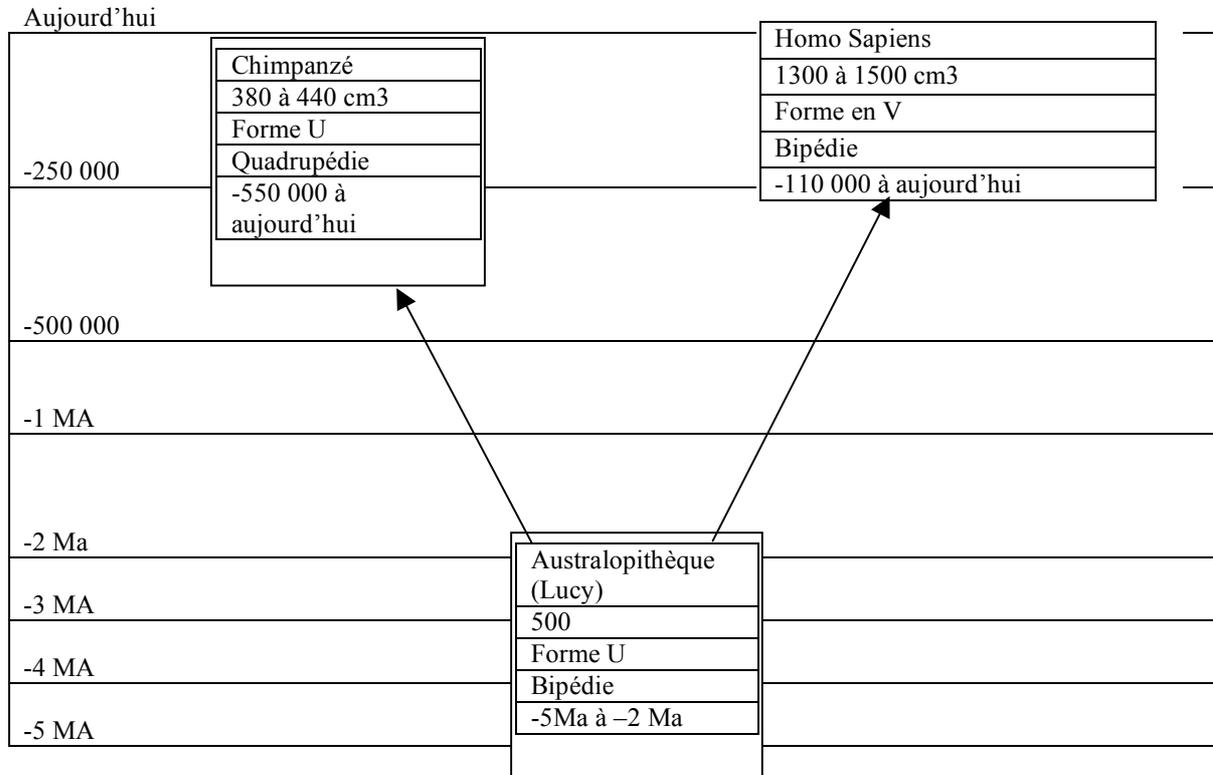
Prof : ce qui t'embête c'est que celui ci (Lucy) savait marcher debout, celui ci (Ch) marchait à 4 pattes, et HS debout.

Igor : Oui

Prof : D'accord c'est un argument. Tu peux me le mettre par écrit.

■ **Présentation du groupe 3**

Représentation Antoine (plusieurs élèves comme le voisin d'Antoine placent le chimpanzé à côté de l'australopithecus)



Prof : Qui est l'ancêtre de qui ?

Antoine : lucy est l'ancêtre des 2

Prof : Sur quels arguments t'appuies-tu ?

;;silence ;;Déjà expliques moi pourquoi tu penses que lucy est l'ancêtre de l'Homme.

Antoine : Le crâne a augmenté », il marchait à 2 pieds ;;c'est tout

Prof : et de là (Lucy) à là (Ch) ?

Antoine : il y a la forme en U et c'est tout...

Prof d'accord remet ça par écrit...

■ **Présentation du groupe 4**

Changement de paillasse : même représentation qu'Antoine pour les 2 autres paillasses avec une variante pour Elina pas de flèche entre Lucy et HS ; ;

Elina : Lucy est l'ancêtre du chimpanzé.

Prof : Qu'est ce qui te fais penser que lucy est l'ancêtre du CH

Elina : ç a me paraît logique

Prof : sur quelles données scientifiques ?
Silence...

Prof : pourquoi lucy n'est t-elle pas l'ancêtre de HS

Fin de l'Heure : remettre par écrit leurs arguments.

5. Séance de la semaine suivante

La semaine suivante pas de caméra mais
en 10 minutes « « le problème était
régulé » »

Antoine est venu présenter sa version. Tous les élèves étaient d'accord sauf les trois de la paillasse d'Igor.

Igor a avancé son argument sur la bipédie et là tout le monde a adopté la solution d'Igor.

Comment des étudiants préparant le CRPE⁹⁰ construisent le concept d'ancêtre commun

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Résumé

L'objet de cette communication est de comprendre quel modèle de l'évolution des étudiants préparant le concours de recrutement de professeurs des écoles (CRPE) (majeure « sciences et technologie ») mobilisent pour expliquer l'apparition de l'homme moderne. Il s'agira également de déterminer à quelles conditions les étudiants peuvent construire la nécessité d'un ancêtre commun dans le cadre d'un dispositif conçu pour confronter les étudiants au problème de l'ancêtre commun.

Les résultats présentés montrent que la plupart des étudiants mobilisent une conception linéaire de l'évolution (évolution intra et supraspécifique). Au terme du dispositif, même s'ils représentent les relations phylogénétiques entre l'australopithèque, le chimpanzé et l'homme moderne sous une forme buissonnante, ils mobilisent toujours une conception linéaire de l'évolution. C'est lors du débat scientifique que les étudiants construisent le problème de l'ancêtre commun hypothétique.

Mots clés⁹¹ : évolution, arbre phylogénétique, enseignement supérieur, apprentissage basé sur la résolution de problème,

Abstract

The aim of this paper is to understand what kind of model of the Evolution, students preparing the competitive examination of primary-school teachers use to explain the appearance of Homo sapiens sapiens. We will also try to determinate how students construct and use the notion of a common ancestor. What are the required conditions to think the necessity of a common ancestor? A special plan of action has been constructed to study student's conceptions.

Our results show that most of the students mobilize a linear conception of the Evolution (intra and supra specific's Evolution). And, even if they draw a bushy form of the phylogenetic relations between Australopithecus afarensis, the chimpanzees and Homo sapiens sapiens, they still use a linear conception of the Evolution. These results show also that it is during the scientific debate that students construct the problem of an hypothetical common ancestor.

Key words : evolution, phylogenetic tree, higher education, problem-based learning

⁹⁰ Concours de recrutement de professeurs des écoles

⁹¹ Indexation avec le thésaurus TermSciences, disponible sur Internet : <http://www.termsciences.fr/>

1. Introduction

L'objet de cette communication est de comprendre quel modèle de l'évolution des étudiants préparant le concours de recrutement de professeurs des écoles (CRPE) (majeure « sciences et technologie ») mobilisent pour expliquer l'apparition de l'homme moderne. Il s'agira également de déterminer à quelles conditions les étudiants peuvent construire la nécessité d'un ancêtre commun dans le cadre d'une séance de formation de sciences de la vie et de la Terre (SVT) à l'IUFM de Basse-Normandie (centre de Saint Lô).

2. Le concept d'ancêtre commun : approche épistémologique, intérêt didactique

Cette idée de distinguer, comme de Ricqlès (2006, p. VIII), les patterns des process de l'évolution nous a poussé à concevoir un dispositif d'enseignement qui permet d'aborder la question de l'évolution des espèces, du côté de la phylogénie et non des mécanismes de l'évolution (même si ces mécanismes sous-tendent la phylogénie). En effet, avec des étudiants qui préparent le CRPE, il nous a semblé intéressant de travailler le concept d'ancêtre commun⁹² hypothétique qui constitue une des notions essentielles de la théorie de l'évolution (Heguerta, 2006, p. 48). Ce concept permettra aux enseignants de comprendre la classification scientifique du vivant qui est organisée comme un ensemble emboîté (Lecointre, 2004) où l'on classe « *dans un même groupe des organismes qui partagent des caractères homologues* » ; l'ensemble de ces attributs qu'ils partagent « leur a été transmis par voie héréditaire par un ancêtre commun » (Lecointre, 2004, p. 65). Ainsi, un ancêtre commun représente « *les parents dont les descendants non identiques, se sont séparés pour constituer deux espèces différentes. [...] Il s'agit d'une fiction⁹³ qui résume simplement une très large diversité d'hypothèses concernant les événements susceptibles d'aboutir à l'émergence d'une nouvelle espèce et dont la plupart sont impossibles à préciser* » (Heguerta, 2006, p. 50).

De nombreux travaux en didactique des SVT ont montré que les apprenants mobilisent des explications transformistes pour expliquer l'évolution des êtres vivants (Fortin, 2000 ; Crépin, 2002). Dans le cas de l'histoire de la lignée humaine, les élèves expliquent l'apparition de l'homme moderne à partir du singe par une série de transformations régulières définies par Fortin comme une évolution intraspécifique (2000, p. 92) qui est ensuite généralisée « *à une évolution supraspécifique. Le passage d'une classe à une autre est alors assurée par des "transmutations" des Poissons aux Mammifère* » (Fortin, 2000, p. 93). Ces explications « *en terme d'histoire évolutive tendent à la concevoir [l'apparition*

⁹² Comme le rappelle Tattersall (2003, p. 138), c'est à Charles Darwin et Alfred Russel Wallace « *qu'il revient d'avoir découvert la notion de "descendance d'ancêtre commun", grâce à laquelle il était désormais possible d'expliquer l'ordre existant dans la nature* ».

⁹³ C'est une fiction dans le sens où, comme le précise Lecointre (2006), « *nous n'avons pas accès à l'identité individuelle des ancêtres. Nous ne pouvons connaître d'eux que certains traits. Même s'ils ont bien existé, ils resteront à jamais à notre connaissance que des portraits robots, des puzzles incomplets, et non des réalités concrètes. C'est pour cela que l'on dit "ancêtre commun hypothétique". La reconstitution que je peux en donner est hypothétique.* »

de l'homme] comme un lent mouvement de perfectionnement de nos adaptations au cours du temps » (Tattersall, 2003, p. 137). Comme le rappelle Gould (1998, p. 30) : « la marche du progrès est la représentation archétypale de l'évolution – son image même, immédiatement saisie et instinctivement comprise par tout le monde ». Ainsi, il nous a semblé que l'exemple de l'apparition de l'homme pouvait être un exemple prototypique pour construire le concept d'ancêtre commun hypothétique, puisqu'à la convergence de plusieurs difficultés : la difficulté de penser l'espèce humaine comme une espèce vivante comme une autre pouvant venir s'ajouter la difficulté de penser que les mécanismes de l'évolution expliquant son apparition sont les mêmes que ceux qui régissent l'évolution de tous les êtres vivants⁹⁴.

Comme nous inscrivons nos travaux dans le cadre de l'apprentissage par problématisation (Fabre & Orange, 1997 ; Orange, 2002, 2005) où ce qui importe dans l'activité scientifique est de pouvoir établir le caractère de nécessité des réponses produites (Canguilhem, 2003, p. 58 ; Fabre, 1999, p.194), nous allons chercher à comprendre comment des étudiants préparant le CRPE (option majeure « sciences et technologie ») peuvent construire la nécessité d'un ancêtre commun hypothétique pour expliquer l'apparition de l'homme moderne. Le dispositif présenté maintenant a été conçu pour permettre la construction de cette nécessité.

3. Le dispositif d'enseignement et le corpus de données

Le dispositif mis en œuvre a été conçu dans le cadre d'un groupe de formation action (GFA) de l'IUFM de Basse-

Normandie réunissant des chercheurs en didactique des SVT et des professeurs du second degré⁹⁵. Le dispositif, initialement mis en œuvre dans des classes de 4^e (13-14 ans), a été proposé à vingt étudiants du centre de Saint-Lô de l'IUFM de Basse-Normandie (séance de travail d'une heure et demie).

Le questionnaire concerne l'histoire de l'apparition de l'homme. Il se développe à travers 5 phases de travail.

■ 3.1. Étape 1 : évaluation diagnostique (travail individuel : 20 productions)

Les étudiants doivent produire un schéma et un texte pour expliquer comment l'homme moderne est apparu sur Terre.

⁹⁴ Le terme d'hominisation forgé pour rendre compte du processus d'apparition de l'homme pouvant venir renforcer « l'impression que non seulement notre espèce est unique en son genre, mais que le mécanisme évolutif qui nous a façonné l'est tout autant » (Tattersall, 2003, p. 137).

⁹⁵ L'auteur tient à remercier ses collègues enseignants du second degré de l'académie de Caen impliqués dans le groupe de formation action (GFA) « Problématisation et apprentissage en SVT », en particulier Sandrine Faure, Collège André Maurois de Deauville (14) ; Jean-Philippe Canu, Collège Charles Lemaître d'Aunay sur Odon (14) et Armelle Roland, Collège Jean Macé d'Argences (14). C'est à partir des travaux de ce GFA que ce travail a été mené.

■ **3.2. Étape 2 : comparaison de certains caractères homme moderne / chimpanzé / australopithèque (travail en groupe classe)**

Trois espèces sont présentées et différents caractères sont comparés. La comparaison s'effectue à partir de documents qui présentent pour chaque espèce :

- le squelette et le volume cérébral ;
- la forme de la mâchoire inférieure et de l'épaisseur de l'émail des dents ;
- la forme du bassin, du tibia et de l'angle fémuro-tibial.

Le tableau 1 récapitule le travail de comparaison réalisé à ce moment de la séance.

Tableau 1. Comparaison de différents caractères chez l'homme moderne, le chimpanzé et l'australopithèque

Caractères comparés	homme moderne	chimpanzé	australopithèque
Volume crânien	1 300 à 1 500 cm ³	380-440 cm ³	500 cm ³
Mâchoire inférieure et épaisseur émail	Mâchoire en V Dent à émail épais	Mâchoire en U Dent à émail mince	Mâchoire en U Dent à émail épais
Forme du bassin, du tibia, angle fémuro-tibial	Locomotion bipède	Locomotion quadrupède	Locomotion bipède
Période d'existence	connue depuis 110 000 ans	Connue depuis 550 000 ans	connue entre 5 et 2,2 millions d'années

■ **3.3.Étape 3 : reconstitution des relations phylogénétiques entre ces trois espèces (travail individuel : 20 productions individuelles)**

À partir de trois vignettes qui récapitulent les caractères de ces trois espèces, les étudiants doivent reconstituer sur une échelle de temps (en abscisse), les relations phylogénétiques entre ces trois espèces. Les caractères étudiés et l'échelle temporelle jouent le rôle de contraintes de situation⁹⁶. Les productions individuelles sont analysées par le formateur qui constitue des groupes de stagiaires ayant proposés des représentations similaires.

■ **3.4. Étape 4 : reconstitution des relations phylogénétiques entre ces trois espèces (travail en groupe : 5 productions de groupe)**

Chaque groupe d'étudiants doit produire une représentation des relations phylogénétiques des trois espèces en tenant compte, en plus des contraintes de situation précédentes, des données concernant les périodes d'existence des trois espèces étudiées (tableau 1). Cette nouvelle contrainte est introduite pour empêcher les représentations linéaires de l'évolution.

⁹⁶ Cette idée de contrainte de situation indique que ces sont les éléments que les étudiants doivent nécessairement prendre en compte pour la réalisation de la tâche.

Un seul étudiant⁹⁷ produit une représentation qui fait référence à la notion d'ancêtre commun. L'utilisation de cette notion est associée à une représentation buissonnante⁹⁸ puisqu'à partir de chaque ancêtre commun se séparent deux types d'organismes qui « évoluent différemment ». Il convient de préciser, que la mobilisation d'une évolution buissonnante s'accompagne d'un certain doute sur les notions d'adaptation, d'évolution, de complexification (des signes égaux sont placés entre ces mots). Ces résultats sont en cohérence avec les travaux de didactique des SVT publiés. Nos résultats attestent que les obstacles de la transformation facile (Rumelhard, 1995, p. 336-337, Orange & Orange-Ravachol, 2004, p. 31) et du progrès (Gould, 1997⁹⁹ ; Tattersall, 2003, p.148) sont très présents.

■ 4.2. Les productions individuelles de la phase 3

Le travail des étudiants, à partir des trois vignettes (représentant l'homme moderne, le chimpanzé et l'australopithèque), se traduit par quelques modifications dans leurs propositions puisque à la fin de cette étape, nous pouvons identifier trois types de représentations.

La plupart des étudiants ayant produit une représentation linéaire de l'évolution des êtres vivants lors de l'évaluation diagnostique adaptent leur modèle et proposent une succession linéaire des espèces du chimpanzé à l'homme moderne. Six étudiants ayant mobilisé, au départ, une explication linéaire de l'évolution distinguent maintenant deux branches liées l'une à l'autre. La branche du chimpanzé se maintient jusqu'à présent et la branche de la lignée humaine « descend » du chimpanzé pour conduire jusqu'à l'homme moderne. La situation proposée permet à trois étudiants¹⁰⁰ de mobiliser la notion d'ancêtre commun. Ils placent l'ancêtre commun à la base de branches qui mènent aux espèces étudiées. Il nous semble que la contextualisation proposée ici permet la mobilisation de savoirs construits précédemment, même si les conceptions transformistes restent largement dominantes. Il nous à voir si la quatrième étape va permettre aux étudiants de rompre avec une représentation linéaire de l'évolution et, par là, de construire le concept d'ancêtre commun hypothétique.

■ 4.3. Les productions de groupe (phase 4)

La prise en compte de la contrainte « période de vie connue » conduit à une modification importante des productions des étudiants (annexe 1). À la suite du travail en groupe, les cinq groupes font appel à la notion d'ancêtre commun pour représenter l'histoire évolutive

⁹⁷ Cette représentation est proposée par un étudiant ayant un cursus de 3^e cycle universitaire en biologie cellulaire.

⁹⁸ « L'évolution de la vie à la surface de la planète et conforme au modèle du buisson touffu, et continuellement élagué par le sinistre sécateur de l'extinction » (Gould, 1998, p. 34).

⁹⁹ « Les proclamations en faveur du progrès sont emblématiques de la conception conventionnelle qui voit dans les tendances des entités en mouvement. De l'infinie diversité de la vie, nous entité censée représenter une essence platonicienne, telle la "complexité moyenne" ou "la plus complexe des créatures", puis nous suivons la prétendue croissance de cette entité au cours du temps. Nous qualifions ensuite de progrès cette tendance à l'accroissement, et nous nous enfermons dans l'idée que ce progrès est la dynamique fondamentale de toute évolution » (Gould, 1997, p. 181).

¹⁰⁰ Ces trois étudiants ont un cursus de deuxième cycle universitaire en biologie.

des espèces étudiées. Il nous semble que ces premiers résultats montrent l'intérêt de la situation proposée pour confronter les étudiants au problème de la reconstitution d'une histoire évolutive. En effet, le dispositif, à lui seul, oblige les étudiants à rompre avec une schématisation linéaire de l'histoire évolutive.

Maintenant, nous allons chercher à comprendre comment les étudiants expliquent leurs productions. Pour commencer, nous remarquons que les quatre groupes d'étudiants proposant une représentation du type 1, font appel à un seul ancêtre commun (ancêtre commun au chimpanzé et à la lignée humaine¹⁰¹), alors que dans la représentation 2, ce groupe y fait appel deux fois. Cela pourrait indiquer, dans le second cas, une reconstruction plus opératoire de la nécessité de l'ancêtre commun pour expliquer l'histoire évolutive des espèces. L'analyse de quelques échanges entre étudiants (étape 5 : discussion critique des modèles) devrait nous permettre d'aller plus loin dans cette interprétation.

■ 4.4. La discussion critique : analyse et discussion

La méthodologie d'analyse des échanges utilisée repose sur les distinctions proposées par Orange (2000) dans le cadre de l'analyse de la problématisation pendant les débats scientifiques. Orange (*ibid.*) distingue les éléments du registre empirique des éléments du registre du modèle. La mise en relation (ou « *mise en tension* »), au sein d'un raisonnement, entre des éléments du registre empirique et des éléments du registre du modèle permet d'établir le caractère de contrainte ou le caractère de nécessité des ces différents éléments. C'est à partir de cette première analyse que nous pouvons construire l'espace des contraintes en jeu dans la discussion critique. Trois extraits de la discussion seront présentés dans cette contribution.

Extrait 1 :

3	Formateur	Voilà un mode de représentation de la lignée humaine [représentation de type 1]. Est-ce qu'un membre d'un des groupes qui a proposé cette représentation peut venir l'expliquer au tableau.
4	Peggy	Alors, on a comparé un peu entre eux et on s'est aperçu que le chimpanzé et l'australopithèque, ils avaient tous les deux une mâchoire en U, donc on s'est dit qu'ils avaient un origine commune. Même le volume crânien, bah là c'est pas écrit, mais c'est à peu près le même : y en a un c'est 400 cm ³ P3P et l'autre 500 cm ³ P3P, donc c'est comme ça qu'on s'est dit qu'ils devaient avoir une origine commune. Le chimpanzé il existe toujours, donc on s'est dit que cette branche là en fait, elle s'était pas développée ou peu développée par rapport à celle-ci où euh... bah on a dit que l'homme moderne descendait de l'australopithèque et qu'entre eux deux, il y avait autre chose quoi... (rires). Et puis ben voilà.

Dans l'intervention de Peggy, des éléments du registre empirique (le chimpanzé et l'australopithèque ont une mâchoire en U, un petit cerveau) et des éléments du registre du modèle (origine commune) sont mis en relation au sein d'un raisonnement : « on a comparé, ..., on s'est aperçu, donc on s'est dit que ... » mené deux fois de suite.

Ainsi, nous pensons que cet échange permet de construire la contrainte empirique suivante : « certains caractères sont partagés entre plusieurs espèces » qui est articulée avec la « nécessité d'une origine commune des espèces ». L'origine commune établie ici ne correspond pas à ce que nous avons défini comme un ancêtre commun, puisque rapidement, Peggy précise que le chimpanzé « s'est pas ou peu développé ». Cela laisse à

¹⁰¹ Ces étudiants présentent une explication par évolution intraspécifique pour expliquer le passage de l'australopithèque à l'homme moderne.

penser que le chimpanzé ou une espèce très proche du chimpanzé correspond au point de départ de cette histoire évolutive.

L'analyse de ce premier extrait du débat montre que même si les étudiants proposent un produit (l'arbre construit) qui pourrait paraître acceptable (au moins formellement), cela ne s'est pas accompagné d'une transformation de leur système explicatif.

L'extrait 2 va justement mettre cette explication en discussion.

Extrait 2 :

20	Raphaëlle	Bah, juste que, en fait, si on regarde par rapport à l'échelle de temps, normalement l'australopithèque il y a vécu y a plus longtemps que le chimpanzé.
21	Formateur	Ce qui vous pose problème, c'est quoi ?
22	Raphaëlle	Bien, c'est que le chimpanzé, là il dure trop longtemps sur leur arbre, en fait.
23		Agitation
24	Etudiant	C'est marqué depuis 550 000
25	Formateur	Oui, allez-y
25	Marie	L'espèce, elle persiste depuis le début.
26	Anne Lise	Oui, mais là, ça veut dire qu'elle est apparue en même temps que l'australopithèque.
27	Raphaëlle (en même temps)	Quand tu fais une branche comme ça, c'est la même chose...
28	Pierre	Oui, mais y a autre chose avant, nan
29		(Inaudible) de l'évolution
30	Etudiant	Bah faut le matérialiser.

La discussion qui se développe ici, à partir de la critique de Raphaëlle, porte sur la question de la nécessaire stabilité des espèces pendant leur période d'existence (en gras dans le corpus) qui n'est pas prise en compte par le groupe précédent. Cette discussion prend, implicitement, en compte les données présentées dans le tableau 2 qui ont un statut de contrainte empirique. La mobilisation dans ces contraintes permet d'établir l'impossibilité de la représentation linéaire de l'histoire évolutive. C'est donc par le contraire qu'est établie la nécessité d'une stabilité de l'espèce sur la période de temps où elle existe. Le raisonnement est explicité par l'enseignant (en 33) : « ça permet effectivement de tenir compte que, enfin qu'on n'ait pas l'impression que le chimpanzé, correspond à cet ancêtre commun. Parce que si on met une flèche directe, on pourrait effectivement croire, mâchoire en U, volume crânien bas, quadrupède, c'est les mêmes caractères que le chimpanzé, mais c'est pas le chimpanzé car il n'existait pas. C'est qu'il y a aussi eu une évolution, il y a aussi eu, une évolution, il y a aussi eu une évolution mais il a gardé un certain nombre de caractères par rapport à l'ancêtre commun hypothétique, mais il a évolué, c'est pas le même ». La suite de la discussion permet de passer de la nécessité d'une origine commune à la nécessité d'un ancêtre commun.

Extrait 3 :

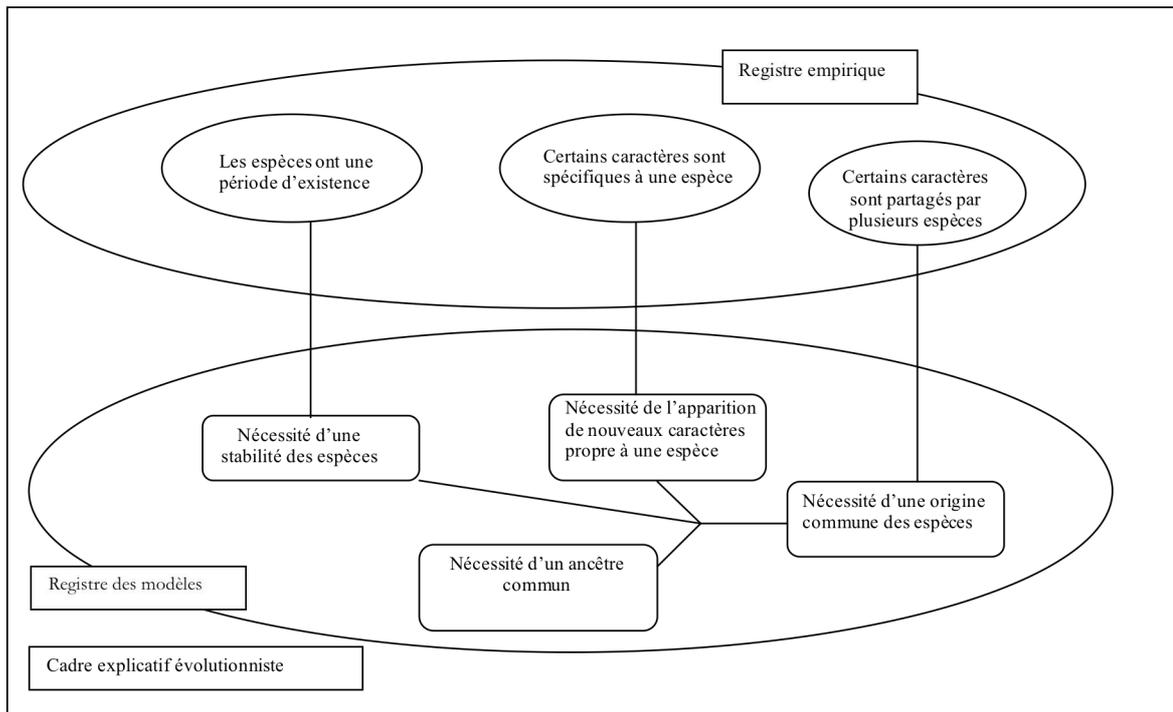
34	Narayan	Nous, on a mis presque la même chose, sauf que on a, on a mis ici un autre ancêtre commun parce qu'il y a apparition d'un...
35	Narayan	Ecrit au tableau (ajoute l'ancêtre commun)
36	Narayan	Presque la même chose, par contre, un autre changement ici, parce que... C'est la même chose que ...
37	Autre étudiant du groupe	Il y a une petite branche
38	Autre étudiant du groupe	Il faut mettre une autre petite branche (plusieurs fois)
39	Narayan en	Cà c'est l'homme et ça c'est une autre branche parce que on a eu des difficultés à

	faisant	présenter le temps, donc euh...
40	Etudiant	Narayan, c'est quoi la branche, c'est quoi cette petite branche
41	Narayan	Ca en fait, c'est une, comment ça s'appelle, c'est une ramification pour présenter toutes les autres euh, toutes le autres, euh, comment ça s'appelle, toutes les autres évolutions qui ont eu lieu, parce que si on met pas de petite branche, on voit qu'il y a juste un critère qui a changé entre l'australopithèque et nous.
42	Formateur	Donc celui là, c'est qui ? Là ? À la ramification ? Quel caractère il aurait alors ?
43	Narayan	Celui là, il est toujours bipède. Mâchoire en U, mâchoire en V, donc ça, il présente une mâchoire en V cette fois-ci.

L'existence d'un caractère propre l'homme moderne par rapport à l'australopithèque (mâchoire en V) permet de construire la nécessité de l'apparition d'un nouveau caractère. Il nous semble que c'est la mise en relation entre cette nécessité et celle d'un origine commune qui permet d'établir la nécessité d'un ancêtre commun au terme d'un raisonnement (« on a mis un autre ancêtre commun parce que ... »). Cette nécessité est aussi mise en relation avec la nécessité d'une stabilité de l'espèce pendant sa période d'existence pour (en 38 : « il faut mettre une autre petite branche »). Ce raisonnement est repris plus loin dans le débat (en 49-50).

L'espace des contraintes en jeu dans ce débat permet de récapituler les différentes contraintes empiriques et nécessités sur le modèle construites au terme de la discussion (figure 1).

Figure 1 : L'espace des contraintes en jeu dans le débat



Les phases précédentes du travail ont obligé les étudiants à abandonner une vision ontogénétique de l'évolution. Mais la construction d'un arbre qui représente les relations de parenté entre trois espèces ne permet pas, à lui seul, de faire accéder les étudiants à une conception phylogénétique de celle-ci. En effet, l'analyse de la présentation et de la discussion montre que certains étudiants mobilisent encore après ce travail une vision

généalogique de l'évolution et les nécessités qui fondent le concept d'ancêtre commun hypothétique n'avaient pas été forcément toutes construites.

C'est bien la mise en discussion des différents arbres qui permet d'établir ces raisons, même s'il apparaît qu'elles n'ont pas toutes été construites de façon explicites. La nécessité d'une origine commune et de l'apparition de nouveaux caractères le sont de façon explicite. Par contre, la nécessité d'une stabilisation des espèces dans le temps est seulement explicitée par le formateur, alors que les étudiants ont des difficultés à prendre en charge la question du temps dans leur raisonnement. De ce fait, la nécessité d'un ancêtre commun hypothétique est partiellement construite. Il nous semble que la distinction entre le chimpanzé et l'ancêtre hypothétique commun au chimpanzé et à la lignée humaine, même si elle a été discutée et affirmée (par le formateur) ne soit pas encore construite à la fin du débat.

Ce travail montre l'importance que nous donnons, dans l'équipe de didactique des SVT du CREN, à ces moments de débat scientifique qui permettent à l'activité de problématisation de se développer à partir d'une production de solutions possibles et d'un retour critique sur ces solutions produites (Orange, 2002). C'est bien ce moment qui met en jeu une activité argumentative importante qui permet la construction des raisons qui sont au cœur du savoir scientifique.

5. Conclusion

L'analyse du dispositif proposé a permis de mettre en évidence les trois points suivants :

Le dispositif proposé contient les éléments sur lesquels les étudiants peuvent agir, en interaction avec le formateur, pour construire le savoir visé.

C'est le débat qui permet la construction et l'explicitation des nécessités qui sont au cœur du savoir. Les différentes tâches qui précèdent le débat ne permettent pas de construire le concept d'ancêtre commun. Ainsi certains étudiants peuvent mobiliser le terme d'ancêtre commun tout en restant dans une conception supraspécifique de l'évolution (Fortin, 2000, p. 92).

Ce travail montre également que le concept d'ancêtre commun est distinct de l'idée d'une origine commune des espèces. En effet, l'idée d'origine commune des espèces doit être articulée avec d'autres nécessités (notamment celle de la stabilité de l'espèce et de l'apparition de nouveaux caractères) pour fonder la nécessité d'un ancêtre commun. Il nous semble donc que c'est la prise en compte simultanée de ces différentes nécessités paradoxales qui définit le problème de l'ancêtre commun. Un travail sur les mécanismes de l'évolution sera nécessaire pour inscrire ce problème de l'ancêtre commun dans un cadre théorique qui lui donne sens.

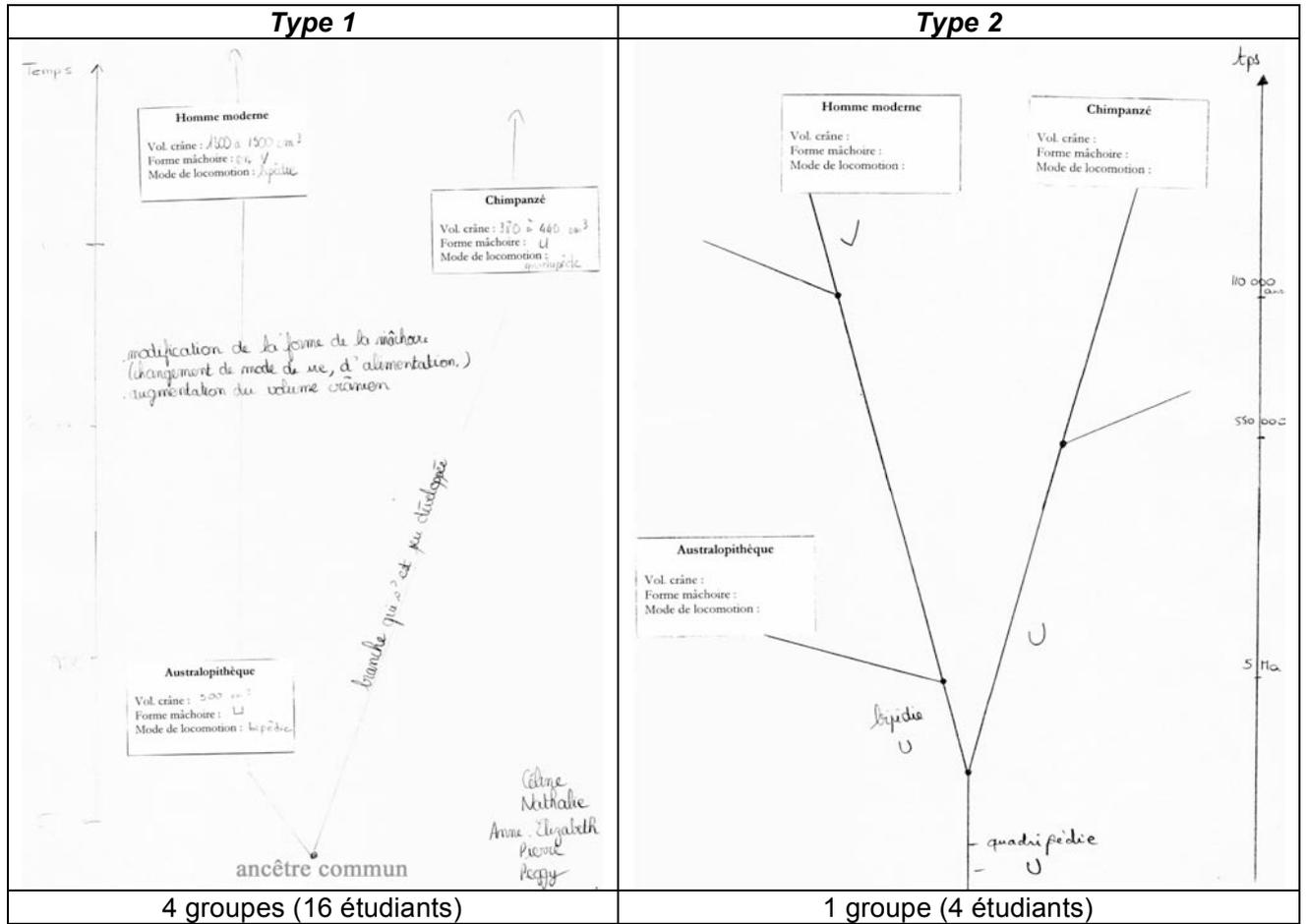
Plusieurs recherches complémentaires sont en cours à partir de ce dispositif. D'une part, des enregistrements des échanges entre étudiants pendant la phase de travail collectif (étape 4) sont prévus pour comprendre ce qui se joue lorsqu'ils abandonnent, au moins dans la représentation graphique, la linéarité (cela devrait nous permettre d'étayer certaines

interprétations proposées ci-dessus). D'autre part, ce dispositif a été mis en œuvre avec des élèves de 4^e pour nous permettre de réaliser une comparaison verticale.

Bibliographie

- Audigier F. & Fillon P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques. Une approche pluridisciplinaire*. Paris : INRP.
- Canguilhem G. (2003). *La connaissance de la vie*. Paris: Vrin (1965).
- Crépin P. (2002). Des conceptions initiales aux systèmes explicatifs des élèves de l'école primaire sur l'origine des espèces. *Grand N*, n°70, p. 101-123.
- de Ricqlès A. (2006). Préface. In P. Corsi, J. Gayon, G. Gohau & S. Tirard. *Lamarck, philosophe de la nature*. Paris : PUF, p. VII-XII.
- Fabre M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- Fabre M. & Orange C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, n°24.
- Fortin C. (1994). Le bon usage des conceptions en biologie de l'évolution. In A. Giordan, Y. Girault & P. Clément. *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang, p. 157-170.
- Fortin C. (2000). Les causes de l'évolution. In G. Rumelhard (dir.). *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre*. Paris : INRP, p. 81-101.
- Gould S.J. (1997). *L'éventail du vivant. Le mythe du progrès*. Paris : Éd. du Seuil.
- Gould S.J. (1998). *La vie est belle. Les surprises de l'évolution*. Paris : Éd. du Seuil.
- Hergueta S. (2006). L'introuvable ancêtre commun. *Hors série Sciences et avenir*, juillet/août 2006, p. 48-52.
- Lecointre G. (dir.). (2004). *Comprendre et enseigner la classification du vivant*. Paris : Éd. Belin.
- Lecointre G. (2006). *Ancêtre commun hypothétique ou bien réel*. Forum national de SVT. Disponible sur Internet : <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/phpBB/viewtopic.php?p=47505&sid=d791acaeaa1c8806fdcaddd5ee4e2d4b> (consulté le 22 décembre 2006).
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissage scientifique et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n°1, p. 25-41.
- Orange C. (2005). Problématisation conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n°3, p.69-93.
- Orange C. & Orange-Ravachol D. (2004). Les conceptions des élèves et leur mode de raisonnement en sciences de la Terre. *Géochronique*, n° 90, p. 29-32.
- Rumelhard G. (1995). Permanence, métamorphose, transformation. *Biologie-Géologie*, n°2, p. 333-345.T
- Tattersall I. (2003). *L'émergence de l'homme*. Paris : Gallimard.

Annexe 1. Les deux représentations proposées à l'étape 4



Quelle problématisation sur le thème de l'évolution en classe de première ES ? Dynamique et obstacles¹⁰²

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; INRP ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Julie Gobert, professeure de SVT, Collège lycée expérimental, Hérouville Saint-Clair ; Julie.Dif@ac-caen.fr

1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage

Le dispositif a été mis en œuvre dans une classe de première ES¹⁰³ du collège et lycée expérimental d'Hérouville-Saint-Clair, par Julie Gobert, professeure de SVT, impliquée dans un groupe de formation-action (GFA) à l'IUFM de Basse-Normandie. Julie Gobert est également engagée dans un Master 2 de sciences de l'éducation à l'université de Caen-Basse-Normandie. Le recueil de donnée fait partie des données recueillies dans le cadre du GFA *Problématisation et apprentissage en SVT* dont nous avons assuré la responsabilité scientifique.

■ 1.1. Premier temps de travail : la situation d'évaluation diagnostique

La situation d'évaluation diagnostique est la suivante : les élèves doivent produire individuellement un texte qui doit indiquer :

¹⁰² Extrait de Lhoste Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, université de Nantes, Nantes

¹⁰³ Le programme de la classe de première ES est présenté en annexe 4 (France : MÉN, 2000). Il pointe certaines difficultés liées aux conceptions communes de l'évolution qui doivent être travaillées par les élèves : l'explication finaliste de l'apparition d'un caractère (la bipédie dans la lignée humaine) ; la causalité de l'environnement sur l'apparition d'une innovation génétique. Ils précisent les niveaux de formulation des savoirs attendus. Cependant le concept de population n'est pas envisagé dans le programme.

- les causes de l'évolution des espèces vivantes ;
- comment expliquer que les espèces actuelles ne sont plus celles d'hier.

Pour cela, les élèves doivent donner les explications de ce qui peut arriver, à l'échelle d'un individu et à l'échelle d'une population d'individus d'une même espèce (c'est-à-dire au niveau de l'espèce).

Dans cette situation, les élèves vont pouvoir s'engager dans la production d'une explication à partir de leurs connaissances sur les mécanismes de la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre (3^e) et de quelques « faits » d'évolution (4^e, seconde). Les autres éléments de la consigne ont un statut de contraintes de situation¹⁰⁴ qui peuvent orienter (ou non) la réflexion des élèves. L'énoncé précise qu'ils doivent expliquer que certaines espèces ont disparu et que certaines sont apparues. Enfin, l'énoncé introduit deux niveaux de réflexion : l'individu et l'espèce. Il sera intéressant de suivre la façon dont les élèves mobilisent (ou non) ces contraintes de situation dans leurs problématisations.

Les productions individuelles obtenues sont présentées en annexe 1.

■ 1.2. Deuxième temps de travail : une production écrite collective

L'enseignante organise un travail de groupe à partir d'une analyse des productions individuelles des élèves. Les élèves ayant produit des explications proches sont regroupés. Le tableau 1 présente les groupes constitués.

Tableau 1. La constitution des groupes d'élèves de première ES

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3 :	Groupe 4 :
Lara, Léo, Romain, Quentin	Hugo, Aurore, Gwendoline, Raphaël	Louise, Lucille, Jonathan	Camille, Géraldine, Alexandre

Après avoir présenté sa production personnelle aux autres membres du groupe, les élèves doivent produire en commun une explication qui répond à la même question que celle de l'évaluation diagnostique. Les productions des quatre groupes sont présentées annexe 2. Elles serviront de support au débat scientifique.

■ 1.3. Troisième temps de travail : le débat scientifique

Le débat scientifique qui a suivi le travail de groupe a été conduit par Julie Gobert. Il avait simplement l'ambition de permettre la présentation des explications des différents groupes d'élèves. Le débat a été filmé puis retranscrit. C'est à partir de ce script, de 110 interventions, que nous allons tenter de comprendre le processus de construction des explications pour rendre compte des mécanismes de l'évolution des espèces. Le script est présenté annexe 3.

¹⁰⁴ Nous distinguons les contraintes de situation, celles qui sont portées par l'énoncé, des contraintes empiriques ou théoriques qui sont construites au cours de l'activité de problématisation.

Nous allons mettre en œuvre la méthodologie décrite dans Lhoste (2008) pour suivre le processus de problématisation.

2. Analyse du processus de problématisation

■ 2.1. Analyse macroscopique du débat

• 2.1.1. Une première analyse thématique

Le débat est organisé à partir de la présentation d'une affiche (trois affiches seulement seront présentées compte tenu du temps disponible), suivie d'une discussion qui s'engage en fonction des réactions des élèves.

À partir du script du débat, nous avons identifié un certain nombre d'épisodes thématiques : trois épisodes sont discontinus. Le tableau 2 présente un découpage thématique du débat. Nous avons volontairement exclu un extrait du débat (30-33), extrait où le professeur réalise un bilan de ce qui a été discuté (sans que les élèves interviennent) et assure la transition vers la présentation de l'affiche suivante.

Tableau 2. Analyse thématique du débat sur le thème des mécanismes de l'évolution en classe de première ES

	1-101	Présentation / explicitation de l'explication du groupe 1
1	102	Intervention du facteur « temps »
2	11-21	Mécanismes permettant des modifications de l'information génétique sous l'influence de l'environnement
3	22-28	Intervention du facteur « temps »
4	29	Mécanismes permettant des modifications de l'information génétique
	34-43	Présentation / explicitation de l'explication du groupe 2
5	44-69	Raisons du maintien des nouveaux caractères apparus
6	70-90	Raisons de l'apparition des modifications génétiques
7	91-92	Reprise de la discussion 5
	96-110	Présentation / explicitation de l'explication du groupe 3

Sur les sept épisodes thématiques repérés, en dehors des moments de présentation-explicitation des explications produites par les groupes d'élèves, quatre thèmes sont abordés.

1/ L'intervention du temps dans les mécanismes de l'évolution (épisodes 1 et 3). L'épisode 1 est limité à une intervention, c'est pourquoi nous avons décidé de l'étudier avec l'épisode 3.

2/ Les mécanismes qui permettent une modification de l'information génétique sous l'influence du milieu de vie (épisodes 2 et 4). Pour la même raison qu'en 1/ nous étudierons ces deux épisodes ensemble.

3/ Les raisons du maintien de nouveaux caractères apparus, épisodes 5 et 7 étudiés ensemble.

4/ Les raisons de l'apparition des modifications génétiques (épisode 6).

Pour avancer au niveau épistémologique et identifier les questions en jeu derrière les thèmes abordés, nous allons présenter la macrostructure de ce débat.

- 2.1.2. *La macrostructure du débat sur l'évolution en classe de première ES*

Nous avons utilisé la méthodologie décrite par Fabre (1999). La macrostructure du débat est présentée à la figure 1.

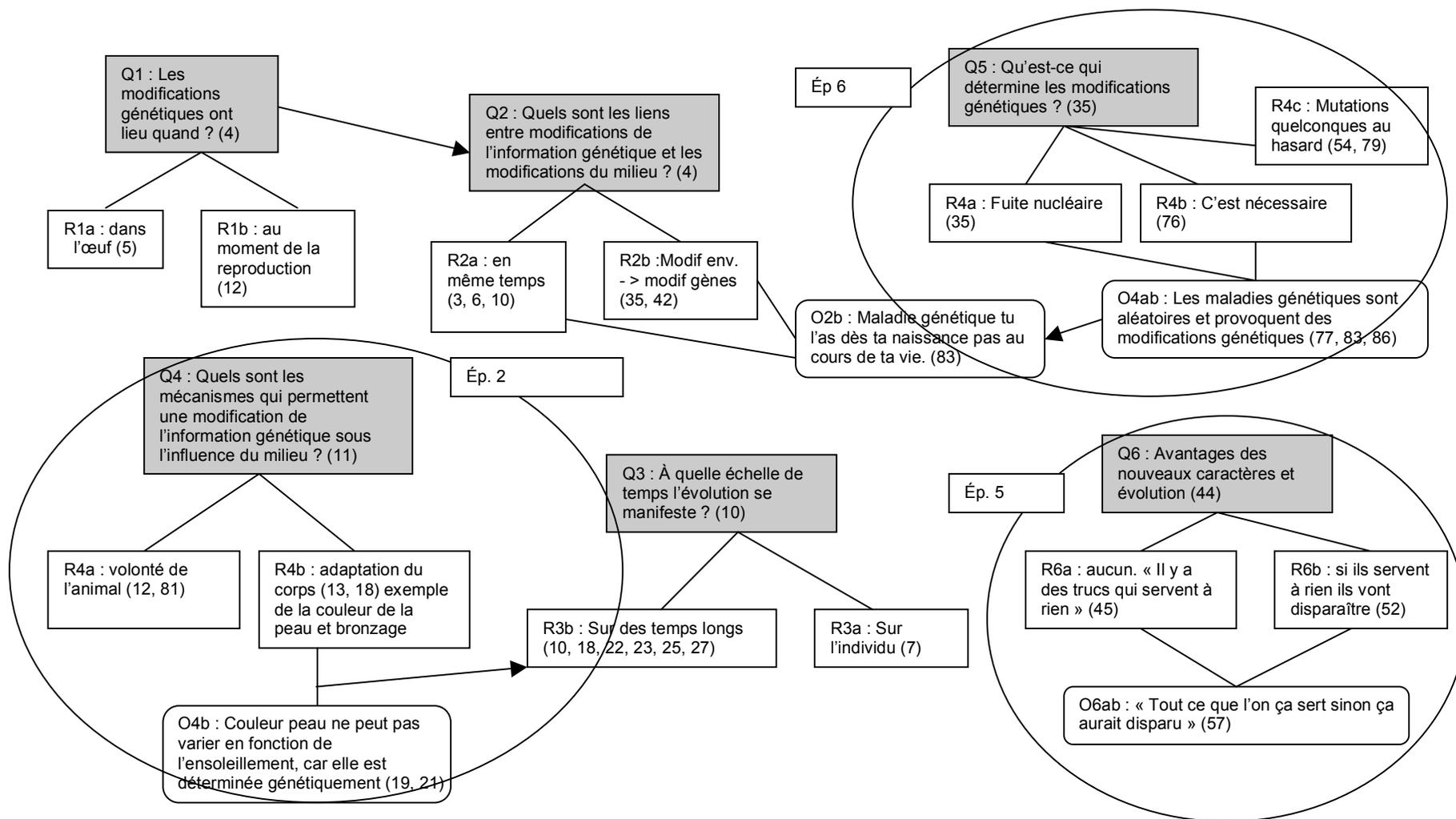
Dans ce débat, nous trouvons :

- des questions qui donnent lieu à plusieurs réponses qui ne sont pas contradictoires entre elles (comme dans le cas Q1 où les deux réponses R1a et R1b peuvent être considérées comme deux versions de la même réponse). De la même façon, dans le cas Q2, les réponses R2a et R2b peuvent être considérées comme deux versions différentes de la même réponse ;
- des questions qui donnent lieu à des réponses contradictoires dont une des réponses n'est pas retenue par la classe, c'est le cas de la réponse R4a proposée à deux reprises dans le débat ;
- des nœuds argumentatifs où les oppositions de thèses sont nettes. C'est le cas en Q4, Q5 et Q6 où des objections sont formulées. Notons le cas particulier du nœud Q6, l'objection pointe une contradiction entre les deux réponses R6a et R6b tout en proposant une thèse qui règle la contradiction.
- des développements à une question qui rétroagissent sur une autre question. On trouve deux occurrences de ce type de développement, autour du nœud Q4-R4b-O4b qui se lie à R3b. C'est également le cas quand le développement d'O4ab entraîne une objection à R2a et R2b

Autre caractéristique de ce débat, on trouve de nombreux exemples dans les réponses ou les objections des élèves.

Nous allons maintenant essayer de suivre le travail de ces différents éléments dans/par les activités langagières développées par les élèves au cours du débat.

Figure 1. Macrostructure du débat sur le thème des mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES



■ 2.2. Analyse épistémologico-langagière

• 2.2.1. Présentation du groupe 1

Le tableau 3. présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication du premier groupe d'élèves.

Tableau 3. La présentation du groupe 1 : analyse épistémologico-langagière

Lara, Léo, Romain et Quentin font partie du groupe 1

1	Prof	Donc on s'interroge bien sur qu'est ce qui peut amener au cours du temps à l'apparition d'une nouvelle espèce // qu'est ce que vous pensez de leur explication / vous pouvez émettre des critiques positives ou négatives ou des questions	
2	Louise	C'est bien c'est logique	Évaluation de la production du groupe 1 sur la base du caractère logique de l'explication produite.
3	Lara	C'est par rapport à la reproduction qu'il y a des changements génétiques / au fur et à mesure que les espèces s'adaptent // enfin //	Ébauche d'un raisonnement pour mettre en relation trois éléments : reproduction – changements génétiques - adaptation des espèces. Le « au fur et à mesure » assure la mise en relation
4	Prof	C'est-à-dire // les changements génétiques ont lieu quand par rapport aux modifications dans le comportement // qu'est ce qui précède // est ce que ça arrive après ou avant // tu me parles de modifications génétiques	
5	Lara	C'est quand le petit canard sort de l'œuf / ça se passe à l'intérieur de l'œuf	1/ Reprise-modification de « c'est par rapport à la reproduction » -> « ça se passe à l'intérieur de l'œuf ». Mobilisation de savoirs scolaires (le reproduction concerne l'œuf) 2/ Décontextualisation d'un énoncé général / recontextualisation sur l'exemple précis de l'affiche : passage espèces -> individu : « les espèces » -> le petit canard » -> hétéroglossie
6	Jonathan	Les transformations génétiques elles se passent avec l'environnement //	Décontextualisation / recontextualisation à un énoncé général par une reprise du raisonnement de Lara en 3/ avec des modifications : - il évacue la question de la reproduction - « modification » -> « transformation » - « au fur et à mesure » -> « elles se passent avec » - « les espèces s'adaptent » -> « avec l'environnement ».
7	Jonathan	C'est lié à la disparition de l'espèce le canard 1 disparaît au profit du canard 2 //	Ajout par extension du discours -> « c'est » : dénivellation qui reprend tout ce qui a été dit avant « disparaît au profit » peut se comprendre comme une transformation du canard 1 en canard 2 par rapport au schéma produit par les élèves. Reprise-modification « l'espèce » -> « le canard 1 » qui relève de la même hétéroglossie que celle repérée en 5 et provoque un mouvement de décontextualisation/recontextualisation
8	Prof	Donc le canard 1 se transforme en canard 2 // pour Nathan on n'aura plus à ce moment là d'individus de l'espèce canard 1	Reformulation par l'enseignante validée par Quentin en 9

9	Quentin	Oui	
101	Louise	S'ils ont subi le même changement de l'environnement oui // mais si jamais eux ils n'ont pas connu la période glaciaire ils vont rester comme un canard /	Décontextualisation/recontextualisation dans un énoncé plus général (retour du pluriel : ils, eux) par une reprise de l'explication par Louise qui précise le raisonnement de Jonathan en 6-7. Même hétéroglossie que celle repérée en 5 et en 7 : « ils vont rester un canard »

Cette présentation montre que les élèves s'essayent à la construction d'un objet de discours (ce dont on parle : le canard, les espèces, l'espèce canard) adapté à la situation proposée : les glissements singuliers (l'individu ou le type) -> pluriels (une série d'individu : l'espèces ?) génèrent de l'hétéroglossie et des mouvements de décontextualisation / recontextualisation. Ils signalent une difficulté à trouver le bon niveau de formulation et les tensions qui résultent du traitement de la tâche par les élèves.

Au terme de cette présentation, il nous semble que les élèves ont mis à jour une liste d'éléments qui n'ont pas tous le même statut et ils ont tenté des premières mises en relations entre idées et faits.

1/ Les éléments sélectionnés :

- l'intervention de modifications génétiques dans la transformation de l'individu repose sur l'idée, qui semble partagée au sein de la classe, d'un lien entre les modifications génétiques et les modifications de caractères de l'individu (ils remobilisent des savoirs construits en classe de 3^e) ;
- le fait que les espèces s'adaptent aux nouvelles conditions du milieu semble également admis. C'est un fait qui n'est pas questionné (on le sait, c'est comme ça de tout temps...). Nous retrouvons un résultat déjà mis en évidence par les travaux de Lacombe (1987, p. 149)¹⁰⁵ et de Ferrari et Chi (1998, p. 1234) : l'adaptation, c'est ce qu'il faut expliquer (« *une explication, en effet, n'est requise que si un fait est préalablement acquis* », Grize, 1996, p. 112).

2/ Les mises en relation se font sur la base de deux marqueurs :

- « au fur et à mesure » (Lara en 3) ;
- « elles se passent avec » (Jonathan en 6).

Ces marqueurs indiquent une première mise en relation entre les modifications de l'environnement et les modifications de l'information génétique pour expliquer l'adaptation du canard à de nouvelles caractéristiques du milieu. Le changement génétique intervient de façon synchrone (« au fur et à mesure ») avec le processus adaptatif. Par rapport à la dynamique du processus, le « au fur et à mesure » introduit également l'idée d'une progressivité des modifications.

Nous interprétons le « elles se passent avec » comme une relation de causalité où ce qui suit permet d'expliquer ce qui précède : les modifications de l'environnement provoquent les « transformations génétiques ». Notre interprétation semble confortée par l'intervention de Louise qui fait de la modification de l'environnement (A) une condition aux changements de l'information génétique (B) : « si pas A -> pas B ». Cela permet également de comprendre le développement de l'épisode 2 qui voit les élèves chercher à un mécanisme pour lier les modifications de l'environnement aux changements de l'information génétique.

¹⁰⁵ Lacombe a analysé ce que disent les élèves de l'adaptation. Elle note que l'évolution est un fait et également un processus que l'on peut constater, qui est nécessaire voire obligatoire (1987, p. 149).

• 2.2.2. L'épisode 2-4 : La recherche d'un mécanisme qui permet la prise en compte des modifications de l'environnement dans l'information génétique

Le tableau 4 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 2-4.

Tableau 4. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 2-4.

11	Prof	Vous êtes d'accord avec ce qui vient d'être dit // donc ce canard 1 se transforme en canard 2 de manière progressive et du fait des changements de l'environnement / c'est ça // alors maintenant Lara nous parlait des modifications génétiques comment elles apparaissent / quelle est votre idée là-dessus	
12	Léo	Pour moi les modifications génétiques ça se fait au moment de la reproduction / c'est pour pallier justement les problèmes au niveau du froid de l'alimentation / je pense qu'il y a peut être une petite volonté de l'animal qui fait que forcément après il y a une réaction / c'est vraiment sous la nécessité devant un climat	1/ La première partie de l'intervention « pour moi -> de l'alimentation » : reprise de la thèse de Louise en 101 « c'est pour pallier » qui précise, dans le même sens, que Louise : modification de l'environnement -> changement de l'information génétique. 2/ Prise en charge énonciative de la suite de l'énoncé : « je pense », « peut être » : modalisation appréciative. 3/ Mobilisation d'une analogie : volonté de l'animal -> réaction (analogie de l'apprentissage) qui permet d'argumenter en faveur de la thèse énoncée dans la première partie de l'énoncé.
13	Prof	Les modifications génétiques se réalisent parce qu'il y a un besoin une utilité une nécessité à répondre aux conditions de l'environnement / et qu'elle serait le fait de la volonté de l'individu	
14	Jonathan	C'est plus une adaptation du corps / comme nous avec l'humain // c'est un peu la même chose par rapport au bronzage ou au métissage // c'est comme quelqu'un qui vivrait dans un pays chaud / il va avoir son corps qui va peut être s'adapter // même pour le soleil et tout ça // sous le soleil il va être bronzé	Orchestration du dialogisme : 1/ « C'est plus » : modalisation appréciative qui témoigne une prise de distance par rapport à la proposition de Léo. 2/ « du corps » qui vient répondre à « volonté » 3/ Décontextualisation / recontextualisation par rapport à l'exemple du bronzage : « c'est un peu la même chose ». Développement de l'exemple. 4/ Prise en charge énonciative : modalisation appréciative
15	Quentin	Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil	Précision de l'exemple : « comme » Reprise-modification : « peut être s'adapter » -> « ils sont habitués aussi »
16	Prof	Est-ce qu'il ne peut pas y avoir deux choses distinctes / le fait que si l'on a une peau blanche et qu'on s'expose au soleil on peut bronzer / est-ce la même chose qu'une personne qui naît de couleur noire // est-ce que vous mettez ces choses sur le même plan // et sinon quelles sont les différences	
17	Quentin	// Oui c'est la même chose	
18	Lara	Si il y a plusieurs générations en Afrique sous 40°C ou 50°C après des générations si ils ont la peau noire c'est parce que leur peau est plus épaisse que la notre pour se	1/ Développement de l'exemple. Raisonnement : « si ils ont » -> « c'est parce que » -> « pour ».

		protéger du soleil et c'est pareil pour les cheveux au bout d'un certain temps / l'être humain se transforme par rapport à ces conditions / par rapport aux conditions climatiques qui l'entourent // et à la fin ça fait des petits enfants qui sont tous noirs	2/ Décontextualisation par rapport à l'exemple / recontextualisation dans un énoncé plus général : « l'être humain », « conditions climatiques » 3/ Retour à l'exemple pour conclure « et à la fin » ; dénivellation « ça » : reprend tout ce qui a été dit avant. « qui sont tous noirs » : verbe d'état et « tous » qui donne une valeur de généralité au raisonnement.
19	Prof	Bon alors j'apporte une précision / la couleur de la peau n'est pas due à une épaisseur différente c'est dû au fait que dans les cellules de la peau // (Schéma au tableau + explication sur la production de mélanine)	Introduction de la distinction caractères héréditaires et caractères individuels
20	Prof	Une phrase qui peut faire réagir un couple de couleur blanche qui souhaite avoir un enfant métisse décide d'aller concevoir un enfant dans les tropiques	
21	Camille	C'est dans les gènes // c'est des gènes qu'ils transmettent à l'enfant / si les parents ont des gènes avec pas beaucoup de mélanine // bah l'enfant il en aura pas beaucoup il va peut être en avoir un peu en grandissant mais il ne sera jamais noir	Reprise de la distinction caractères héréditaires – caractères non héréditaires par Camille : « c'est dans les gènes » répété deux fois. Établit une relation généalogique via la transmission de caractères : « si les parents en ont pas » -> « l'enfant en aura pas ». Orchestration du dialogisme « un peu » : stratégie de minimalisation « jamais » : objection à la thèse formulée par Lara.
29	Aurore	Ça dépend aussi des parents du couple blanc parce que s'ils ont des ancêtres noirs ils peuvent aussi avoir un enfant noir même s'ils sont tous les 2 blancs	Orchestration du dialogisme « ça dépend aussi » Tentative de renverser l'argumentation de Camille en se plaçant dans un cadre génétique : appel à l'atavisme

Léo (en 12) et Jonathan (en 14) proposent des mécanismes liant les changements de l'environnement aux modifications génétiques.

1/ Léo (en 12) s'appuie sur une analogie¹⁰⁶ avec les mécanismes de l'apprentissage. L'organisme pourrait prendre en compte une modification environnementale pour produire une réaction comportementale adaptée. Il propose la modification du phore suivante : la modification comportementale de l'organisme devient la modification de l'information génétique de l'organisme. Notons que cette analogie a principalement une fonction argumentative, en venant appuyer la possibilité d'une adaptation de l'organisme face à des modifications du milieu, mais elle laisse dans l'ombre la question du mécanisme lui-même. Cela diminue la portée de l'analogie puisque c'est justement la question du mécanisme que l'on cherche à expliquer¹⁰⁷.

Cette analogie est classique dans la façon de comprendre les mécanismes évolutifs (Calafate, 1986, p. 87). Jacob précise d'ailleurs que « *le besoin de calquer les processus biologiques sur les processus mentaux des êtres humains* » pourrait expliquer la « *tendance* »

¹⁰⁶ L'analogie consiste « à assimiler un objet problématique, à propos duquel le sujet-locuteur entreprend de construire un certain savoir ou une certaine représentation, à un objet plus familier ou mieux connu de l'interlocuteur » (Apothélos, 1984, p. 64).

¹⁰⁷ Comme le précise Perelman : « Toute analogie met certains rapports en évidence et laisse d'autres caractères dans l'ombre » (2002, p. 150).

irrésistible à croire en une théorie instructive ou lamarckienne de l'hérédité et de l'évolution » (Jacob, 1981/1983, p. 34). On retrouve cette analogie plus loin dans le débat, au moment de la présentation du deuxième groupe, en 81, par Gwendoline : « Y peut pas y'avoir des chocs émotionnels des trucs graves et sur le cerveau ça peut provoquer des choses et après c'est sur notre organisme ».

Dans les deux cas (en 12 et 81), l'analogie est aussitôt rejetée par les autres élèves. Les interventions qui suivent les propositions de Léo et de Gwendoline commencent par une prise de position contre leur énoncé (« c'est plus » ; « oui mais »). Les élèves argumentent contre cette analogie au prétexte que l'apprentissage fait intervenir le système nerveux (et principalement le cerveau et cela de façon plus ou moins consciente), alors que dans le cas de l'évolution tout l'organisme qui est concerné et la volonté n'est pas convoquée : Jonathan (en 14) : « c'est plus une adaptation du corps » et Raphaël (en 82) : « Ouais mais c'est pas le corps humain // c'est quelque chose d'autre ».

2/ Comme nous venons de l'indiquer, Jonathan précise, dans l'intervention qui suit la proposition de Léo (en 14), que « c'est plus une adaptation du corps ». L'utilisation d'une modalisation appréciative¹⁰⁸ « c'est plus », qui équivaut à « c'est plus vraisemblable », permet à Jonathan de se démarquer de la proposition de Léo. Jonathan refuse ainsi de prendre en charge l'énoncé de Léo. Ce faisant, il le met en doute, ce qui déclenche l'activité argumentative. Dans le même temps, il fait une proposition alternative à celle de Léo. Pour étayer sa proposition, il s'appuie sur la possible variation de certains caractères de l'organisme en fonction des conditions de vie, en s'appuyant sur l'exemple du bronzage en réponse à une exposition répétée au soleil.

Dans l'intervention qui suit celle de Jonathan, Quentin (15) poursuit le raisonnement au niveau des caractères d'un individu : « Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil ». Le couplage entre adaptation et un raisonnement au niveau des caractères de l'individu conduit les élèves à mobiliser un modèle transformiste de l'évolution biologique, sur le modèle lamarckien, où les « *influences [de l'environnement] déterminent progressivement la transformation des "facultés des organismes" qui lentement se fortifient, se diversifient* » (Gagliardi, 1987, p. 243), sans toutefois mobiliser l'idée d'une tendance des êtres vivants à complexifier leur organisation. Or, la tendance à la complexification est un des deux piliers de la conception de Lamarck (Pichot, 1993)¹⁰⁹. La non-distinction entre les caractères héréditaires transmissibles à la génération suivante (comme la couleur de la peau) et les caractères individuels qui caractérisent un individu mais qui ne sont pas transmissibles à la descendance (comme le bronzage) contribue également à renforcer ce mode de raisonnement.

¹⁰⁸ Grize définit la modalité appréciative comme « *l'expression d'un jugement de valeur que le locuteur porte sur ce qu'il affirme* » (1992, p. 47). Parmi ces modalités appréciatives, il distingue les modalités aléthiques qui portent sur les valeurs de vérité des énoncés produits (nécessaire, possible, impossible, non nécessaire...) et les modalités épistémiques qui portent sur le rapport à la connaissance des énoncés (vérifié, falsifié, non décidé...).

¹⁰⁹ « *Pour Lamarck, la transformation des espèces résulte d'un double processus. Le premier est une tendance des êtres vivants à complexifier leur organisation. Cette tendance devrait se dérouler de manière linéaire, produisant une série continue d'êtres vivants de plus en plus complexes, si elle ne se heurtait à ce que Lamarck appelle la diversité et la variation des circonstances, c'est-à-dire la diversité et la variation de l'environnement. Ce "heurt" constitue le deuxième moment du processus évolutif* » (Pichot, 1993, p. 605).

3/ L'enseignante tente, à plusieurs reprises (en 19 et 20), d'introduire la distinction entre caractères héréditaires et caractères individuels. L'intervention de Camille en 21 semble montrer qu'elle reprend à son compte la distinction, caractères héréditaires – caractères non héréditaires, introduite par l'enseignante comme objection à la proposition de Jonathan.

Camille développe l'objection de l'enseignante : en fonction du patrimoine génétique des parents et du lieu de vie de l'enfant (sous les tropiques), celui-ci pourra avoir une pigmentation cutanée plus ou moins importante, mais « il ne sera jamais noir ». C'est une objection à la thèse développée par Jonathan. Cette opposition de thèses correspond au nœud argumentatif Q4 - R4a – R4b – O4b (figure 5.7.).

• 2.2.3. *L'épisode 3-1 : La nécessité d'un temps long*

Le tableau 5 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 3-1.

Tableau 5-6. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 3-1.

102	Louise	Là à mon avis entre canard 1 et canard 2 il y a plein d'autres canards avant d'arriver justement au canard 2 // tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça / ça se fait petit à petit // enfin // il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier	1/ Prise en charge énonciative : « à mon avis » 2/ Orchestration du dialogisme : « tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça » 3/ Argument avancé : « ça se fait petit à petit » 4/ « Enfin » : dénivellation
-----	--------	---	---

L'impossibilité d'une transformation rapide (« tu ne peux pas... mettre un canard qui est comme ça ») commence à construire la nécessité d'un temps long. Le « enfin » marque une dénivellation qui permet le détachement de la conclusion « il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier ». Les autres éléments de la proposition constituent les prémisses du raisonnement qui restent incomplètes¹¹⁰.

22	Raphaël	Ça ne se joue pas au bout de qu'une génération / c'est trop rapide // s'ils vont sous les tropiques juste le temps de faire leur petit //	1/ Le « ça » reprend l'objection de Camille formulée en 21 : « si les parents ont des gènes avec pas beaucoup de mélanine // bah l'enfant il en aura pas beaucoup il va peut être en avoir un peu en grandissant mais il ne sera jamais noir ». 2/ « pas que » « c'est trop rapide » reformule l'objection de Camille dans le cadre d'un temps long. 3/ Le temps long permet d'introduire une série des individus dans le temps (la dimension verticale de la figure 5.4.)
23	Louise	À la limite s'ils seraient nés là-bas sous les tropiques ils auraient quand même eu par rapport à leur // à leur code génétique ils se seraient aussi adaptés au soleil / si ça fait très longtemps qu'ils vivent sous les tropiques leur enfant aura peut être des caractéristiques un peu plus évoluées //	1/ « si ça fait très longtemps » : prise en compte du temps long pour expliquer « les caractéristiques plus évoluées ». Cet énoncé est un peu dissonant par rapport à 22 qui se place dans le cadre de plusieurs générations. Ici on revient à l'échelle de la vie d'un individu. 2/ Prise en charge énonciative : modalisation appréciative « peut-être »
24	Prof	Est-ce que c'est à l'échelle d'une vie	Pointe la dissonance entre l'énoncé de

¹¹⁰ Ce qui est généralement le cas dans les raisonnements oraux sur un tour de parole puisque ces raisonnements se font, la plupart du temps à plusieurs.

		humaine	Raphaël et celui de Louise.
25	Nathan	Parce qu'en fait il faut qu'il y ait déjà // ça marche sur des générations et pas seulement sur 2 ou 3 / ça marche sur des centaines voire des milliers	1/ « ça » : reprise des modifications génétiques adaptatives 2/ Processus d'accentuation : « sur des génération » -> « et pas seulement 2 ou 3 » -> « sur des milliers ». Ce processus d'accentuation permet de gérer le dialogisme. C'est bien de séries dans le temps long dont il s'agit. Les modifications génétiques adaptatives ne jouent pas sur le temps d'une vie humaine.
26	Prof	Est-ce que vous pouvez seulement raisonner à l'échelle de 2 individus	Cette critique porte sur la dimension horizontale (série dans l'espace du schéma 5-4) par rapport à l'idée de population.
27	Nathan	Non c'est pour ça par exemple que pour les insectes / on sait qu'ils peuvent évoluer très vite // parce que le taux de renouvellement est / sur une vie humaine / ça doit être plusieurs millions // donc on peut voir // xxx c'est pour ça que ça marche	1/ Décontextualisation / recontextualisation sur l'exemple des Insectes où la génération est plus courte par rapport à celle de l'homme, ce qui permet de voir une évolution sur un temps relatif à l'homme. Sur cet exemple, il est peut être plus facile d'envisager la série des individus dans l'espace (dimension horizontale). 2/ Accentuation : « plusieurs millions » 3/ « ça » : dénivellation qui reprend le mécanisme de modifications génétiques adaptatives qui marchent à cause de ce temps très très long (accentuation).
28	Prof	Vous avez entendu	

Le temps long va devenir une nécessité sur les modèles à travers un raisonnement par le contraire. Une évolution/transformation d'un individu sur une génération n'est pas possible. Il faut nécessairement faire appel au temps long pour que cette transformation soit possible (interventions 22, 23, 25, 27). Il s'agit d'un temps long à l'échelle de plusieurs générations (processus d'accentuation en 25, 27) et plus seulement à l'échelle d'une vie humaine¹¹¹. Le temps long introduit l'idée que les mécanismes de l'évolution concernent une série d'individus dans le temps (dimension verticale du schéma de la figure 5.4.). La nécessité d'un temps long vient résoudre toute difficulté liée à la prise en compte des contraintes génétiques par exemple. Tout devient possible du moment que cela s'exerce sur un temps long.

• 2.2.4. *Discussion intermédiaire : l'état de la discussion avant la présentation de l'explication du groupe 2*

1/ La structure de l'explication proposée par les élèves.

Comme nous l'avons indiquée, l'adaptation des individus à leur environnement est un fait qui n'est jamais discuté. L'explication proposée par les élèves a la structure suivante :

- état initial : les espèces sont adaptées à leur milieu de vie ;
- perturbation de l'équilibre initial : modification de l'environnement ;
- face à cette perturbation, les individus sont contraints d'incorporer, de façon adaptative, les modifications de l'environnement dans leur patrimoine génétique. Cette modification mène à l'apparition de nouveaux caractères ;
- les nouveaux caractères permettent à l'individu de retrouver un état final où il est de nouveau adapté à son milieu de vie.

¹¹¹ Comme le précisent Orange et Orange-Ravachol, « si le temps est nécessaire, c'est juste pour donner un peu d'ampleur à la transformation » (2004, p. 31).

La structure de cette explication, état initial -> perturbation -> transformation -> état final, rappelle l'organisation classique d'une histoire. En effet, Fayol rappelle que « *le narré renvoie toujours au passage d'un état initial à un autre état final par le biais d'une transformation* » (1985, p. 11). De plus, comme dans les histoires, « *le déroulement des faits s'étale dans le temps* » (*ibid.*), ici dans un temps long.

Il nous semble que cette structure est due en partie au non-questionnement du fait d'adaptation considéré comme étant dans l'ordre des choses. Comme le précise Bruner, une histoire commence toujours « *par considérer une situation de départ comme allant de soi (...): l'état des choses y est ordinaire, normal* » 2002/2005, p. 18). L'histoire commence quand « *apparaît une brèche dans l'ordre des choses* » (*ibid.*, p. 29). Ici c'est la modification de l'environnement qui provoque une désadaptation des individus à leur milieu de vie. C'est bien parce que « *les histoires nous procurent des modèles du monde* » (*ibid.*, p. 38) qu'il n'est pas surprenant que les élèves mobilisent une telle structure pour s'engager dans l'explication d'un phénomène qu'ils ne connaissent pas¹¹². De plus, l'avantage de l'emploi d'une telle structure, c'est qu'elle est facile à reconstituer par les autres élèves¹¹³ puisque c'est une structure qui caractérise la psychologie populaire (Bruner, 1990/1991). Viennot rappelle également « *la satisfaction engendrée par ce type d'explication chez ceux qui la reçoivent* » (1993, p. 21). Cette structure constitue un genre, en dépôt dans la culture partagée, qui permet aux élèves de se lancer dans la construction d'une explication : « *la construction nous donne le moyen de "construire" un monde, de caractériser son mouvement, de segmenter les événements qui s'y déroulent, etc.* » (Bruner, 1990/1991, p. 69).

Cette structure nous permet d'explicitier le problème auquel s'attaquent les élèves du premier groupe : le problème provient de la tension qui naît entre plusieurs contraintes : comme les individus sont adaptés à leur milieu de vie, une modification des conditions du milieu vient rompre cet état d'équilibre. C'est cette rupture de l'équilibre de départ qui fait problème. Les élèves veulent alors expliquer le retour à un état d'équilibre en tenant compte du lien entre l'information génétique et les caractères exprimés par l'individu.

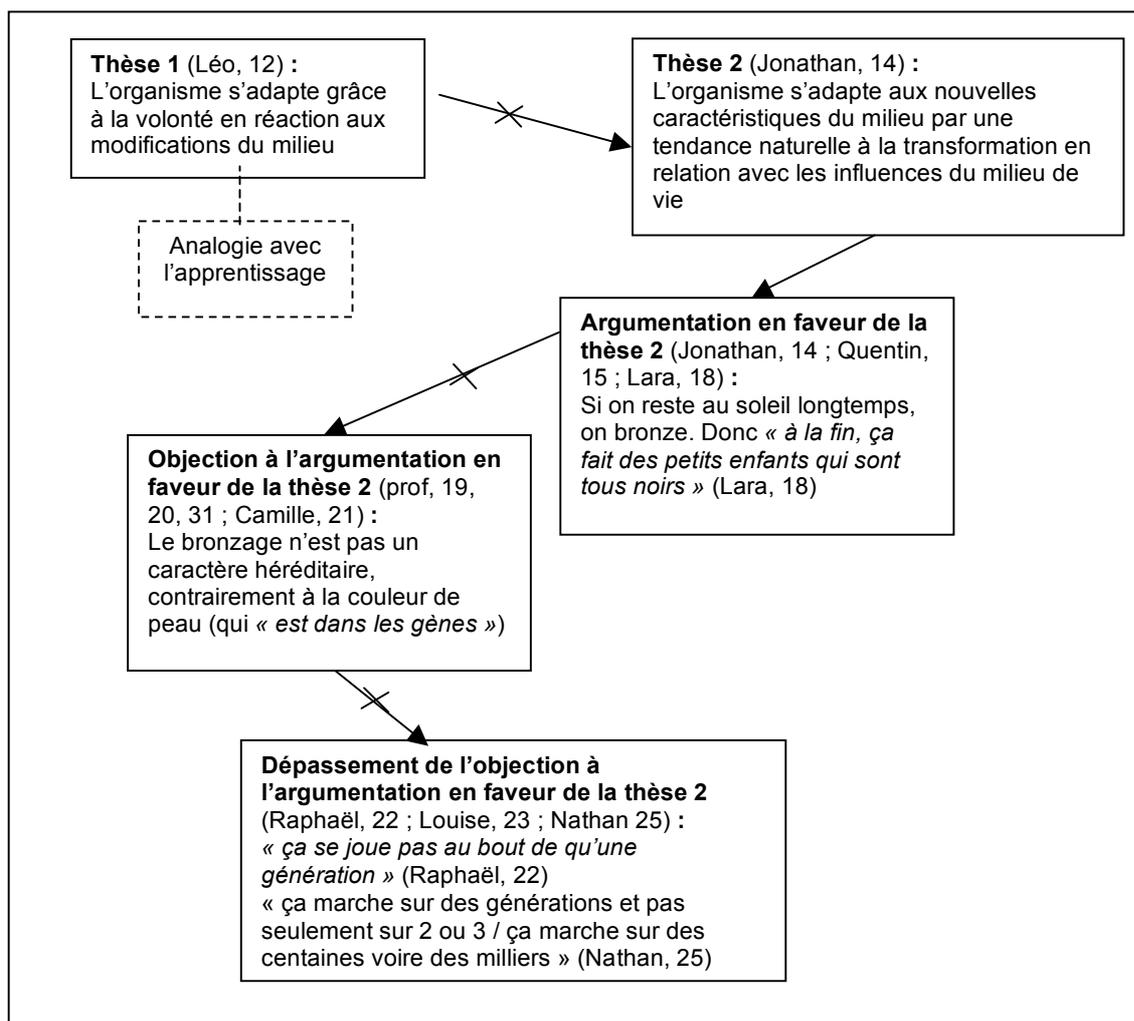
2/ La construction de la nécessité d'un temps long.

Nous avons indiqué, lors de l'étude de la macrostructure du débat, que le nœud problématique Q4a/R4a/R4b/O4b rétroagit sur la question de l'échelle de temps sur laquelle se manifestent les mécanismes de l'évolution (Q3). Nos analyses montrent le lien entre la construction de la nécessité d'un temps long et l'objection portée par Camille (à la suite de l'enseignante) à la thèse des modifications génétiques adaptatives. Afin de comprendre le processus qui a permis de construire la nécessité d'un temps long, nous allons présenter la structure argumentative qui correspond aux épisodes 1-4. Elle est présentée dans la figure 2.

¹¹² Les travaux de Viennot (1993, 2003, 2006) et Closset (1983) dans différents champs de la physique montrent une certaine régularité des élèves à employer des raisonnements avec une structure narrative.

¹¹³ « *Les histoires sont ainsi des instruments particulièrement adaptés à la négociation sociale* » (Bruner, 1990/1991, p. 68).

Figure 2. Structure argumentative de l'épisode 1-4



Plusieurs remarques à propos de cet épisode argumentatif peuvent être faites.

La question argumentative, en œuvre dans cet épisode, concerne le choix d'un mécanisme pour incorporer les influences de l'environnement dans l'information génétique d'un organisme. Cette question argumentative qui n'a pas de pertinence dans le cadre biologique actuel (notamment au niveau génétique) peut en avoir dans un autre, notamment dans un cadre épistémique de type transformiste.

De ce point de vue, il est intéressant de comprendre comment fonctionne l'intervention de l'enseignante en 19-20. Elle introduit des distinctions issues des savoirs génétiques actuels qui n'ont pas de sens dans le cadre épistémique dans lequel se déroule cet épisode. Alors que l'objection formulée devrait conduire à invalider la thèse proposée par Jonathan, il nous semble qu'elle contribue, au contraire, à donner un certain crédit à la question en débat. L'objection formulée ne remonte pas jusqu'à la thèse, mais porte localement, sur l'exemple choisi par Jonathan. Ainsi, comme la question semble « validée » par l'enseignante, les élèves poursuivent la recherche argumentative. Cette discussion sur la façon dont certains savoirs (ceux portés par l'objection de l'enseignante) s'articulent avec l'état de connaissance des élèves est intéressante d'un point de vue didactique.

La suite de l'argumentation conduit les élèves à faire appel à la notion de temps pour aménager leur modèle explicatif. Le temps long devient un facteur d'explication nécessaire puisqu'il pallie l'objection formulée par l'enseignante et par Camille.

L'état de la problématisation à la fin de cette séquence. Les élèves se sont engagés dans la construction d'une explication à partir de l'identification d'un fait à expliquer (les espèces s'adaptent aux nouvelles conditions du milieu) à partir de l'idée que des modifications génétiques sont impliquées dans la transformation de l'individu. Cependant une seule nécessité a été construite, comment pouvons-nous l'expliquer ?

Pour établir cette relation, ils mobilisent un mécanisme, celui des modifications génétiques adaptatives. Nos analyses épistémologico-langagières montrent que les arguments sur lesquels les élèves s'appuient, pour justifier le mécanisme des modifications génétiques adaptatives, sont des arguments par l'exemple ou par illustration, pour reprendre la distinction de Perelman (2002, p. 135-143)¹¹⁴. Cette stratégie argumentative traduit un nombre important de mouvements de décontextualisation / recontextualisation rappelés dans le tableau 6.

Tableau 6. Les mouvements de décontextualisation – recontextualisation dans la première séquence

2 - Lara	Formulation générale	
3 – Question de l'enseignante	Reste au niveau général	
5 - Lara	Décontextualisation / discours général et recontextualisation au niveau du cas présenté sur l'affiche (le canard)	Localisation-moment où ont lieu les modifications génétiques
6 - Jonathan	Décontextualisation / cas étudié et recontextualisation au niveau du discours général	Lien modification environnement -> transformations génétiques
7 - Jonathan	Décontextualisation / discours général et recontextualisation sur le cas présenté	Transformation d'une espèce/individu qui en devient une autre
7->10	On en reste au cas du canard	Modification environnement -> transformation génétique Temps long
12 Léo	Décontextualisation / cas étudié et recontextualisation au niveau du discours général	Analogie avec l'apprentissage
14->25	Décontextualisation / discours général et recontextualisation sur le cas humain	Mécanisme d'intégration des modifications de l'environnement dans l'information génétique Nécessité temps long
27 Nathan	Décontextualisation / cas humain et recontextualisation sur l'exemple des insectes	Nécessité temps long
29 -> 31	Décontextualisation / exemple des insectes et recontextualisation sur le cas de l'homme	

Nos analyses pointent la difficulté rencontrée par les élèves pour construire l'objet de discours désignant « qui » est impliqué dans le processus d'évolution. Cela se manifeste, lors de la présentation du premier groupe, par une hétéroglossie dans les énoncés des élèves qui peuvent utiliser, dans la même phrase, le pluriel et le singulier pour désigner qui est concerné par l'évolution (Lara en 3 « les espèces s'adaptent », en 5 « le petit canard » ; Jonathan en 7 « c'est lié à la disparition de l'espèce / le canard 1 disparaît » ; Louise en 101 « ils vont rester comme un canard »). Le tableau 6 indique le même type de

¹¹⁴ « Alors que l'argumentation par l'exemple sert à fonder soit une prévision soit une règle, le cas particulier joue un tout autre rôle quand la règle est admise : il sert essentiellement à l'illustrer, c'est-à-dire à lui donner une certaine présence dans la conscience » (Perelman, 2002, p. 137).

mouvement lorsque l'on passe du « canard » aux « insectes » (comme il est plus facile pour un élève de s'identifier à un canard qu'à un insecte, dans ce dernier cas, l'idée de population pourrait être plus facilement présente). Il nous semble que, dans cet épisode, à travers les mouvements épistémologico-langagiers repérés, le concept d'espèce est mis au travail. Les élèves rencontrent des difficultés pour articuler les dimensions horizontales et verticales nécessaires à la construction du concept d'espèce. Dans la présentation du premier groupe, il y a de nombreux glissements singuliers/pluriels. Dans les épisodes 2-4 et 1-3, les élèves raisonnent à l'échelle d'un individu inscrit dans une généalogie, ce qui permet aux élèves de prendre en compte une série d'individus dans le temps. La construction de la nécessité d'un temps long leur permet d'envisager la série d'individus dans le temps. La dernière intervention, celle de Nathan avec l'exemple des insectes, pourrait permettre de commencer à lier les séries dans le temps, dont il est question jusque-là, aux séries dans l'espace (la population) mais son intervention n'est pas travaillée. Les élèves n'arrivent jamais à intégrer ces deux séries (ce qui nécessite de se situer, pour reprendre notre figure, dans un plan et pas seulement sur des lignes), or la pensée évolutionniste suppose de penser dans le plan. Cela peut expliquer les difficultés rencontrées par les élèves pour avancer dans la problématisation sur ce thème. Nous pensons qu'ils n'ont pas les outils conceptuels biologiques pour penser en termes d'espèces (leurs connaissances en génétique ne relèvent pas de la génétique des populations, par exemple).

De plus, comme les exemples sur lesquels ils s'appuient relèvent des savoirs quotidiens disponibles et sont ad hoc par rapport à ce qu'ils veulent expliquer, la construction de l'explication s'accompagne d'une activité de problématisation réduite. Seule la nécessité d'un temps long est établie au terme de cette séquence, même si elle repose sur des fondements douteux puisqu'elle est construite pour venir s'opposer à des contraintes génétiques et permettre une « transformation facile » qui constitue un obstacle¹¹⁵. Nous sommes dans une situation analogue à celle rencontrée dans l'étude de cas sur la nutrition où une nécessité pertinente d'un point de vue épistémologique s'appuie sur des fondements qui ne le sont pas et qui pourraient constituer des obstacles dans le travail d'un autre problème.

D'un point de vue didactique, il nous semble intéressant de constater que le fort degré d'ouverture de la situation proposée aux élèves, les conduit à construire un monde possible peuplé d'un ensemble hétéroclite de cas qui :

- viennent appuyer certains raisonnements ;
- permettent de réaliser des inférences pour progresser dans la construction de l'explication.

• 2.2.5. Présentation du groupe 2

Le tableau 7 présente l'analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 2.

¹¹⁵ Orange et Orange-Ravachol précisent que l'obstacle de la transformation facile est le double symétrique de l'état stable (2004, p. 31).

Tableau 7. Analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 2

Aurore, Hugo, Gwendoline et Raphaël font partie du groupe 2.

34	Prof	Vous pouvez nous présenter votre scénario qui porte sur l'apparition d'une nouvelle espèce de grenouilles cornues	
35	Raphaël	D'abord des grenouilles de bases suite à une fuite nucléaire on a modification du code génétique de la grenouille / et je pense que ça peut aussi être fait par autre chose qui la fuite nucléaire ça c'est à déterminer // et donc après apparition de grenouilles cornues parce que mutation de gènes // euh si l'espèce survie et peut se reproduire et tout ça donne une apparition de grenouilles cornues partout // ce qui est important à mon avis pour que l'espèce continue à survivre c'est la survie / faut qu'elle puisse continuer à se reproduire	<p>1/ « Suite à » prend une connotation causale compte tenu de l'ordre des énoncés. La fuite nucléaire est la cause efficiente de la modification du code génétique de la grenouille.</p> <p>2/ Prise en charge énonciative par rapport à « je » et au verbe « penser » modifie le statut de ce qui était dit jusqu'ici : on passe d'un discours théorique à un discours interactif (Bronckart, 1996, p. 156). Cette modification du statut du texte permet à Raphaël d'orchestrer l'hétéroglossie : Raphaël prend en compte, par avance, une critique qui pourrait être formulée sur l'unicité de la raison qui « ça » qui reprend « ce qui provoque une modification du code génétique » « ça » : les autres raisons possibles sont à rechercher</p> <p>Cette intervention de Raphaël traduit un certain doute qui va permettre le développement de l'épisode 6.</p> <p>3/ Par contre, pas de contestation du lien entre caractères et information génétique : une modification du code génétique entraîne des modifications de caractère. « si l'espèce survit... » inscription dans un contexte signalé comme hypothétique.</p> <p>4/ mutation de gène : reprise-modification par anaphore lexicale qui traduit un changement de monde. Volonté de s'inscrire dans le champ scientifique.</p> <p>5/ « parce que mutation de gène » : présentée comme cause efficiente de l'apparition des grenouilles cornues</p> <p>6/ Et – difficile à interpréter : « et » commutatif ou « et » à connotation causale : deux conditions nécessaires ordonnées dans le temps ?</p> <p>7/ Modalisation appréciative « ce qui est important » + prise en charge énonciative « à mon avis » qui indique une prise de position par rapport à la proposition du groupe qu'il vient de présenter. Cette mise à distance va permettre le développement de l'épisode 5.</p> <p>8/ Reformulation de « si l'espèce survit et peut se reproduire et tout » en « c'est la survie // faut qu'elle puisse continuer à se reproduire » qui conduit à une explicitation du lien entre « survit » et « peut se reproduire ». La survie c'est la capacité à se reproduire.</p>

			Reprise-modification + modalisation logique « il faut » et nécessité
36	Prof	Est-ce que le fait d'avoir des cornes l'aide à survivre dans votre imaginaire	La question de l'enseignante ouvre la recherche sur les avantages conférés par les cornes en termes de survie. Il y a une dissonance ici sur le terme de survie compris par l'enseignante indépendamment de la reproduction, qui évacue la reformulation présentée en 35.
37	Raphaël	Ben plus que si elle n'avait pas de cornes / je pense ouai //	1/ Prise en charge énonciative : « je pense ouai »
38		Rire général	
39	Raphaël	Ne serait-ce que pour se défendre être cornu c'est quand même bien	Raisonnement analogique non explicité : recherche, par rapport à ce que l'on connaît de la fonction possible des cornes et on le déplace sur l'escargot. Ce raisonnement oriente vers la question de l'utilité intrinsèque des caractères apparus en dehors de la question de la possibilité de reproduction ou de concurrence entre espèces (il n'envisage pas forcément de concurrence par rapport à un milieu, ni avec d'autres individus).
40		Rires	
41	Prof	Est-ce que ça aurait pu être possible de voir apparaître des grenouilles cornues	
42	Camille	Il suffit qu'il y ait une modification dans son environnement qui fait que les gènes se modifient et qu'il y ait des cornes qui apparaissent / mais faut que ce soit un événement spécial dans son environnement qui change et qui la force à s'adapter et l'adaptation se serait d'avoir des cornes	Déplacement « il suffit que... » / mais faut événement spécial ». Cela permet une reprise d'une partie de la thèse développée par le groupe 1 : une relation causale entre le changement environnemental et les modifications génétiques. La place de l'adaptation est différente par rapport à l'explication du groupe 1 : ici cela semble être le résultat du processus et pas ce que l'on cherche à expliquer.
43	Raphaël	Mais là on a mis des cornes mais on aurait pu mettre un cheval à trois yeux	Insiste sur l'idée que c'est un expérience de pensée et pas le développement d'un cas concret.

Contrairement au premier groupe, comme en témoigne l'intervention de Camille (en 42), le deuxième groupe ne considère pas le « fait adaptatif » comme étant ce qu'il y a à expliquer, mais plutôt comme une conséquence des processus qu'ils vont tenter de décrire. Par contre, comme pour le premier groupe, le lien de causalité entre modification de l'information génétique et l'apparition de nouveaux caractères n'est pas remis en cause.

L'intervention de Raphaël (en 35), par la mise à distance de l'explication qu'elle réalise, ouvre la voie à deux pistes de discussion concernant :

- les raisons de l'apparition de nouveaux caractères (épisode 6) ;
- les raisons qui expliquent le maintien des modifications dans le temps (épisode 5-7).

Ces deux points font apparaître plusieurs possibles explicatifs qui sont soumis à la critique. Nous les analysons maintenant.

• 2.2.6. L'épisode 5-7 : Les raisons du maintien des caractères nouvellement apparus

Le tableau 8 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 5-7.

Tableau 8. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 5-7

44	Prof	Si les cornes n'apportent pas d'avantages particuliers à ces grenouilles / est-ce qu'elles auraient pu apparaître	Question de l'enseignante qui tente d'articuler les deux points de la discussion.
45	Léo	Y'a pleins de trucs qui servent à rien sur les animaux / même nous y'a des trucs qui nous servent à rien	1/ Nous pensons que le « même » a une valeur argumentative : si chez l'homme il y a « des trucs » qui servent à rien, cela vaut pour l'ensemble des êtres vivants. 2/ Lexique flou qui, par cela même, est un procédé de généralisation (moins contextuel que l'exemple de la grenouille) : décontextualisation / étude de cas et recontextualisation / texte plus général. Cette proposition vient répondre à la question de l'enseignante.
46	Raphaël	Ouhais / les sourcils ça sert à quoi	Décontextualisation / texte général et recontextualisation / exemple chez l'homme. Cela lance la recherche de ce qui sert à rien chez l'homme. Argumentation par l'exemple. Hétéroglossie implicite: reprend l'argument présenté par Léo. Cette intervention est dissonante par rapport à l'intervention 39, car elle introduit une nouvelle perspective sociale qui s'oppose à 39.
47	Léo	Des fois c'est par nécessité et des fois c'est parce que // comme ça quoi	Décontextualisation / exemple de l'homme et recontextualisation / texte plus général par une dénivellation: déictique + être: « c'est » qui reprend tous les éléments qui ont été présentés précédemment: « les sourcils » de 46, « les trucs » de 45, « les cornes » de 35, c'est-à-dire les caractères apparus. La structure symétrique de la proposition indique deux possibilités pour expliquer le maintien des caractères apparus: - soit ils sont apparus « par nécessité » c'est-à-dire en réponse à une modification de l'environnement - soit « c'est comme ça quoi » -> ce qui présuppose un ordre de la nature. Cherche à réduire l'écart entre les deux points de vue et à réconcilier tout le monde
48	Prof	Par exemple chez l'être humain on a des dents de sagesse //	Décontextualisation / texte général et recontextualisation / exemple chez l'homme. En faisant cela, l'enseignante reprend l'énoncé 45 de Léo et relance le débat sur la recherche du lien entre la présence de certains caractères et leur utilité.
49	Lara	Moi j'en ai plus	
51	Léo	Ben // j'sais plus // j'crois que j'ai dis que tout n'était pas forcément nécessaire ça dépendait / des fois c'est nécessaire des fois ça ne l'est pas	« J'ai dit » prise en charge énonciative « tout » reprise du déictique « c' » de l'intervention 47 permet une décontextualisation / exemple de l'homme et recontextualisation / texte plus général. Reprise de la proposition 47: recherche toujours à réduire l'écart.
52	Louise	Ben aux cornes / logiquement les cornes en générale c'est fait pour se défendre ou attaquer / les grenouilles elles en ont pas vraiment besoin donc à la limite dans l'évolution les cornes elles les perdraient / à moins qu'elles aient un prédateur redoutable avec qui elles auraient besoin	« C'est par rapport aux cornes » : Décontextualisation / texte général et recontextualisation / cas des grenouilles. Fonction des cornes: raisonnement en référence au monde « objectif » et à l'expérience quotidienne: « en général », « logiquement ».

		de cornes	« Donc » marqueur de déduction logique : pas usage -> disparition « à moins que » concessif usage -> maintien. Ce serait donc l'usage qui déterminerait le maintien des caractères apparus. Déplacement de la thèse présentée en 39. En 39, utilité intrinsèque : ici on passe à un usage. L'usage/non-usage dépend du milieu extérieur (ici la présence ou non de prédateurs).
57	Raphaël	Moi je pense que tout ce qu'il y a enfin tout ce qu'on a nous ça sert forcément à quelque chose sinon ça aurait forcément disparu / à force // les sourcils //	Double modalisation « moi je pense que » qui indique une prise de position par rapport à ce qui a été dit précédemment. Double reprise-modification « tout » -> « tout ce qu'il y a » / « tout ce qu'on a » (même basculement sur les êtres vivants / sur l'homme) de l'intervention de Léo 45/51 qui l'oriente vers l'une de deux possibilités relevées par Léo en 51 en s'appuyant sur l'argument de Louise en 52. Même dénivellation qui permet décontextualisation / cas des grenouilles et recontextualisation / texte plus général. « forcément » modalité aléthique « à force » -> réintroduction de la question du temps qui avait disparu de la discussion jusque-là et qui est aussi argumentatif (c'est encore plus sûr que cela aurait disparu avec le temps).
58	Quentin	Ça empêche la poussière	« Ça » reprise-modification « les sourcils » Argumentation par l'exemple (illustration)
59	Raphaël	Ça empêche la poussière de rentrer dans les yeux // par exemple la taille aussi elle change au fil des ans	Reformulation de 58. Argumentation par l'exemple (illustration).
60		Brouhaha, rires	
61	Prof	Pourtant il existe des opérations où on réalise l'ablation de certains organes comme par exemple l'appendice / sans que cela pose problème pour la personne	« pourtant » : signale un changement de point de vue. Introduction d'un contre-exemple par l'enseignante. Il y a des organes que l'on peut retirer sans conséquences délétères.
62	Lara	Ça sert à rien l'appendice	Reprise du contre-exemple par Lara.
63		Brouhaha	
64	prof	Les dents de sagesse par exemple ça a son utilité particulièrement	
65	Aurore	Ça avait son utilité avant parce que on avait besoin d'une forte mâchoire / mais maintenant notre mâchoire s'est adaptée ce qui fait qu'elles servent plus à rien au pire ça détériore notre dentition	Argument par l'exemple (illustration) Reconstruction a posteriori (il y avait une utilité avant) qui permet d'expliquer l'existence des dents de sagesse.
66	Camille	Notre alimentation elle a changé / ce qui fait qu'on s'en sert plus	Camille reprend la mise en relation proposée par Louise en 52, ce qui lui permet d'établir une relation entre la présence d'un caractère et le milieu de vie.
67	prof	Est-ce qu'on peut être sûr qu'elles vont disparaître	
68	Raphaël	Ben non elles vont pas disparaître parce qu'on aura toujours besoin de mâcher // mais par exemple avant tous les humains ils avaient beaucoup plus de poils et vu qu'on habite dans des foyers et qu'on a appris à se vêtir on n'a plus besoin de notre pelage	Argument : même s'il n'y a pas d'usage spécifique, il y a tout de même un usage Nouvel exemple
69	Lara	Moi par exemple des dents de sagesse j'en ai pas du tout // et comme ce qu'on mange c'est de plus en plus mou et ben	Explication qui permet de faire une prévision.

		notre évolution fera qu'on aura moins de dents	
91	Nathan	Je vois pas trop par exemple parce que les pygmées ils sont tous petits et dans la forêt je vois pas l'avantage	Recherche d'un contre-argument sur un autre exemple.
92	Louise	Ben s'ils peuvent mieux se cacher / je sais pas si ce sont leurs caractéristiques propres ou si c'est leur matériel génétique	Retournement du contre-exemple qui finalement entre bien dans la thèse développée ici.

Cet épisode argumentatif a une structure particulière. En effet, même si au début de l'épisode, il a deux thèses : « tous les caractères (qui se maintiennent) ont une utilité » / « certains caractères ne servent à rien », les analyses présentées montrent que l'épisode est organisé autour d'une réduction de ces deux thèses (en 47, en 51). La dissonance est orchestrée pour la réduire. C'est la raison pour laquelle nous ne présenterons pas de structure argumentative de cet épisode.

La première thèse, présentée par Raphaël en 35, explique le maintien des caractères apparus si la reproduction des individus est possible. Mais elle ne donne lieu ni à argumentation ni à objection puisque l'enseignant (en 36) semble ne pas la retenir (puisqu'elle ne la reconnaît pas). L'intervention de l'enseignante oriente la discussion sur la fonction des caractères apparus.

Une nouvelle thèse va alors se construire progressivement entre les interventions 37-92 : les caractères se maintiennent en fonction de leur utilité. Cette thèse va s'ajuster progressivement et donne lieu à une coconstruction.

Dans un premier temps, l'utilité est considérée d'un point de vue intrinsèque : ça sert / ça sert pas. Les élèves indiquent alors que l'on pourrait trouver des caractères ou des organes sans utilité / sans fonction. Cela conduit un élève à proposer que certaines adaptations sont nécessaires (ce qui renvoie à l'idée de modification de l'information génétique adaptative) et que d'autres sont comme ça (qui n'auraient pas d'utilité a priori). Des exemples venant illustrer cette proposition vont être recherchés par les élèves (les sourcils...). Dans un cas comme dans l'autre, cette conception renvoie à l'explication proposée par le premier groupe. Par contre, elle est difficilement compatible avec l'impossibilité des mutations adaptatives qui se construit également lors de la discussion du modèle présenté par le deuxième groupe d'élèves (épisode 6).

Il nous semble que la dynamique de l'extrait de débat présenté est liée à une tentative de réduction de cette dissonance. Ainsi, les élèves vont s'engager dans la recherche de la fonction des caractères, même si celle-ci n'est pas évidente d'emblée. Cela conduit au déplacement de la thèse initiale : celle d'une utilité intrinsèque des organes. C'est Louise qui assure ce déplacement : plutôt que l'utilité intrinsèque des caractères nouvellement introduits, ce serait l'usage d'un caractère qui permettrait d'expliquer son maintien. De plus, elle introduit, dans cette thèse, une dimension temporelle ce qui permet de l'étayer : si l'organisme concerné ne fait pas (ou ne fait plus) usage de certains organes, ils devraient disparaître avec le temps. L'explication par l'usage ou le non-usage des organes est compatible avec l'apparition aléatoire de nouveaux caractères.

Enfin, il y a une dernière évolution dans cette thèse : l'usage est mis en relation avec les caractéristiques du milieu extérieur. Comme celui-ci peut changer (l'alimentation, le mode de vie), on peut expliquer la présence de certains organes (même si actuellement l'organisme n'en pas usage) par un usage ancestral (c'est la reconstruction a posteriori en

65). Cette explication a une certaine fonctionnalité puisqu'elle permet de faire des prévisions, comme celle de la disparition des dents de sagesse chez l'Homme à long terme.

Il y a donc construction, selon nous, d'une nécessité d'utilité et d'usage des caractères apparus pour qu'ils se maintiennent, usage en fonction des caractéristiques du milieu de vie. La nécessité est fondée sur un ensemble d'éléments empiriques construits sur des exemples *ad hoc*, que l'on peut résumer suit : la fonction des différents organes (caractères) d'un organisme, compte tenu des conditions de vie. La présence d'organes (de caractères) dont l'organisme n'a pas usage peut être référée à une modification du milieu de vie. Avec le temps, les caractères apparaissent et se maintiennent alors que d'autres peuvent disparaître.

• 2.2.7. *L'épisode 6 : Les raisons de l'apparition des modifications génétiques*

Le tableau 9 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 6.

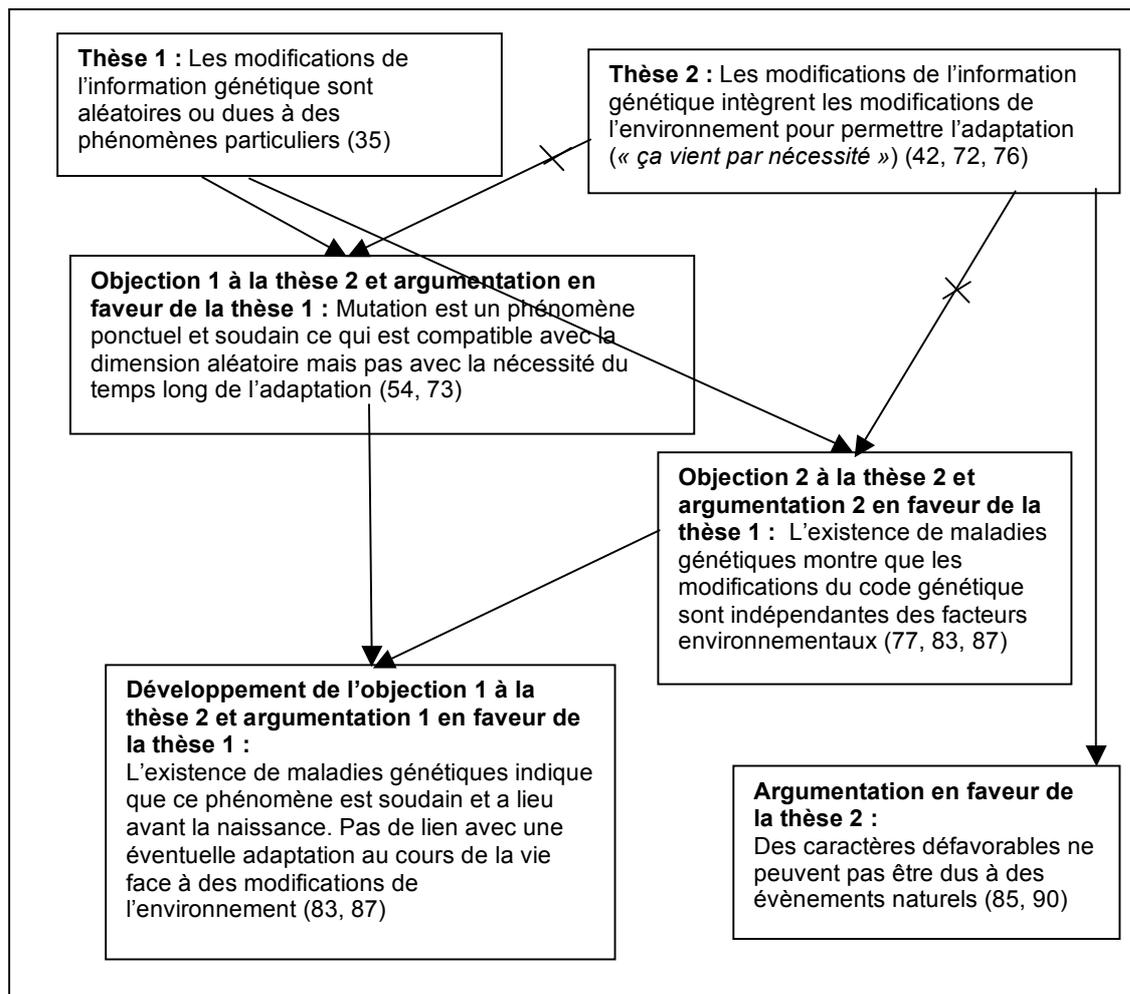
Tableau 9. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 6

54	Gwenoline	C'est des formes de mutations quelconques	Reprise modification par thématization et généralisation (indéfini des formes) : « Modification du code génétique » -> « mutation quelconques ». Orchestration de l'hétéroglossie : cette reprise-modification indique une prise de position par rapport à la position de Camille (en reprenant le terme proposé par Raphaël en 35) et ancre la discussion dans un monde scientifique. Construction de l'objet du discours « mutation » (en 35) est devenu « mutations quelconques » -> une caractéristique de la mutation, c'est qu'elle soit aléatoire. Cela confirme la déconnexion entre ce qui cause la mutation et les conséquences de la mutation.
71	prof	Je pose une question / est-ce qu'une mutation peut arriver spontanément au hasard comme ça sans qu'il y ait de lien avec l'environnement	Thématisation du différend par l'enseignante.
72	Louise	À part le nucléaire non	Pas de mutation aléatoire
73	Aurore	À part le nucléaire je pense que ça peut arriver au hasard parce que le corps n'a pas le temps de s'adapter c'est plus un changement brusque	Mutation aléatoire possible. Orchestration de l'hétéroglossie : double prise en charge énonciative « je pense » et modalisation appréciative « ça peut », « c'est plus » : signale une prise de position contre ce qui a été dit avant. La mutation est un phénomène soudain or une mutation adaptative nécessite un « temps long », ce n'est donc pas possible.
74	Louise	Tu peux répéter ta question	
75	prof	Ma question est de savoir est-ce que pour vous c'est envisageable de penser que les mutations dans le matériel génétique pourraient être totalement hasardeuses	
76	Louise	Pour moi non / à part par le nucléaire sinon c'est par nécessité	Orchestration de l'hétéroglossie : « pour moi » prise en charge énonciative : prise de position contre la position d'Aurore.

			Le « c'est » reprise-modification « mutation » « par nécessité » renvoie à l'idée que la mutation répondrait à l'intégration d'une modification du milieu dans l'information génétique.
77	Lara	Ben par exemple y'a des maladies génétiques qui viennent comme ça et c'est pas par besoin ni rien / même des déformations physiques / y'a des enfants qui naissent avec 4 doigts et c'est pas par nécessité ou par besoin / c'est parce que c'est comme ça	L'exemple des maladies génétiques : « comme ça » reprise modification de « hasard » en 73. Orchestration de l'hétéroglossie : « c'est pas par besoin ni rien » marque l'indépendance des mutations par rapport à un phénomène auquel il faudrait s'adapter. En cela opposition à la proposition de Louise en 76.
78	Prof	Alors pour toi ça peut arriver au hasard	
79	Lara	Ben ouais	
83	Louise	Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoqué c'est dès la naissance	« Par rapport à ce que disait Lara » Louise reprend l'argument de Lara pour développer son argumentation mais en prenant dans l'exemple ce qui vient renforcer son argument : Moments où ont lieu les modifications qui provoquent l'apparition des mutations. Comme c'est avant la naissance, cela ne peut pas être provoqué (pas de mutation adaptative)
85	Quentin	Oui mais les inconvénients ils sont provoqués par les des éléments pas naturels / si on parle du nucléaire	Orchestration de l'hétéroglossie : « oui mais » d'argumentation « il s'agit d'effacer l'effet argumentatif d'une proposition P, en allant dans un certain sens, en lui ajoutant une proposition Q allant dans le sens opposé, et y allant de façon plus décisive » (Ducrot, 1978, p. 43). Ici l'argument c'est que les « inconvénients » ne peuvent pas être provoqués par des causes naturelles.
86	prof	Pourtant certaines maladies sont dites héréditaires	
87	Louise	C'est quelque chose que t'as eu dès ta naissance pas au cours de ta vie	« C'est » Reprise-modification de « maladie héréditaires » Orchestration de l'hétéroglossie : précise ensuite une caractéristique des maladies héréditaires qui a valeur argumentative (reprise de l'argument présenté en 83).
88	Prof	Donc c'est inné // alors que tout ce qui confère un avantage ça va forcément être acquis au cours de la vie / c'est ça	
89	Quentin	Tu peux répéter	
90	Raphaël	À mon avis / non pas seulement les avantages //	Orchestration de l'hétéroglossie : prise en charge énonciative « à mon avis » qui signale une prise de position contre ce qui a été dit avant.

Par rapport à l'épisode précédent, où les élèves cherchent à réduire la dissonance produite par la proposition de deux thèses différentes, cet épisode est fortement argumentatif. Ainsi, nous pensons que le doute exprimé par Raphaël lors de l'intervention 35 est transformé en une question argumentative par l'enseignante, ce qui conduit au développement d'une opposition de thèses que nous allons représenter par une structure argumentative afin de comprendre ce qui est en jeu dans cet épisode, du point de vue de la problématisation (figure 3).

Figure 3. Structure argumentative de l'épisode 6



Il convient de souligner que la structure argumentative de cet épisode est différente celle présentée à la figure 2. Alors que le premier épisode argumentatif (pour ce débat dans cette classe) présentait une structure relativement linéaire (thèse, argumentation en faveur de la thèse, objection à la thèse, dépassement de l'objection à la thèse, reformulation de la thèse), celle-ci est différente. Les interventions des élèves ont un double rôle argumentatif. Elles permettent à la fois d'objecter face à la thèse des modifications génétiques adaptatives et d'argumenter en faveur de la thèse des mutations aléatoires. Notons la dimension fortement dialogique de cet épisode que l'on ne peut pas comprendre sans indiquer à quoi il vient répondre. Tout d'abord, il vient répondre aux propositions formulées par le premier groupe. Ensuite, cet épisode permet de remobiliser des savoirs préalablement construits sur le concept de mutation. L'introduction de cet élément de savoir, dès l'intervention de Raphaël en 35, par une reprise modification par anaphore lexicale permet un déplacement de la thèse 1 concrétisé par l'intervention de Gwenoline en 54 : les mutations sont aléatoires par définition, même si certains facteurs, comme les radiations évoquées par le groupe 2, peuvent les provoquer.

Ainsi, l'argumentation à propos de la dimension aléatoire de cette thèse conduit à mettre à mal la thèse des modifications génétiques orientées, pour deux raisons :

- le caractère soudain des mutations, incompatible avec une modification adaptative de l'information génétique en fonction des caractéristiques du milieu de vie ;

- les mutations touchent l'information génétique avant le développement embryonnaire, elles ne peuvent donc pas prendre en compte, par avance, les conditions de vie que l'organisme adulte va rencontrer.

Cette argumentation semble porter puisqu'une élève comme Louise semble changer de position au cours du débat :

- en 72, 76, elle indique que les mutations sont dues au nucléaire ou sont par nécessité ;
- en 83, c'est elle qui développe l'argument présenté par Lara : « Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoqué c'est dès la naissance ».

Les élèves qui adhèrent à la nécessité d'une intégration adaptative des modifications de l'environnement dans l'information génétique défendent une thèse sans l'argumenter. La dernière argumentation en faveur de la thèse des modifications génétiques adaptatives ne repose pas sur des éléments précis (qui pourraient être observables) mais sur une conception particulière des phénomènes vitaux qui, par eux-mêmes, ne peuvent pas entraîner des dysfonctionnements. Les dysfonctionnements sont nécessairement provoqués par des événements extérieurs. La vie ne peut pas aller contre la vie. Il nous semble que les élèves (Quentin, Raphaël) ne sont pas dans le même paradigme explicatif et qu'il soit difficile pour eux de pouvoir se résoudre aux arguments des autres. Cela relève de présupposés quasi-méthaphysique. Et cela conduit à un dialogue de sourd.

Au terme de cette épisode argumentatif, il nous semble que certains élèves de la classe ont pu construire, en appui notamment sur l'existence des maladies génétiques, que les mutations ne peuvent pas être adaptatives, même si elles peuvent être provoquées par des événements spécifiques, c'est-à-dire comme une réponse orientée à une modification de l'environnement pour les deux arguments avancés ci-dessus. Cette position est différente de la première. Elle vient même lui répondre, même si cette incompatibilité n'est pas explicitement thématifiée dans le débat.

• *2.2.8. Discussion intermédiaire : l'état de la discussion avant la présentation de l'explication du groupe 3*

1/ La structure de l'explication proposée par les élèves.

Il nous semble que nous pouvons interpréter l'explication proposée par le deuxième groupe d'élèves sous la forme d'une histoire. Même si l'état initial n'est pas clairement explicité, nous pensons que l'état initial n'est pas différent de celui du premier groupe : les espèces sont adaptées à leur milieu de vie. De la même façon, l'état final est le même.

En revanche, la perturbation est différente : c'est l'apparition de mutations aléatoires qui vient rompre l'état initial. Dans un premier temps, la mutation est provoquée par une fuite nucléaire et rapidement les élèves envisagent d'autres possibles, à partir des savoirs scolaires, et précisent que des mutations peuvent même survenir en dehors de conditions environnementales particulières (même si certaines peuvent les favoriser), c'est la discussion de l'épisode 6. Ces mutations aléatoires font apparaître de nouveaux caractères représentés par de nouveaux organes dans la discussion).

Comme la nature de la perturbation n'est pas la même que dans la première histoire (dans le premier cas, il s'agissait d'une modification de l'environnement), le problème auquel s'attaquent les élèves est également différent. Il ne s'agit plus d'expliquer comment des individus vont s'adapter à de nouvelles conditions environnementales, mais comment des caractères nouvellement apparus vont se maintenir ou non, de sorte que les individus soient, finalement, adaptés à son environnement (état final), c'est la discussion de l'épisode 5-7. Il nous semble que cela explique pourquoi les propositions référées à un mutationnisme adaptatif sont rapidement rejetées sans argumentation : ce n'est pas le problème... Du point de vue de la stratégie argumentative utilisée, nous retrouvons une dynamique semblable à celle décrite lors de la présentation du premier groupe : la construction de l'argumentation des élèves repose sur une dynamique de décontextualisation/recontextualisation en appui sur des exemples ad hoc à partir desquels les élèves recherchent la fonction des caractères nouvellement apparus pour établir leur utilité. S'ils sont utiles, ils se maintiendront, sinon ils disparaîtront. Il convient de noter que la recherche de l'utilité de telle ou telle caractéristique d'un être vivant est une priorité dans les travaux de Darwin. Utilité est d'ailleurs l'un des mots qui apparaît le plus dans *L'origine des espèces* (Pichot, 1993, p. 803). Pichot précise que, pour Darwin, « c'est l'utilité qui justifie l'organe » (*ibid.*, p. 804) puisque « une fois l'utilité trouvée, son explication est trouvée » (*ibid.*). Pour Darwin, c'est la sélection naturelle qui permet de conserver une nouvelle caractéristique. Dans l'explication proposée par les élèves, il n'y a pas de mécanisme expliquant ce maintien, il n'y a pas de concurrence entre les espèces, pas de compétition pour la survie. Dans ce sens, l'explication des élèves reste téléologique¹¹⁶.

3/ L'état de la problématisation à la fin de cette séquence.

La discussion se développe dans un cadre transformiste comme la première explication, puisqu'un individu va se transformer en une autre. Les élèves mobilisent des savoirs disponibles :

- les caractères exprimés sont le produit de l'expression de l'information génétique, cette dernière pouvant être modifiée à l'occasion de mutations aléatoires ;
- une maladie génétique, on l'a avant sa naissance ;

pour établir l'impossibilité d'une orientation adaptative des modifications génétique.

La mobilisation de la nécessité d'un temps long, qui pourrait être importée de la séquence à propos de l'explication du groupe 1 (il convient de modaliser fortement cette hypothèse puisque nous n'avons pas moyen de le savoir, il peut également s'agir d'une contrainte théorique mobilisée dans ces raisonnements sans relation avec la discussion précédente), dans le cadre d'un raisonnement téléologique, permet de construire la nécessité de l'usage des caractères apparus pour qu'ils se maintiennent.

Il convient de préciser l'usage du temps fait par ce groupe d'élèves. Alors que le temps long était nécessaire pour permettre aux mutations adaptatives d'avoir lieu dans le premier groupe, ici, le temps long permet d'expliquer le devenir des caractères apparus. Le temps long permet d'expliquer que certains caractères vont se maintenir alors que d'autres vont disparaître : « temps long + usage » explique le maintien des caractères apparus, « temps long + non usage » explique la disparition des caractères apparus.

¹¹⁶ Même si cela semble critiquer toute explication téléologique. Pour prendre en compte le projet, la « téléonomie » de Monod (1970, p. 23-29), il faudrait envisager plusieurs niveaux dans les explications téléologiques.

Pour savoir ce que vont devenir ces nécessités dans la suite de la discussion, nous allons étudier la présentation / explicitation du groupe 3.

• 2.2.9. Présentation du groupe 3

Le tableau 5-11 présente l'analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 2.

Tableau 5-11. Analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 3
Jonathan, Louise et Lucille font partie du groupe 3.

96	Louise	Le mésohyppus c'est l'ancêtre du cheval / il était petit et avait 4 griffes c'est une proie qui pour se défendre doit fuir / en fait pour mieux courir il s'est adapté physiquement ses prédateurs étaient de plus en plus grands et couraient de plus en plus vite et lui il était petit et courait de pas très vite // donc il a grandi et ses griffes se sont transformées en sabots pour une meilleure adhésion au sol, et plus de rapidité // et il a grandi pour prendre plus de force en fait et ça donne un cheval	Mise en histoire : - en italique présentation du personnage, de sa situation initiale condensée et de son évolution : mésohippus est une proie facile, adaptation physique pour fuir plus facilement - le déclencheur : reprise de « c'est une proie » qui est explicité : c'est une proie facile car ses prédateurs sont grands et courent vite (l'évolution est une réponse à une modification des prédateurs) - les solutions au problème « donc » connecteur logique qui permet de comprendre pourquoi mésohippus n'a pas tout simplement disparu - « il a grandi » pour avoir plus de force - griffe -> sabot pour avoir une meilleure adhésion au sol et courir plus vite - Résolution et conclusion « et ça » : dénivellation : l'ensemble de ces modifications conduit à transformer mésohippus en cheval. C'est l'état final
97	Prof	Des réactions	
98	Léo	La génétique elle intervient pas là	Critique qui porte sur l'absence de référence à la génétique
99	Plusieurs élèves	Ben si	
100	Louise	Comment tu fais cette évolution-là mise à part génétiquement	Réponse de Louise à la critique émise par Léo : lien entre les caractères génétiques et l'apparition de nouveaux caractères
101	Léo	Mais c'est pas écrit	
102	Louise	C'est pas écrit mais c'est supposé	
103	Aurore	Je trouve que ça reprend un peu le premier schéma sur l'évolution progressive selon les conditions de l'environnement	Mise en relation entre l'explication proposée par le groupe 3 et celle présentée par le groupe 1.
104	Gwenoline	C'est vraiment prouvé ce qui s'est passé là en fait (interrogatif)	
105	Nathan	T'as déjà vu une photo du mésohippus	
106	Prof	Je ne valide par leur modèle explicatif // je peux préciser que mésohyppus est un fossile qu'on a retrouvé qui montre des caractéristiques qu'on observe chez le cheval actuel / notamment avec un troisième doigt plus développé	
107	Louise	Le fait qu'il court ça a dû aplatiser à moitié ses griffes et en fait y'a une griffe qui se transforme en sabot et les autres griffes en fait sont dans la jambe	Autre explication téléologique possible par rapport à la transformation des membres.
108		//	
109	Nathan	C'est les os maintenant // ce qu'on peut voir sur la jambe d'un cheval c'est que ça ressemble plus ou moins à une patte / c'est	

		bizarre car ce prolongement comme ça on ne retrouve pas ça chez beaucoup d'animaux // et euh c'est vrai que ça pourrait expliquer ça	
110	Louise	Lucille elle m'avait expliqué et ça coïncidait bien	

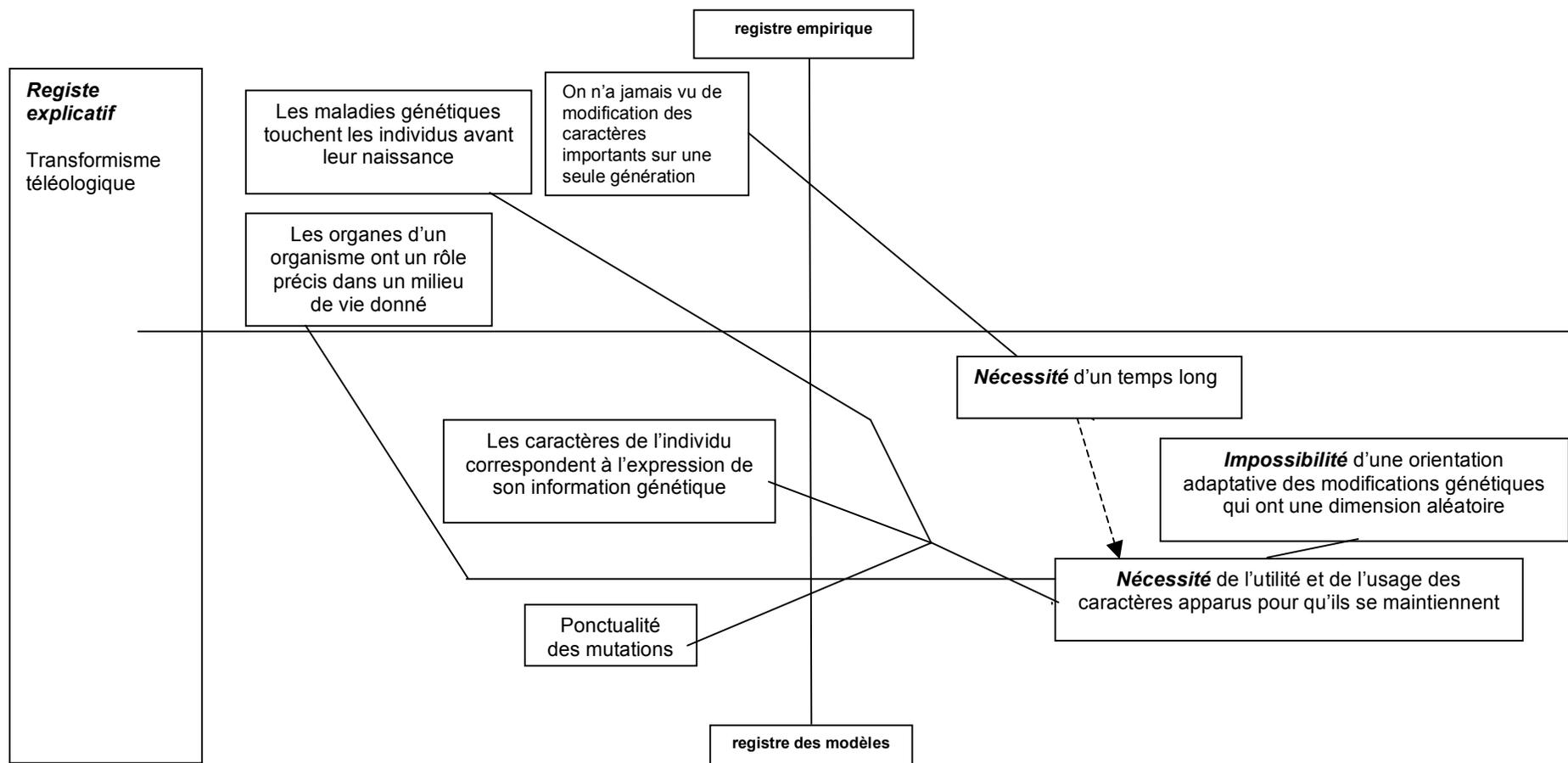
Comme l'indique Gwénoline en 104, cette explication est effectivement proche de celle développée par le premier groupe. L'explication présentée s'appuie sur les modifications adaptatives d'un individu. Le singulier, employé par Louise en 93, renvoie à la fois à l'organisme (à un individu) et au type, mais ne s'intéresse pas à la collection. Les modifications adaptatives conduisent à une transformation de l'individu en un nouveau. Les critiques émises à propos de cette présentation ne reprennent pas les éléments discutés lors de la deuxième présentation. Deux critiques sont émises ici. Le fait que la génétique ne soit pas explicitement convoquée dans cette explication. Nous avons déjà indiqué que cette discussion se déroule dans un cadre explicatif plus ou moins génétique, mais où, a minima, les caractères sont liés à l'information génétique des individus. Louise, en 100, précise que cela va de soi et qu'il n'est donc pas nécessaire de le préciser puisque c'est évident. La seconde critique porte sur la vraisemblance de cette histoire : intervention de Gwénoline en 104 : « C'est vraiment prouvé ce qui s'est passé là en fait ».

L'explication du groupe 3 raconte une belle histoire, mais celle-ci n'est pas soumise à une discussion critique. Les contraintes et nécessités construites au cours de la séquence précédente (présentation G2, épisodes 5, 6 et 7) ne sont pas mobilisées. Aucune avancée de la problématisation n'a lieu, si ce n'est l'intervention de Louise en 100 (« comment tu fais cette évolution-là mise à part génétiquement ») qui semble confirmer l'interprétation faite depuis le début de l'analyse, à savoir que le lien « information génétique » -> « caractère » est une contrainte théorique liée à la communauté discursive scolaire scientifique qui n'a pas besoin d'être dite (cela va de soi pour tous les membres de la communauté).

■ **2.3. Conclusion : l'espace « contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES**

Pour faire le point, à la fin du débat, sur les contraintes et nécessités construites et discuter, dans la section suivante, de ce qui a favorisé / empêché le développement de l'activité de problématisation des élèves, nous présentons l'espace « contraintes et nécessité » en jeu dans ce débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES (figure 4).

Figure 4. Espace « contraintes et nécessités »¹¹⁷ en jeu dans le débat sur les mécanismes de l'évolution en classe de première ES



¹¹⁷ Ici, nous utilisons le terme registre explicatif car nous qualifions le produit du processus de problématisation qui reprend des contraintes et nécessités construites dans des séquences différentes du débat pour lesquelles nous sommes loin d'être sûr que les élèves aient fait ces relations.

3. Discussion

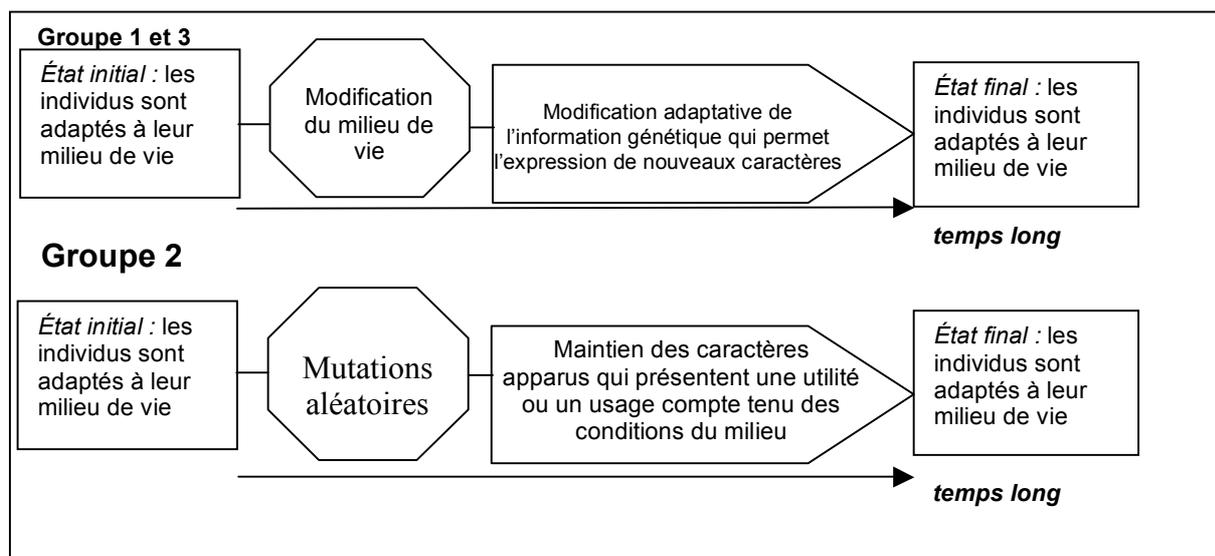
Voyons l'apport de cette étude de cas par rapport à ce qu'il met à jour du processus de problématisation des élèves à propos d'une explication de l'évolution des espèces dans une situation scolaire ouverte ayant donné lieu à un débat scientifique dans une classe de première ES. Il s'agit de montrer les apports d'une analyse épistémologico-langagière pour comprendre le processus de problématisation.

■ 3.1. La forme narrative des explications produites : outil / obstacle

Nous avons indiqué que les trois explications construites ont une forme narrative (plus ou moins explicitée en fonction des explications des groupes) : elles ont une structure linéaire attestée graphiquement par les quatre productions de groupe (présentées en annexe 2).

Cependant, même si l'état initial et l'état final sont identiques, l'histoire n'est pas la même. La figure 5 présente ces deux histoires.

Figure 5. Les deux explications présentées au cours du débat



Dans ces deux explications, l'élément perturbateur est différent et c'est l'écart entre la perturbation et l'état initial qui déclenche la recherche d'une explication. Elle consiste alors à un retour à un état d'équilibre. Cela permet de comprendre comment la position du problème oriente la nature de l'explication construite. Cela permet également de comprendre pourquoi les deux explications sont incompatibles : elles ne répondent pas au même problème et, par-là, pourquoi les éléments explicatifs construits lors de la présentation du premier groupe ne sont pas entendus lors de la discussion du deuxième groupe et sont rejetés sans discussion. Ces éléments n'ont pas de pertinence par rapport au problème pris en charge à ce moment de la discussion. Ainsi, il nous semble que la forme récit mobilisée par les élèves a une double fonction, caractéristique des obstacles (Fabre, 1995 ; Peterfalvi, 2001) : celle d'outil et d'obstacle. En effet, le récit, en tant qu'outil, est

propice à la position d'un problème. Comme le précise Bruner, « *un grand récit nous invite à poser des problèmes, il n'est pas là pour nous dire comment le résoudre* » (2002/2005, p. 33). De plus, c'est un genre en dépôt dans la culture populaire qui fournit aux élèves une forme langagière qui leur permet de s'essayer à une explication.

Par contre, la mise en histoire engage naturellement les élèves à produire une explication linéaire, ce qui vient renforcer le caractère transformiste de leurs explications, transformisme qui caractérise généralement les explications de l'évolution des espèces (Audigier & Fillon, 1991 ; Fortin, 1994 ; Ferrari & Chi, 1998 ; Fortin, 2000). La première explication peut renvoyer, d'après la typologie de Fortin (1994, p. 158-159), à une conception pro-évolutionniste où les modifications génétiques sont induites par le milieu et sont favorables à l'organisme. La seconde à une conception pseudo-transformiste.

Dans les deux cas, la nouvelle espèce vient prendre la place de l'espèce de départ, selon un processus proche d'une métamorphose, puisque même s'il s'agit d'un nouvel individu, il s'agit d'un individu qui prend le relais de l'individu précédent. Ce mythe de la métamorphose, comme le précise Rumelhard, « *sert de toile de fond à une mythologie évolutionniste qui fonctionne toujours-à-nouveau comme un obstacle à l'assimilation des conceptions darwiniennes* » (1995, p. 336). Cet obstacle fonctionne de deux façons différentes dans les deux explications. Dans la première, il joue complètement puisque toute transformation est possible, sans contrainte. Dans la seconde, il joue autrement, puisque les modifications génétiques ont un caractère aléatoire. Cependant, les élèves en restent à un raisonnement au niveau de l'individu ou du type, ils en restent à une série dans le temps (dans le plan vertical du schéma 5-4), ils n'arrivent pas à intégrer série dans l'espace (la population) et série dans le temps, intégration qui caractérise la pensée évolutionniste. Ainsi, la transformation d'un individu/type en un autre relève toujours d'une métamorphose. Le nouvel être vivant apparaît dans le prolongement du précédent, mais plus perfectionné, plus adapté, dans un processus de perfectionnement graduel d'organisation. Puisqu'il n'y a pas de population (série dans l'espace), cela ne permet pas de penser la diversification. C'est la raison pour laquelle, nous pensons que « *l'élève abandonne la diversification pour ne retenir que la transformation* » (Fortin, 2000, p. 92-93). De la même façon, il n'y a pas de disparition d'espèces, ce qui renvoie à une conception continuiste de l'histoire de la vie, d'autant plus que la pensée commune, comme le rappelle Rumelhard, « *admet volontiers que des créations d'êtres ou de choses ont lieu, mais que "rien ne se perd"* » (1995, p. 15). Cela constitue un obstacle à la conceptualisation du négatif en SVT. Au final, les élèves développent une conception ontogénétique de l'évolution basée davantage sur le modèle d'un développement que sur celui d'un modèle darwinien. Dans ce sens, l'évolution assure « *le changement dans la continuité* » (Fortin, 2000, p. 96), ce qui place les explications transformistes dans un cadre plus fixiste qu'évolutionniste, paradoxe déjà souligné par certains didacticiens (Lacombe, 1987 ; Fortin, 2000). Cela conduit, comme le précise Rumelhard, à manquer « *cette nouvelle dimension qui permet de comprendre la constitution du monde vivant, celle de l'histoire* » (1995, p. 338).

Il nous semble que la structure narrative traduit, sur le plan langagier, un raisonnement séquentiel « qui ne favorise pas la prise en compte simultanée de toutes les caractéristiques de la situation » (Viennot, 2003, p. 16). Ainsi pour envisager une diversification, il faut pouvoir concevoir, à la fois, la formation d'une nouvelle espèce et le maintien de l'espèce souche par le phénomène de la spéciation. Envisager une diversification nécessite une

rupture avec un raisonnement séquentiel et la prise en compte des séries d'êtres vivants dans une dimension horizontale ET verticale.

Nous voulons souligner que la mise en récit des élèves rate, pour le deuxième groupe, l'articulation entre l'apparition aléatoire de nouveaux caractères et le tri qui suppose une pluralité et une diversité (il n'y en a pas puisque les élèves raisonnent sur une série linéaire d'être vivants) par le milieu. Le fait, pour ces élèves, de ne pas pouvoir mobiliser le concept de population ne leur permet pas de construire le concept de sélection naturelle.

■ 3.2. La dynamique de construction de l'explication

1/ La pratique du débat scientifique appuyée sur des productions de groupes permet aux élèves de s'inscrire au sein d'une communauté discursive scientifique scolaire dont le mode de fonctionnement est construit progressivement au sein de la classe. De ce point de vue, les premières interventions montrent un certain tâtonnement qui permet une « reconstruction par le sujet des paramètres de l'interaction sociale » (Bernié, 2002, p. 78-79).

Les trois premières interventions du débat semblent intéressantes à analyser de ce point de vue.

1	Prof	Donc on s'interroge bien sur qu'est ce qui peut amener au cours du temps à l'apparition d'une nouvelle espèce // qu'est ce que vous pensez de leur explication / vous pouvez émettre des critiques positives ou négatives ou des questions
2	Louise	C'est bien c'est logique
3	Lara	C'est par rapport à la reproduction qu'il y a des changements génétiques / au fur et à mesure que les espèces s'adaptent // enfin //

Les interventions de Louise et de Lara indiquent la recherche d'un positionnement adéquat au sein du débat scientifique. Dans un premier temps, Louise valide la présentation du premier groupe arguant de la logique de la présentation. Lara, quant à elle, à partir du cas présenté par le premier groupe (l'évolution du canard en période glaciaire), propose une formulation qui prend la forme, pour reprendre la typologie de Bronckart (1996), d'un discours théorique (discours qui renvoie au monde objectif et qui est autonome à l'égard des paramètres de la situation de communication). Il nous semble que les élèves hésitent ici entre la validation rapide d'une proposition et un énoncé général. Cet énoncé est incomplet puisque le lien entre les changements génétiques et l'adaptation des espèces reste relativement implicite (il est inclus dans le « au fur et à mesure »). La suite de la discussion vise à construire l'explication via la construction de contraintes et de nécessités. L'activité de problématisation passe alors par un changement de position des élèves par rapport au discours tenu. Rapidement les élèves prennent une certaine distance par rapport aux énoncés produits, distance signalée par des phénomènes énonciatifs relevés dans nos analyses. Cela s'accompagne également du développement d'une activité argumentative. Ainsi, par l'activité langagière et cognitive développée au cours du débat scientifique, les élèves passent d'un discours propositionnel peu argumenté, à un discours plus scientifique et aussi d'un discours sur un phénomène à un discours sur (au moins en partie) un discours concernant ce phénomène.

2/ Plusieurs mécanismes langagiers accompagnent l'activité de problématisation des élèves. Nous avons indiqué différents processus de coconstruction des éléments qui entrent en jeu dans la problématisation à travers, notamment, des stratégies de

reformulations et de dénivellations identifiées dans le débat. L'ensemble de ces déplacements épistémologico-langagiers associé aux stratégies d'orchestration de l'hétéroglossie et du dialogisme permet d'augmenter la cohérence de l'explication construite (phénomène déjà mis en évidence dans Jaubert & Rebière, 2000 ; Jaubert, 2001 ; Jaubert, 2008 ; Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2009). On observe ainsi d'une part, des mécanismes de textualisation, essentiellement, dans le cas étudié, un travail sur la cohésion référentielle des énoncés et sur les phénomènes de connexion et, d'autre part, des mécanismes de prise en charge énonciative. Effectivement, nous avons montré le caractère dialogique des énoncés produits par les élèves qui n'ont de sens que si on les met en relation avec les énoncés précédents auxquels ils viennent répondre.

L'augmentation de la cohérence des énoncés soulignée plus haut conduit à deux cas de figure différents :

- Soit, elle permet une réduction la dissonance produite par les différentes voix qui s'expriment dans le débat (dans la même intervention : hétéroglossie ; entre plusieurs intervention : dialogisme) en essayant de les faire tenir ensemble. C'est le cas pour la construction de la l'explication du groupe 1 et de la discussion de l'épisode 5-7. Cela permet de construire la nécessité de l'utilité et de l'usage des caractères apparus pour qu'ils se maintiennent ;
- Soit, elle conduit à la mise en place de deux thèses qui s'opposent. Dans les discussions des épisodes 2-4 et de l'épisode 6, cela provoque l'enclenchement d'un épisode fortement argumentatif.

Dans l'épisode 6, il y a une opposition entre deux thèses irréductibles (car elles ne s'inscrivent pas dans le même paradigme) : la thèse des modifications génétiques aléatoires (1) face à la thèse des modifications génétiques adaptatives (2). Les élèves qui développent la thèse 1 s'appuient sur la mobilisation d'un savoir stabilisé (le concept de mutation). Il nous semble que l'appui sur un savoir stabilisé est un acte argumentatif fort qui confère, à ceux qui l'énoncent, une position de dominance. Comme le précisent Plantin et Buty, « *cette relation de dominance, qu'elle soit locale ou établie, peut influencer les processus de validation, les propositions venant de la position haute ayant tendance à être validées et celles de la position basse rejetées* » (2009), ce qui conduit, selon nous, à la validation de la thèse 1. Nous avons également montré que les procédures d'argumentation mobilisées par les élèves permettent, la construction de contraintes et de nécessités. Dans l'épisode 6, l'impossibilité d'une modification génétique adaptative. Lors de l'épisode 2-4 / 1-3, nous avons analysé un épisode argumentatif qui conduit à une reformulation de la thèse de départ, reformulation qui induit la construction de la nécessité d'un temps long.

Dans les épisodes fortement argumentatifs, la mobilisation du trilogue argumentatif de Plantin (1996, 2005) nous a permis d'identifier les questions argumentatives construites au cours de ces épisodes. Dans la séquence correspondant à la présentation du premier groupe, nous avons indiqué que la question argumentative n'était pas thématisée alors qu'elle le sera dans la séquence correspondant à la présentation de deuxième groupe. Plantin (1996, p. 15-17) distingue plusieurs types de questions :

- la question principale qui « *définit l'enjeu officiel de la rencontre* » (*ibid.*, p. 15) ;
- les questions dérivées « *dont le traitement apparaît comme nécessaire dans le cadre du traitement de la question principale* » (*ibid.*, p. 16) ;
- les questions déplacées qui « *n'ont pas de lien avec la question principale* » (*ibid.*, p. 17).

Dans les deux épisodes analysés, nous avons à faire avec deux questions dérivées : quels sont les mécanismes qui permettent de rendre compte des modifications génétiques adaptatives ? ; quelles sont les causes des modifications génétiques ? Du point de vue des savoirs à faire construire aux élèves, seule la seconde question a une pertinence épistémique. C'est une question scientifique et elle correspond effectivement à une question que la professeure veut voir traiter par la classe. La première question peut devenir pertinente, d'un point de vue épistémique, si elle est posée au niveau des populations et pas seulement au niveau de l'individu. Ainsi, pour les élèves qui n'envisagent pas ou ne peuvent pas poser cette question au niveau des populations, la question a du sens.

3/ Au sein des épisodes argumentatifs et dans la construction des explications des élèves, nous avons repéré différentes stratégies argumentatives mises en œuvre. Nous avons constaté qu'elles étaient relativement variées aussi bien au niveau de la dynamique argumentative que du type d'arguments utilisés (tableau 11).

Tableau 11. Catégorisation des raisonnements produits par les élèves dans le processus de problématisation (débat mécanisme de l'évolution – 1re ES)

Type de raisonnement	Occurrence dans le débat	Épisodes concernés
Raisonnement par analogie	1	E2-4
Raisonnement par l'inacceptable	1	E3-1
Raisonnement par l'exemple	5	E2-3 (le bronzage), E3-1 (les insectes), E5-7 (ce qui sert/sert à rien chez l'homme ; les cornes chez les animaux), E6 (maladies génétiques)

Dans ce débat, il convient de noter la place importante des arguments qui font appel à des cas particuliers qu'il s'agisse d'argumentation par l'exemple ou d'illustration. Ces arguments sont associés à une dynamique de décontextualisation / recontextualisation. Cette dynamique joue un rôle important dans ce débat puisqu'elle permet aux élèves de construire un champ de référence qui n'est pas donné au départ. Ainsi, alors que Rebière, Schneeberger et Jaubert (2009) ont mis en évidence un « *travail de réduction du champ de référence* » dans certains débats analysés, nous constatons, dans l'exemple qui nous intéresse, un premier temps de construction d'un champ de référence au sein duquel les élèves puiseront de quoi étayer leurs argumentations. Il nous semble que l'on peut mettre ce constat en relation avec la situation proposée aux élèves qui est très ouverte d'une part, et les connaissances spontanément mobilisables par les élèves sur les questions de l'évolution qui au contraire sont réduites, d'autre part.

Ces différents processus permettent de passer d'énoncés premiers incomplets, constitués de bribes de genres différents propositionnels peu problématisés, à des explications qui prennent une forme narrative appuyée sur des contraintes empiriques et théoriques (plus ou moins explicitées) et des nécessités sur le modèle. Ce processus correspond, à la fois, à une activité de problématisation sur le plan épistémologique et sur le plan langagier à une secondarisation, même si la mise en texte du savoir ne renvoie pas à un format relevant du champ scientifique (plutôt celui de la vulgarisation scientifique, ce qui nécessiterait des investigations supplémentaires). Ainsi au final, les deux explications ont une forme narrative et proposent le récit de l'apparition de nouvelles espèces. En témoigne d'ailleurs la présentation proposée par le dernier groupe qui prend d'emblée la forme d'une histoire.

4/ Pour terminer cette discussion, nous souhaitons revenir sur la façon dont trois éléments interviennent dans les explications des élèves :

- l'adaptation ;
- le milieu ;
- le temps.

L'intervention de l'adaptation dans les explications des élèves : outil/obstacle ?

Dans les deux explications construites par les élèves, nous avons indiqué que le fait d'adaptation n'est pas mis en question. Comme la structure narrative dont nous venons de parler, il joue un double rôle d'outil et d'obstacle. C'est un outil dans le sens où il permet aux élèves de poser le problème, il constitue, pour reprendre la métaphore de Wittgenstein, un gond autour duquel les élèves vont pouvoir s'engager dans le processus de problématisation. C'est parce que le fait d'adaptation est hors-question que l'activité de problématisation peut s'enclencher, même si en retour le processus de problématisation éclaire d'une nouvelle façon ce fait adaptatif¹¹⁸.

Le fait adaptatif non discuté est le produit d'une « *vision quasi structurelle de la nature, où chaque espèce occupe une place bien définie* » (Fortin, 2000, p. 95). En ce sens, il a le statut d'obstacle puisque les explications des élèves, même si elles ont une dimension transformiste, se développent dans un monde qui a une certaine fixité. En effet, il nous semble que la non mise en discussion du fait adaptatif indique une conception d'un monde harmonieux, où les êtres vivants sont en équilibre avec le milieu de vie. Or Rumelhard (1994), à propos des études didactiques sur la régulation, précise que cette conception du monde est un obstacle (Rumelhard parle de « *l'obstacle de l'harmonie* ») à la construction de savoirs scientifiques dans la mesure où « *cette vision mythologique du monde est en correspondance avec une attitude de contemplation et un refus d'analyse et d'étude scientifique* » (*ibid.*, p. 45). Il nous semble que cette conception du monde renforce la présentation continuiste de l'histoire des êtres vivants puisqu'elle s'oppose à l'idée de crise ou à celle des disparitions complètes de certaines espèces. L'obstacle de l'harmonie, comme l'obstacle de la métamorphose lorsqu'il concerne l'évolution, conduisent à une négation du temps, au sens historique du terme, c'est-à-dire de son rôle comme « *agent de l'organisation des formes vivantes* » (Rumelhard, 1995, p. 338).

Dans ce sens, le fait adaptatif non questionné constitue un obstacle à la construction du concept d'évolution puisqu'il oriente l'activité de problématisation des élèves vers la recherche d'explications téléologiques, seul moyen d'articuler apparition de nouveaux caractères et les modifications du milieu de vie en dehors de la mobilisation du concept de sélection naturelle.

L'intervention du milieu dans les explications des élèves.

Dans les analyses épistémologico-langagières conduites sur les deux explications des élèves, nous avons fait référence au milieu de vie. Mais il nous semble que dans les deux

¹¹⁸ On retrouve ici la différence problématologique de Meyer : pour s'interroger sur le fait adaptatif (dans une dimension problématologique), il convient dans un premier temps de la considérer comme hors question, comme apocritique. Meyer prend l'exemple de la Révolution française pour développer cette thèse (1993, p. 52-53).

explications proposées par les élèves, il ne s'agit pas du même milieu. Précisons un peu les conceptions du milieu de vie mobilisées par les élèves à partir du rôle qui leur est attribué dans les deux explications.

Dans la première explication, le milieu est considéré comme « un ensemble de paramètres qui existent indépendamment des êtres vivants » (Rumelhard, 2007, p. 519). Le milieu, à travers certaines caractéristiques, exerce une pression sur les êtres vivants qui sont ou non adaptés. Ainsi, les êtres vivants subissent les contraintes externes du milieu et doivent s'y adapter pour retrouver un état d'équilibre harmonieux.

Dans la seconde explication, il nous semble que les élèves commencent à envisager une relation entre l'être vivant et son milieu de vie qui tend vers une relation fonctionnelle entre les êtres vivants et le milieu de vie¹¹⁹. Même si les élèves ne font pas appel au concept de sélection naturelle pour lier, comme dans le modèle darwinien, les innovations et leur devenir, le milieu joue un rôle dans le devenir des caractères nouvellement apparus. Le lien est établi par les élèves via l'idée d'utilité/ d'usage qui subit un déplacement au cours du débat. Dans un premier temps, l'utilité du nouveau caractère est considérée d'un point de vue intrinsèque qui, de ce fait, a une dimension téléologique. Mais rapidement, les élèves articulent l'idée d'usage et d'utilité au milieu de vie. Ainsi certains caractères peuvent se maintenir si l'être vivant est amené, compte tenu du milieu, à en avoir l'utilité. Toutefois, cette relation entre le milieu et l'être vivant n'est pas suffisamment travaillée lors du débat scientifique pour pouvoir être conceptualisée¹²⁰. Ainsi, il est probable que les élèves en restent à une conception commune du milieu.

Le temps dans les explications des élèves

La biologie historique a pour spécificité de faire intervenir le temps dans les explications produites. Nous avons repéré trois interventions possibles du temps dans les explications des élèves :

a/ Le temps intervient dans le format des explications choisies qui prennent la forme d'un récit impliquant/reposant sur un raisonnement séquentiel. Nous avons montré, dans cette étude, qu'il centre les élèves sur la prise en compte d'une série d'individus dans le temps. Cela exclut, dans un premier temps (dans des raisonnements séquentiels « simples » comme ceux que nous avons décrits), les séries horizontales d'êtres vivants (figure 5-4). Pour pouvoir passer à une pensée évolutionniste, les élèves vont devoir passer du raisonnement sur des séries d'êtres vivants à un raisonnement dans le plan qui intègre ces deux séries (le raisonnement sur des espèces)¹²¹.

b/ Le temps intervient, dans l'explication du groupe 1, pour rendre possible des modifications génétiques dont l'enseignante pointe l'impossibilité biologique. On voit

¹¹⁹ Rumelhard précise d'ailleurs que « le concept de milieu est précisément, ou plutôt devrait être conçu comme le concept d'une relation » (2007, p. 518).

¹²⁰ Rumelhard précise que cette conception du milieu, entendu comme une relation fonctionnelle entre le vivant et le milieu de vie nécessite « un effort de conceptualisation c'est-à-dire aussi de déconstruction des obstacles » (2007, p. 530) dont la chosification du concept de milieu, à en faire « un objet observable et ayant leur propriétés » (*ibid.*, p. 529).

¹²¹ Comme le précise Orange et Orange (1995), il ne s'agit pas « de dépasser le raisonnement séquentiel en évacuant le temps ».

intervenir ici un « temps magique » qui rend toute transformation possible, sans contrainte, sans limite. C'est pourtant sur la base d'un tel raisonnement que les élèves construisent la nécessité d'un temps long.

c/ Dans la troisième explication, c'est une forme différente du temps long qui est envisagée : il joue un rôle discriminant dans le maintien ou la disparition de certains caractères en relation avec l'usage ou l'utilité des caractères. Dans ce sens, il commence à intervenir comme une composante du processus évolutif. Mais comme les élèves ne pensent pas à l'échelle de la population, ils en restent à une explication transformiste des êtres vivants.

4. Conclusion

La problématisation scolaire étudiée dans une classe de première ES est éloignée de la norme épistémologique prise pour référence. Nous avons indiqué, au fil du texte, certaines raisons qui peuvent expliquer la difficulté à s'engager dans une problématisation sur cette question. Dans ce cas, les élèves réussissent, à partir des savoirs scolaires disponibles en génétique, à construire l'impossibilité d'une modification de l'information génétique adaptative. Par contre, le niveau d'organisation (celui de l'individu ou du type) à partir duquel les élèves s'attaquent à cette question ne leur permet pas de construire le problème dans un paradigme évolutionniste (le concept d'espèce qui intègre une série d'êtres vivants dans le temps et dans l'espace est une condition de possibilité de l'évolution). Ici, les élèves produisent des explications dans un paradigme transformiste. Cela pose la question didactique des conditions de possibilité pour engager les élèves à travailler au niveau des populations et des espèces et donc du passage d'un paradigme à un autre (qu'est-ce que cela nécessite comme réorganisation au niveau du cadre épistémique : quels sont les outils cognitifs nécessaires pour pouvoir penser l'évolution ?). Cette question est d'autant plus intéressante que les concepts biologiques à disposition des élèves sont construits au niveau des organismes et non des populations (comme dans le cas de la génétique par exemple) : quels outils ont-ils à disposition pour penser en termes d'espèces, c'est-à-dire d'un ensemble de séries d'individus dans le temps et dans l'espace ?

Les analyses épistémologico-langagières menées nous ont permis :

1/ De montrer le rôle particulier joué par les argumentations par l'exemple dans ce débat (nous n'avons pas identifié ce type d'argumentation dans le débat sur la nutrition). Elles permettent, aux élèves, de construire un monde possible partagé à partir duquel ils vont pouvoir débattre : il faut bien de la matière pour parler. Mais la difficulté vient des exemples choisis qui ont plus pour fonction d'illustrer certaines idées que de donner lieu à une discussion critique : l'exemple du bronzage est caractéristique.

2/ De pointer que les mécanismes de mise à distance des énoncés (par l'intermédiaire des marqueurs de position énonciative, de modalisation) permettent une décentration par rapport à ce qui est dit, de douter¹²². Comme nous l'avons mis en évidence dans cette

¹²² « Le déclencheur de l'activité argumentative est la mise en doute d'un point de vue » (Plantin, 2005, p. 52).

étude, c'est une façon, pour les élèves de première ES, d'entrer dans un travail critique dans la double dimension langagière et épistémologique (sur les objets et le discours tenu sur ces objets).

3/ De montrer que l'orchestration de l'hétéroglossie ou du dialogisme participe à deux mécanismes intéressants au niveau du travail des savoirs en jeu :

- soit ils obligent les élèves à négocier pour que les différentes voix en présence puissent s'accorder. Cela nécessite de discuter des énoncés, de les comparer, de mesurer leur compatibilité ce qui met au travail les savoirs en question ;
- soit cela conduit à une dissociation des voix (ce qui oblige dans un premier temps à les expliciter) en thèses dont les élèves prennent conscience de l'incompatibilité. Cela peut permettre de construire une question plus ou moins thématifiée qui sera l'objet d'un épisode argumentatif.

Dans les deux cas, l'obligation faite aux élèves de considérer attentivement les contenus des énoncés, leur compatibilité, incompatibilité, de réfléchir à des arguments... Cela met les savoirs au travail et permet, en même temps qu'ils le font, le développement d'une activité de problématisation.

Bibliographie

- Apotheloz D. (1984). La hiérarchie des raisonnements. In J.-B. Grize (éd.). *Sémiotique du raisonnement*. Berne : Peter Lang, p. 57-66.
- Audigier F. & Fillon P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques. Une approche pluridisciplinaire*. Paris : INRP.
- Bernié J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue française de pédagogie*, n° 141, p. 77-88.
- Bronckart J.-P. (1996). *Activité langagière, textes et discours*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Bruner J.S. (1990/1991). *Car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel.
- Bruner J.S. (2002/2005). *Pourquoi nous racontons nous des histoires ? Le récit au fondement de la culture et de l'identité individuelle*. Paris : Pocket.
- Buty C. & Plantin C. (2009). Variété des modes de validation des arguments en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin. *L'argumentation dans l'apprentissage des sciences*. Lyon : INRP.
- Calafate L.-C. (1986). Paradigmes cognitifs dans la salle de classe à propos de l'idée d'adaptation des vivants. In A. Giordan & J.-L. Martinand (éd.). *FEADS*, n°8, p. 83-94.
- Closset J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de troisième cycle de l'université Denis-Diderot-Paris 7, Paris.
- Ducrot O. (1978). *Deux mais. Syntaxe et sens*. Paris : Université Paris V, p. 37-46.
- Fabre M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.
- Fabre M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- Fayol M. (1985). *Le récit et sa construction*. Lausanne : Paris : Delachaux & Niestlé.
- Ferrari M. & Chi M.T.H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection.

International Journal of Science Education, vol. 20, n° 10, p. 1231-1256.

Fortin C. (1994). Le bon usage des conceptions en biologie de l'évolution. In A. Giordan, Y. Girault & P. Clément. *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang, p. 157-170.

Fortin C. (2000). Les causes de l'évolution. In G. Rumelhard (éd.). *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre*. Paris : INRP, p. 81-101.

Gagliardi (1987). L'idée d'évolution. In A. Giordan (éd.). *Histoire de la biologie*. Tome 2, p. 217-279.

Grize J.-B. (1992). Sur la nature du discours scientifique d'information. *Aster*, n° 14, p. 41-52.

Grize J.-B. (1996). *Logique naturelle et communication*. Paris : PUF.

Jacob F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Librairie Fayard.

Jaubert M. (2000). *Fonctions et fonctionnement du langage dans la construction des savoirs scientifiques : Hétéroglossie et contextes d'apprentissage scolaire*. Thèse de doctorat non publiée, université Victor-Ségalen-Bordeaux 2, Bordeaux.

Jaubert M. (2007). *Langage et construction de connaissances à l'école*. Pessac : Presses universitaires de Bordeaux.

Jaubert M. & Rebière M. (2000). Observer l'activité langagière des élèves en sciences. *Aster*, n° 31, p. 173-195.

Lacombe G. (1987). Adaptation et théorie de l'évolution. *Aster*, n° 4, p. 139-153.

Lhoste Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, université de Nantes, Nantes.

Meyer M. (1993). *Questions de rhétorique. Langage, raison et séduction*. Paris : Librairie Générale Française.

Monod J. (1970). *Le hasard et le nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris : Éd. Le Seuil.

Orange C. & Orange-Ravachol D. (1995), Géologie et Biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, p. 27-49.

Orange C. & Orange-Ravachol D. (2004). Les conceptions des élèves et leur mode de raisonnement en sciences de la Terre. *Géochronique*, n° 90, p. 29-32.

Perelman C. (2002). *L'empire rhétorique. Rhétorique et argumentation*. Paris : Vrin.

Peterfalvi B. (2001). *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Rouen, Rouen.

Pichot A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris : Gallimard.

Plantin C. (1996). Le trilogue argumentatif. Présentation de modèle, analyse de cas. *Langue française*, n°112.

Plantin C. (2005). *L'argumentation*. Paris : PUF.

Rebière M., Schneeberger P. & Jaubert M. (2009). Changer de position énonciative pour construire des objets de savoirs en sciences : le rôle de l'argumentation. In C. Buty & C. Plantin. *L'argumentation dans l'apprentissage des sciences*. Lyon : INRP.

Rumelhard G. (1994). Histoire didactique du concept de régulation en biologie. In G. Rumelhard (éd.). *La régulation en biologie*. Paris : INRP, p. 39-66.

Rumelhard G. (1995). Permanence, métamorphose, transformation. *Biologie-Géologie*, n°2, p. 333-345.

Rumelhard G. (2007). Milieu physique universel, indifférent, milieu référé aux organismes

vivants, milieu référé à l'homme ; environnement. *Biologie-Géologie*, n°4, p. 518-530.

Viennot L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n°1, p. 13-27.

Viennot L. (2003). Raisonnement commun en physique : relations fonctionnelles, chronologie et causalité. In L. Viennot & C. Debru. *Enquête sur le concept de causalité*. Paris : PUF.

Viennot L. (2006). La physique dans la culture scientifique : entre raisonnement, récit et rituels. *Aster*, n° 44.

Annexe 1. Deux évaluations diagnostiques – Corpus 1^{re} ES – Les mécanismes de l'évolution

Avant
l'évaluation
le billy.

Evaluation diagnostique : rédiger un texte, travail individuel. (30 min)

Quels sont les causes de l'évolution des espèces vivantes ?

Comment expliquer que les espèces d'hier ne soient plus celles d'aujourd'hui ?

Donne tes explications de ce qui peut se produire, ce qui peut arriver,

- à l'échelle d'un individu d'une espèce,
- à l'échelle d'une population d'individu d'une même espèce.

A l'origine il me semble qu'il n'y avait sur Terre que des bactéries. Puis qu'il n'y a eu que des formes de vie aquatique qui après quelques millions d'années seraient devenues en parallèle de celle de la mer. Au fil du temps ces espèces (dinosaures etc...) auraient disparu pour laisser la place aux hominidés qui sont à l'origine de notre espèce. Il y a une théorie selon laquelle les dinosaures seraient morts à cause d'une météorite qui aurait produit en explosant un gaz toxique qui les aurait tués ne laissant que quelques formes de vie qui se seraient adaptées pour survivre. Ce qui pourrait expliquer certaines évolutions. De plus, les espèces ont évolué en fonction de leur environnement et de leur besoin comme les félins qui ayant besoin d'aller plus vite on peu à peu changer dans cette optique et ne s'appuie que sur la pointe des pieds c'est valable pour d'autres espèces évidemment. Les besoins étant différents et le milieu étant différent les espèces d'hier n'auraient peut-être pas survécu sans s'adapter.

Les Erudites :

Evaluation diagnostique : rédiger un texte, travail individuel. (30 min)

Quels sont les causes de l'évolution des espèces vivantes ?

Comment expliquer que les espèces d'hier ne soient plus celles d'aujourd'hui ?

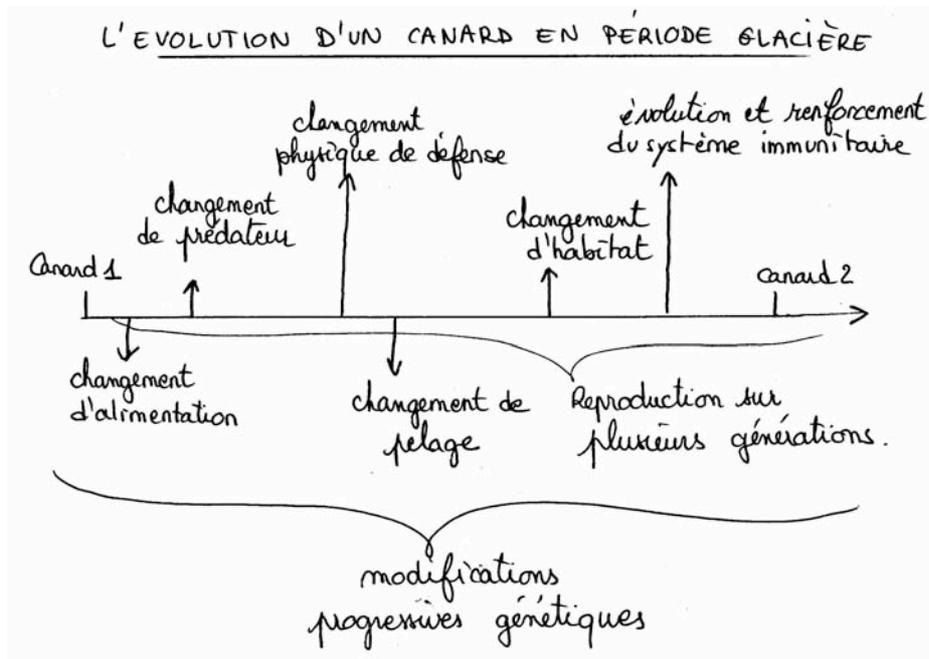
Donne tes explications de ce qui peut se produire, ce qui peut arriver,

- à l'échelle d'un individu d'une espèce,
- à l'échelle d'une population d'individu d'une même espèce.

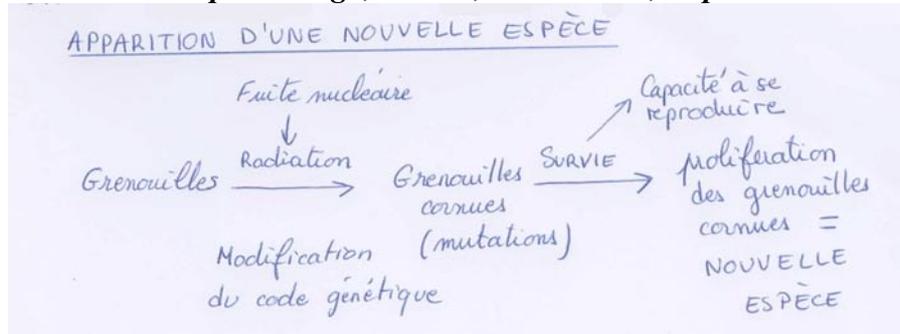
Je pense que les espèces vivantes ne sont que des formes évoluées d'anciennes espèces existantes. Je pense qu'elles évoluent grâce au changement de leurs organismes. Par exemple si une balaine se retrouve dans un marécage de 30 m², elle aura tellement peu de place que au fil des générations, elle va se transformer pour devenir plus féconde. Ça doit se faire au niveau cellulaire, soit par le rayonnement ou la destruction de cellule. Si ce que je dit est exact, on peut dire que les espèces changent en fonction de l'environnement dans lequel elles vivent. Au niveau d'une espèce totale, je pense que avec l'évolution des écosystème dû à la période glaciaire et au migration, elle s'adapte par le même biais qu'un seul individus en s'adaptant. On peut donc penser que la diversité des espèces varie en fonction de l'environnement, des périodes de températures et des changements climatiques en conséquence.

Annexe 2. Les productions de groupe

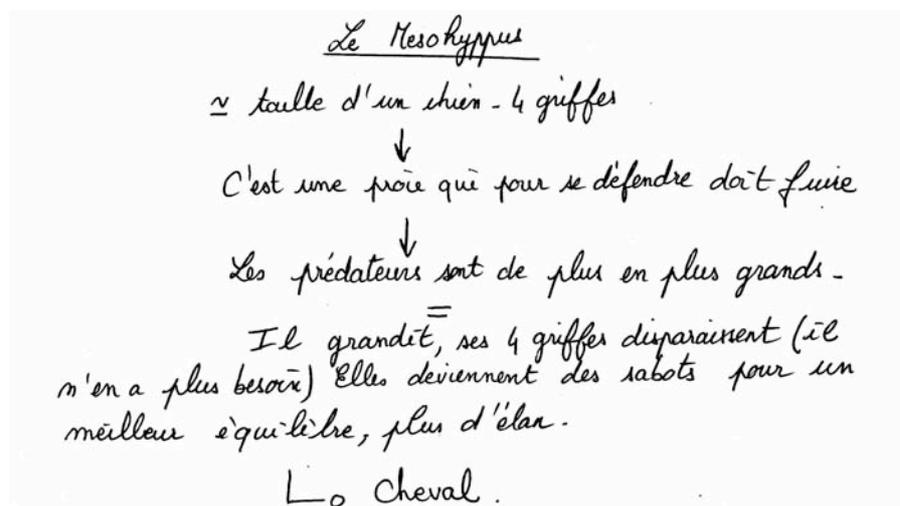
Groupe de Lara, Léo, Romain et Quentin



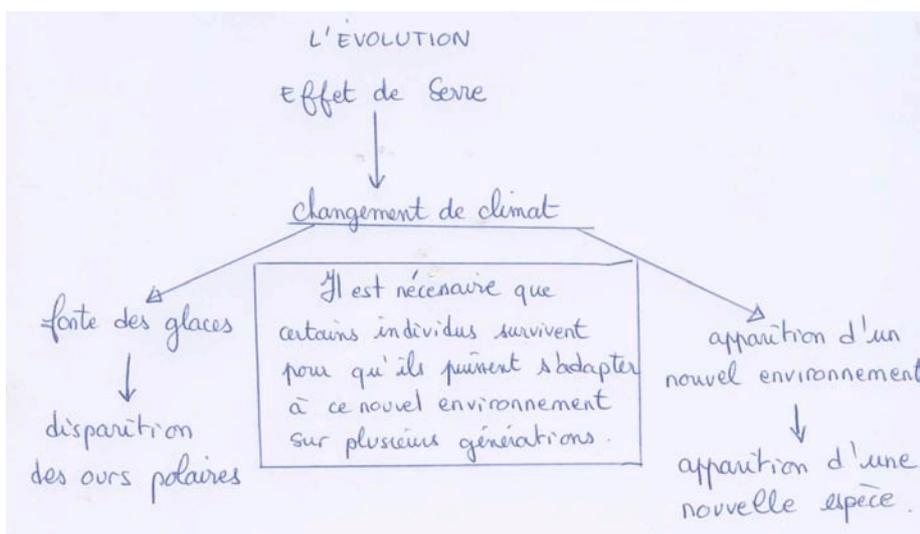
Groupe de Hugo, Aurore, Gwendoline, Raphaël



Groupe de Louise, Lucille et Jonathan



Groupe de Camille, Géraldine et Alexandre



Annexe 3. Script débat

		Présentation par le groupe 1 : espèce canard (annexe 3.1)
1	Prof	Donc on s'interroge bien sur qu'est ce qui peut amener au cours du temps à l'apparition d'une nouvelle espèce // qu'est ce que vous pensez de leur explication / vous pouvez émettre des critiques positives ou négatives ou des questions
2	Louise	C'est bien c'est logique
3	Lara	C'est par rapport à la reproduction qu'il y a des changements génétiques / au fur et à mesure que les espèces s'adaptent // enfin //
4	Prof	C'est-à-dire // les changements génétiques ont lieu quand par rapport aux modifications dans le comportement // qu'est ce qui précède // est ce que ça arrive après ou avant // tu me parles de modifications génétiques
5	Lara	C'est quand le petit canard sort de l'œuf / ça se passe à l'intérieur de l'œuf
6	Jonathan	Les transformations génétiques elles se passent avec l'environnement //
7	Jonathan	C'est lié à la disparition de l'espèce le canard 1 disparaît au profit du canard 2 //
8	Prof	Donc le canard 1 se transforme en canard 2 // pour Nathan on n'aura plus à ce moment là d'individus de l'espèce canard 1
9	Quentin	Oui
10	Louise	S'ils ont subi le même changement de l'environnement oui // mais si jamais eux ils n'ont pas connu la période glaciaire ils vont rester comme un canard / là à mon avis entre canard 1 et canard 2 il y a plein d'autres canards avant d'arriver justement au canard 2 // tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça / ça se fait petit à petit // enfin // il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier
11	Prof	Vous êtes d'accord avec ce qui vient d'être dit // donc ce canard 1 se transforme en canard 2 de manière progressive et du fait des changements de l'environnement / c'est ça // alors maintenant Lara nous parlait des modifications génétiques comment elles apparaissent / quelle est votre idée là-dessus
12	Léo	Pour moi les modifications génétiques ça se fait au moment de la reproduction / c'est pour palier justement les problèmes au niveau du froid de l'alimentation / je pense qu'il y a peut être une petite volonté de l'animal qui fait que forcément après il y a une réaction / c'est vraiment sous la nécessité devant un climat
13	Prof	Les modifications génétiques se réalisent parce qu'il y a un besoin une utilité une nécessité à répondre aux conditions de l'environnement / et qu'elle serait le fait de la volonté de l'individu
14	Jonathan	C'est plus une adaptation du corps / comme nous avec l'humain // c'est un peu la même chose par rapport au bronzage ou au métissage // c'est comme quelqu'un qui vivrait dans un pays chaud / il va avoir son corps qui va peut être s'adapter // même pour le soleil et tout ça // sous le soleil il va être bronzé
15	Quentin	Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil
16	Prof	Est-ce qu'il ne peut pas y avoir deux choses distinctes / le fait que si l'on a une peau blanche et qu'on s'expose au soleil on peut bronzer / est-ce la même chose qu'une personne qui naît de couleur noire // est-ce que vous mettez ces choses sur le même plan // et sinon quelles sont les différences
17	Quentin	// Oui c'est la même chose
18	Lara	Si il y a plusieurs générations en Afrique sous 40°C ou 50°C après des générations si ils ont la peau noire c'est parce que leur peau est plus épaisse que la notre pour se protéger du soleil et c'est pareil pour les cheveux au bout d'un certain temps / l'être humain se transforme par rapport à ces conditions / par rapport aux conditions climatiques qui l'entourent // et à la fin ça fait des petits enfants qui sont tous noirs
19	Prof	Bon alors j'apporte une précision / la couleur de la peau n'est pas due à une épaisseur différente c'est dû au fait que dans les cellules de la peau // (Schéma au tableau + explication sur la production de mélanine)
20	Prof	Une phrase qui peut faire réagir un couple de couleur blanche qui souhaite avoir un enfant métisse décide d'aller concevoir un enfant dans les tropiques
21	Camille	C'est dans les gènes // c'est des gènes qu'ils transmettent à l'enfant / si les parents ont des gènes avec pas beaucoup de mélanine // bah l'enfant il en aura pas beaucoup il va peut être en avoir un peu en grandissant mais il ne sera jamais noir
22	Raphaël	Ça ne se joue pas au bout de qu'une génération / c'est trop rapide // s'ils vont

		sous les tropiques juste le temps de faire leur petit //
23	Louise	À la limite s'ils seraient nés là-bas sous les tropiques ils auraient quand même eu par rapport à leur // à leur code génétique ils se seraient aussi adaptés au soleil / si ça fait très longtemps qu'ils vivent sous les tropiques leur enfant aura peut être des caractéristiques un peu plus évoluées //
24	Prof	Est-ce que c'est à l'échelle d'une vie humaine
25	Nathan	Parce qu'en fait il faut qu'il y ait déjà // ça marche sur des générations et pas seulement sur 2 ou 3 / ça marche sur des centaines voire des milliers
26	Prof	Est-ce que vous pouvez seulement raisonner à l'échelle de 2 individus
27	Nathan	Non c'est pour ça par exemple que pour les insectes / on sait qu'ils peuvent évoluer très vite // parce que le taux de renouvellement est / sur une vie humaine / ça doit être plusieurs millions // donc on peut voir // xxx c'est pour ça que ça marche
28	Prof	Vous avez entendu
29	Aurore : «	Ça dépend aussi des parents du couple blanc parce que s'ils ont des ancêtres noirs ils peuvent aussi avoir un enfant noir même s'ils sont tous les 2 blancs
30	Jonathan	Je réfléchissais à un exemple que j'avais dans la tête
31	Prof	Je reprends / il y a une différence entre les caractères qui peuvent être acquis au cours de la vie par exemple le bronzage et si les personnes retournent dans une zone où il y a peu de soleil / ils perdent ce bronzage donc il y a des caractères acquis et des caractères innés // ce que vous semblez dire c'est que l'environnement peut modifier ces caractères innés // Est-ce cela que tout le monde pense
32	La classe	Oui
33	Prof	Je ne suis pas sûr que tout le monde pense ça et je vais demander au deuxième groupe de présenter son affiche

		<i>Présentation par le groupe 2 : Apparition d'une espèce de grenouille cornue (annexe 3.2.) (20 min 43)</i>
34	Prof	Vous pouvez nous présenter votre scénario qui porte sur l'apparition d'une nouvelle espèce de grenouilles cornues
35	Raphaël	D'abord des grenouilles de bases suite à une fuite nucléaire on a modification du code génétique de la grenouille / et je pense que ça peut aussi être fait par autre chose que la fuite nucléaire ça c'est à déterminer // et donc après apparition de grenouilles cornues parce que mutation de gènes // euh si l'espèce survie et peut se reproduire et tout ça donne une apparition de grenouilles cornues partout // ce qui est important à mon avis pour que l'espèce continue à survivre c'est la survie / faut qu'elle puisse continuer à se reproduire
36	Prof	Est-ce que le fait d'avoir des cornes l'aide à survivre dans votre imaginaire
37	Raphaël	Ben plus que si elle n'avait pas de cornes / je pense ouhais //
38		Rire général
39	Raphaël	Ne serait-ce que pour se défendre être cornu c'est quand même bien
40		Rires
41	Prof	Est-ce que ça aurait pu être possible de voir apparaître des grenouilles cornues
42	Camille	Il suffit qu'il y ait une modification dans son environnement qui fait que les gènes se modifient et qu'il y ait des cornes qui apparaissent / mais faut que ce soit un événement spécial dans son environnement qui change et qui la force à s'adapter et l'adaptation se serait d'avoir des cornes
43	Raphaël	Mais là on a mis des cornes mais on aurait pu mettre un cheval à trois yeux
44	Prof	Si les cornes n'apportent pas d'avantages particulier à ces grenouille / est-ce qu'elles auraient pu apparaître
45	Léo	Y'a pleins de trucs qui servent à rien sur les animaux / même nous y'a des trucs qui nous servent à rien
46	Raphaël	Ouhais / les sourcils ça sert à quoi
47	Léo	Des fois c'est par nécessité et des fois c'est parce que // comme ça quoi
48	Prof	Par exemple chez l'être humain on a des dents de sagesse //
49	Lara	Moi j'en ai plus
50	Prof	La plupart en ont mais elles ne nous apportent pas d'avantages particuliers / Léo peux tu reformuler ce que tu disais ensuite je donne la parole à Louise
51	Léo	Ben // j'sais plus // j'crois que j'ai dit que tout n'était pas forcément nécessaire ça dépendait / des fois c'est nécessaire des fois ça ne l'est pas
52	Louise	Ben c'est par rapport aux cornes / logiquement les cornes en générale c'est

		fait pour se défendre ou attaquer / les grenouilles elles en ont pas vraiment besoin donc à la limite dans l'évolution les cornes elles les perdraient / à moins qu'elles aient un prédateur redoutable avec qui elles auraient besoin de cornes
53	Prof	On connaît pourtant des espèces d'herbivores ou les mâles possèdent des cornes et pas les femelles
54	Gwenoline	C'est des formes de mutations quelconques
55	Prof	Est-ce que tu peux reformuler ton idée
56	Gwenoline	On aurait pu mettre autre chose sur la grenouille une couleur // c'est juste une idée comme ça après on n'a pas essayé de savoir si elles se défendraient mieux
57	Raphaël	Moi je pense que tout ce qu'il y a enfin tout ce qu'on a nous ça sert forcément à quelque chose sinon ça aurait forcément disparu / à force // les sourcils //
58	Quentin	Ça empêche la poussière
59	Raphaël	Ça empêche la poussière de rentrer dans les yeux // par exemple la taille aussi elle change au fil des ans
60		Brouhaha, rires
61	Prof	Pourtant il existe des opérations où on réalise l'ablation de certains organes comme par exemple l'appendice / sans que cela pose problème pour la personne
62	Lara	Ça sert à rien l'appendice
63		Brouhaha
64	Prof	Les dents de sagesse par exemple ça a son utilité particulièrement
65	Aurore	Ça avait son utilité avant parce que on avait besoin d'une forte mâchoire / mais maintenant notre mâchoire s'est adapté ce qui fait qu'elles servent plus à rien au pire ça détériore notre dentition
66	Camille	Notre alimentation elle a changé / ce qui fait qu'on s'en sert plus
67	Prof	Est-ce qu'on peut être sûr qu'elles vont disparaître
68	Raphaël	Ben non elles vont pas disparaître parce qu'on aura toujours besoin de mâcher // mais par exemple avant tous les humains ils avaient beaucoup plus de poils et vu qu'on habite dans des foyers et qu'on a appris à se vêtir on n'a plus besoin de notre pelage
69	Lara	Moi par exemple des dents de sagesse j'en ai pas du tout // et comme ce qu'on mange c'est de plus en plus mou et ben notre évolution fera qu'on aura moins de dents
70		.....
71	Prof	Je pose une question / est-ce qu'une mutation peut arriver spontanément au hasard comme ça sans qu'il y ait de lien avec l'environnement
72	Louise	À part le nucléaire non
73	Aurore	À part le nucléaire je pense que ça peut arriver au hasard parce que le corps n'a pas le temps de s'adapter c'est plus un changement brusque
74	Louise	Tu peux répéter ta question
75	Prof	Ma question est de savoir est-ce que pour vous c'est envisageable de penser que les mutations dans le matériel génétique pourraient être totalement hasardeuses
76	Louise	Pour moi non / à part par le nucléaire sinon c'est par nécessité
77	Lara	Ben par exemple y'a des maladies génétiques qui viennent comme ça et c'est pas par besoin ni rien / même des déformations physiques / y'a des enfants qui naissent avec 4 doigts et c'est pas par nécessité ou par besoin / c'est parce que c'est comme ça
78	Prof	Alors pour toi ça peut arriver au hasard
79	Lara	Ben ouais
		...
80	Prof	Le fait de dire qu'une mutation entraîne forcément un avantage par rapport au milieu de vie peut être remis en cause par l'argumentation de Lara // ça peut aussi apporter des inconvénients / êtes-vous toujours aussi fermes pour dire que ces mutations sont forcément provoquées par l'environnement, par les conditions du milieu
81	Gwenoline	Y peut pas y'avoir des chocs émotionnels des trucs graves et sur le cerveau ça peut provoquer des choses et après c'est sur notre organisme
82	Raphaële	Ouais mais c'est pas le corps humain // c'est quelque chose d'autre
83	Louise	Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoquée c'est dès la naissance
	

84	Prof	Qu'est-ce qu'on pourrait formuler comme questionnements
85	Quentin	Oui mais les inconvénients ils sont provoqués par les des éléments pas naturels / si on parle du nucléaire
86	Prof	Pourtant certaines maladies sont dites héréditaires
87	Louise	C'est quelque chose que t'as eu dès ta naissance pas au cours de ta vie
88	Prof	Donc c'est inné // alors que tous ce qui confère un avantage ça va forcément être acquis au cours de la vie / c'est ça
89	Quentin	Tu peux répéter
90	Raphaël	À mon avis / non pas seulement les avantages //
91	Nathan	Je vois pas trop par exemple parce que les pygmées il sont tous petits et dans la forêt je vois pas l'avantage
92	Louise	Ben s'ils peuvent mieux se cacher / je sais pas si ce sont leur caractéristiques propre ou si c'est leur matériel génétique
93		.....
94	Prof	Bon est-ce qu'on peut partir sur un autre groupe / voir si d'autres questionnements émergent
95		Présentation travail sur lignée du cheval (annexe 3.3.)
96	Louise	Le mésohyppus c'est l'ancêtre du cheval / il était petit et avait 4 griffes c'est une proie qui pour se défendre doit fuir / en fait pour mieux courir il s'est adapté physiquement ses prédateurs étaient de plus en plus grands et courraient de plus en plus vite et lui il était petit et courait de pas très vite // donc il a grandi et ses griffes se sont transformées en sabots pour une meilleure adhésion au sol, et plus de rapidité // et il a grandi pour prendre plus de force en fait et ça donne un cheval
97	Prof	Des réactions
98	Léo	La génétique elle intervient pas là
99	Plusieurs élèves	Ben si
100	Louise	Comment tu fais cette évolution là mise à part génétiquement
101	Léo	Mais c'est pas écrit
102	Louise	C'est pas écrit mais c'est supposé
103	Aurore	Je trouve que ça reprends un peu le premier schéma sur l'évolution progressive selon les conditions de l'environnement
104	Gwenoline	C'est vraiment prouvé ce qui s'est passé là en fait
105	Nathan	Tas déjà vu une photo du mésohippus
106	Prof	Je ne valide par leur modèle explicatif // je peux préciser que mésohyppus est un fossile qu'on a retrouvé qui montre des caractéristiques qu'on observe chez le cheval actuel / notamment avec un troisième doigt plus développé
107	Louise	Le fait qu'il court ça a du aplatis à moitié ses griffes et en fait y'a une griffe qui se transforme en sabot et les autres griffes en fait sont dans la jambe
108		//
109	Nathan	C'est les os maintenant // ce qu'on peut voir sur la jambe d'un cheval c'est que ça ressemble plus ou moins à une patte / c'est bizarre car ce prolongement comme ça on ne retrouve pas ça chez beaucoup d'animaux // et euh c'est vrai que ça pourrait expliquer ça
110	Louise	Lucille elle m'avait expliqué et ça coïncidait bien

Quatrième partie

L'immunologie au collège

Cette partie est composée de plusieurs contributions.

1. L'immunologie au collège : une analyse du savoir en jeu dans une perspective épistémologique et curriculaire

Yann Lhoste, Jean-Marie Fouetillou, Pascale Henneteau & Valérie Fradot

Il s'agit d'une analyse épistémologique qui a servi à analyser les évaluations diagnostiques présentées dans le document 2 et de concevoir et d'analyser l'activité des élèves dans le document 3.

2. Une évaluation diagnostique sur le thème de l'immunologie dans plusieurs classes de 3^e : explications spontanées des élèves

Jean-Marie Fouetillou

Ce document constitue la présentation de données obtenues dans les classe de Jean-Marie Fouetillou et présentées lors des journées d'étude « Les apprentissages en SVT de l'école au lycée : Apports des recherches en didactique des SVT » organisée à l'IUFM de Basse-Normandie, 5 et 6 juin 2007

3. Problèmes construits par des élèves de 3^e au cours d'un débat scientifique sur l'immunologie en classe de 3^e : premières tentatives d'analyse

Pascale Henneteau & Yann Lhoste

Ce document constitue une première tentative d'analyse d'un recueil de données réalisé pour le GFA dans une classe de 3^e de Pascale Hennteau. Il a été présenté lors des journées d'étude « Les apprentissages en SVT de l'école au lycée : Apports des recherches en didactique des SVT » organisée à l'IUFM de Basse-Normandie, 5 et 6 juin 2007.

L'immunologie au collège : une analyse du savoir en jeu dans une perspective épistémologique et curriculaire

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr
Jean-Marie Fouetillou, professeur de SVT, Collège Villey-Desmeserets, Caen (14) ; Jean-Marie.Fouetillou@ac-caen.fr
Pascale Henneteau, professeure de SVT, collège de la Vanlée, Bréhal (50) ; renee.henneteau@orange.fr
Valérie Fradot, professeure de SVT, lycée collège Marcel Gambier, Lisieux (14), val.demoulin@orange.fr

1. L'immunologie au collège : perspective épistémologique

Le système immunitaire, parmi d'autres systèmes biologiques, participe de la relation nécessaire d'un organisme à son environnement. Rumelhard (1990, p. 16) indique ainsi que les « *mécanismes qui assurent l'intégration et l'intégrité de l'organisme constituent donc une fonction de retardement et de résistance à l'usure* ». C'est donc bien dans cette relation entre un organisme, son histoire et son environnement que le système immunitaire prend toute sa signification biologique.

Moulin (1991, 1995) précise que l'immunologie « *a vu, au cours de ses cents ans d'existence se succéder au moins trois paradigmes centraux : le paradigme défensif, le paradigme sélectif et le paradigme cognitif* ». Rumelhard précise d'ailleurs que « *ces trois paradigmes ne se succèdent pas et ne se supplantent pas véritablement. Ils coexistent même au niveau de la recherche et fournissent dans des chapitres différents des grilles de lecture qui ne s'excluent pas* » (2005, p. 210).

Le **paradigme défensif** est construit à partir du « *couple organisme/agent pathogène que soutient la métaphore guerrière de l'attaque et de la défense* » (Rumelhard, 2005, p. 210).

Ce paradigme a été mis en défaut à partir du moment où les scientifiques se sont aperçus que des cellules tout à fait inoffensives comme des hématies pouvaient déclencher de violentes réactions immunitaires lors des premières tentatives de transfusion (Jules Bordet).

Dans le **paradigme sélectif**, « l'antigène se borne à sélectionner des structures préexistantes, molécules ou cellules » (Rumelhard, 2005, p. 211). Les découvertes en génétique permet de donner un fondement explicatif à ces processus de sélection.

Enfin, le **paradigme cognitif** « met au premier plan le fait que les antigènes doivent être reconnus et déchiffrés dans un contexte particulier ». Le cadre explicatif sur lequel repose ce paradigme relève des théories de l'information et de la coopération cellulaire. Ainsi « l'ensemble des molécules et des cellules forme un système non seulement anatomique, mais fonctionnel et plus précisément un réseau » (Rumelhard, 2005, p. 211).

À partir de l'identification de ces trois paradigmes du système immunitaire, Rumelhard (1990) pointe deux difficultés principales pour accéder à la complexité des phénomènes immunitaires. Il précise que la défense immunitaire est souvent perçue comme une réaction à une agression ponctuelle: « L'immunité a une dimension événementielle, liée à l'histoire d'un individu et à sa constitution. Si c'est une propriété, elle est particulière. Ce phénomène ponctuel constitue une sorte de privilège, une exception, la possibilité d'échapper à la règle commune. Ce n'est pas une propriété physiologique, mais plutôt une bizarrerie de la nature » (Rumelhard, 1990, p. 14). Il s'agirait alors de travailler cette conception pour amener les élèves à construire l'idée d'une régulation permanente alors que les élèves ne perçoivent que l'aspect ponctuel des dysfonctionnements du système de régulation.

De plus cet obstacle est renforcé par l'emploi d'un vocabulaire guerrier (prédominance historique dans le discours quotidien, les manuels scolaires...) qui illustre l'utilisation seulement ponctuelle d'acteurs et d'actions en réponse à un schéma d'agression ponctuel (Rumelhard, 1990, p. 15-16). Ainsi « de nombreuses raisons viennent renforcer la tentation intellectuelle permanente de penser les deux termes organisme et milieu isolément, de manière séparée comme des "en-soi", puis de les réunir dans un rapport d'extériorité, et d'affrontement, comme la rencontre de deux séries causales indépendantes et préexistantes l'une à l'autre » (Rumelhard, 1990, p. 16).

Voyons maintenant comment les instructions officielles déclinent les savoirs à construire en classe de 3^e.

1.2. L'immunologie au collège : perspective curriculaire

Les instructions de 1998 pour la classe de 3^e précisent que : « Cette partie du programme¹²³ conduit les élèves à un premier niveau de compréhension des réactions permettant à l'organisme de se préserver des antigènes émanant de son environnement. Les notions essentielles sont introduites à partir de l'analyse de situations courantes. Il ne s'agit cependant pas de faire l'étude, pour

¹²³ Intitulée : « Protection de l'organisme »

elles-mêmes, d'une ou plusieurs maladies, pas plus que de réaliser l'inventaire systématique des différents micro-organismes présents dans l'organisme, qu'ils soient à l'origine de ces maladies ou inoffensifs. L'activité des différentes composantes du système immunitaire est permanente. C'est une des idées fortes à faire acquérir sur le fonctionnement de ce système. Par ailleurs, les connaissances développées constituent les références scientifiques nécessaires pour mieux comprendre l'efficacité des moyens préventifs ou curatifs mis au point par l'Homme. Elles permettent aussi de préparer la réflexion sur les responsabilités individuelles et collectives dans le domaine de la santé ».

Compte tenu de l'analyse épistémologique que nous venons de présenter, on voit bien qu'il existe une ambiguïté dans ce chapeau introductif qui présente à la fois le système immunitaire comme ayant une fonction de protection de l'organisme tournée vers l'extérieur agressif¹²⁴ mais comme ayant un fonctionnement permanent qui doit être « *une des idées fortes à faire acquérir* ».

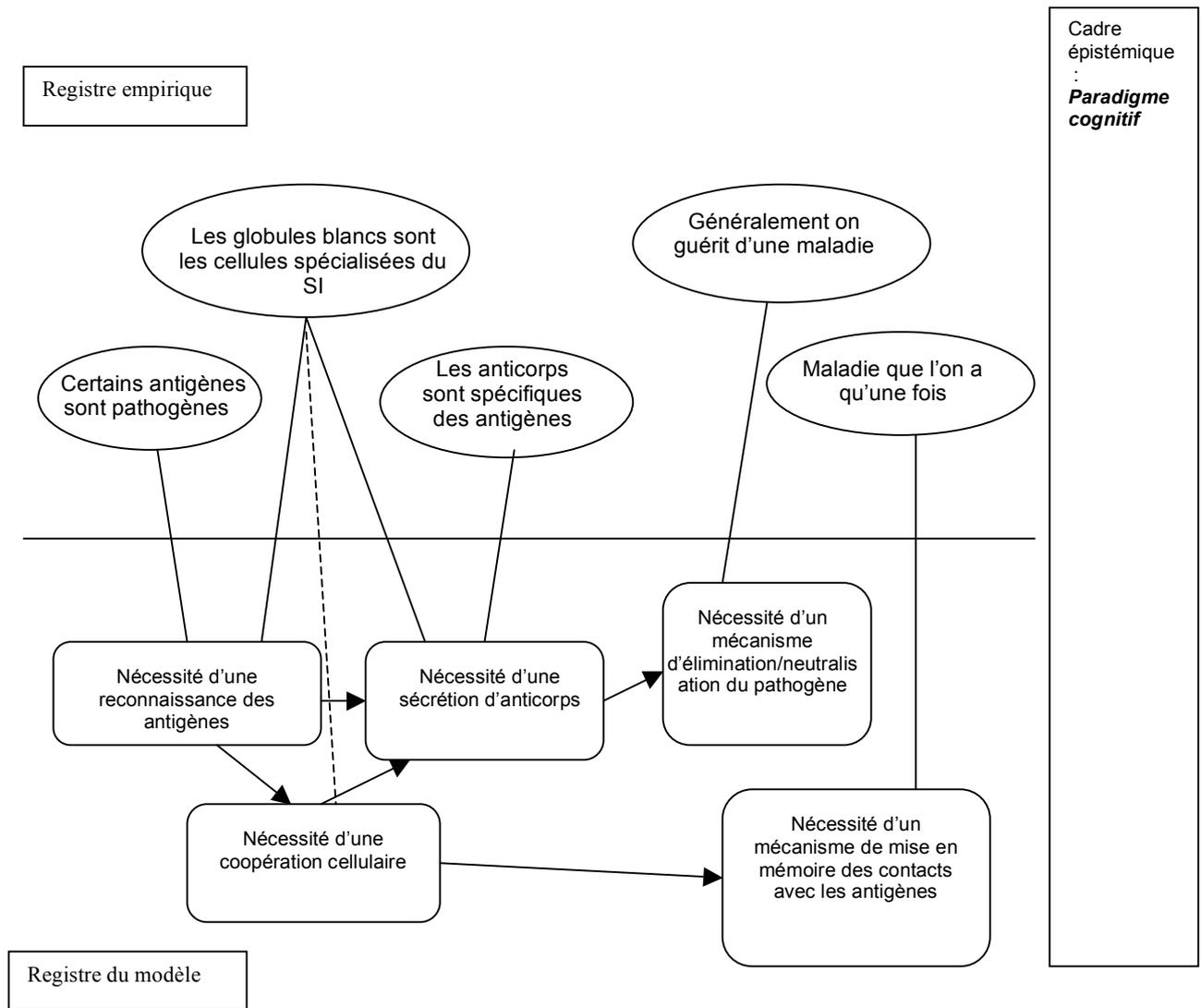
Pour ce qui concerne les éléments de savoir qui doivent être construits par les élèves, les instructions précisent ce qui doit être appris par les élèves :

- les organes et les cellules qui participent du système immunitaire ;
- le mécanisme de la réaction immunitaire non spécifique rapide (l'inflammation et la phagocytose) ;
- les mécanismes de la réaction immunitaire spécifique plus lents.

Nous avons tenté de traduire ce savoir en jeu dans les termes de ce qu'Orange (2000) appelle un espace de contraintes. Il ne s'agit pas, comme dans les exemples présentés par Orange d'espaces de contraintes en jeu dans un débat scientifique mais d'une traduction des éléments de savoir présentés par les instructions officielles concernant l'immunologie en 3^e en termes de contraintes empiriques articulées à des nécessités sur le modèle dans un cadre épistémologique qui relève d'un paradigme cognitif. L'espace de contraintes de référence que nous avons construit est présenté sur la figure 1.

¹²⁴ Rejoignant par-là les analyses effectuées par Rumelhard (1990) à partir d'une analyse des manuels scolaires.

Figure 1. Espace de contraintes de référence : immunologie 3°



Bibliographie

Moulin A.-M. (1991). *Le dernier langage de la médecine. Histoire de l'immunologie de Pasteur au SIDA*. Paris : PUF.

Moulin A.-M. (1995). Clés pour l'histoire de l'immunologie. In *Le système immunitaire, ou l'immunité cent ans après Pasteur*. Dossiers documentaires INSERM Nathan, p. 122-131.

Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.

Rumelhard G. (1990). Le concept de système immunitaire. *Aster*, n° 10, p. 9-26. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9058>.

Rumelhard G. (2005). Problématisation et concept de paradigme. Approche épistémologique, psychologique, sociologique. *Aster*, n°40, p. 205-223.

Une évaluation diagnostique sur le thème de l'immunologie dans plusieurs classes de 3^e : explications spontanées des élèves

Jean-Marie Fouetillou, professeur de SVT, Collège Villey-Desmeserets, Caen (14) ; Jean-Marie.Fouetillou@ac-caen.fr

1. Dispositif mis en œuvre dans les premières classes de 3^e

Les données sont recueillies dans trois classes¹²⁵ de 24 élèves de 3^e¹²⁶. Cette prise de donnée a eu lieu avant enseignement et le professeur a demandé aux élèves de « faire un schéma et une phrase pour expliquer comment notre corps se défend (sans médicament) contre un micro-organisme ». Soixante-et-onze productions individuelles ont été obtenues.

2. Analyse des résultats obtenus

Ces productions ont été analysées en fonction de deux critères :

- à quels éléments les élèves font référence dans les phénomènes immunitaires;
- quels sont les mécanismes mis en œuvre.

L'analyse est présentée dans le tableau 1.

¹²⁵ Dont une bonne classe, une classe moyenne et une classe faible.

¹²⁶ Professeur de SVT au collège Villey-Desmeserets, Caen (14)

Tableau 1. Analyse de l'évaluation diagnostique dans le première classe de 3^e

Éléments impliqués dans les phénomènes immunitaires	Nombre de production
Anticorps = globule blanc	1
Système immunitaire	2
Globules rouges	2
Anticorps	9
Cellules, globules, globules blancs et rouges	13
Aucun élément spécifique impliqués	15
Globules blancs	29
Mécanismes d'action	Nombre de production
Expulsent les microbes	1
Collent sur les microbes	4
Entourent les microbes	4
Font barrière, protègent (bouclier), apportent des défenses	11
Attaquent, détruisent, mangent les microbes	51

3. Discussion

Quelques éléments de discussion peuvent être avancés :

Il existe un certain flou lexical, même si la plupart des élèves font intervenir les globules blancs. Notons tout de même que 15 élèves ne font référence à aucun élément spécifique. Pour ce qui concerne les mécanismes intervenant dans la défense de l'organisme, il convient de souligner la forte prégnance du vocabulaire guerrier (51 + 11).

Les élèves font référence à différents acteurs possibles de la réponse immunitaire :

- globules rouges
- globules blancs
- molécules : « anticorps »
- éléments de défenses divers : « armes/soldats »

Notons que l'on retrouve les différents acteurs dans les divers modèles explicatifs. Ainsi, un même acteur peut être retrouvé dans plusieurs modèles.

Nous avons identifié plusieurs type d'explication concernant la défense de l'organisme :

- Cicatrisation
- Action de destruction spontanée par des cellules tueuses
- Expulsion naturelle à l'échelle de l'organisme : vomissement/toux, ...
- Construction de barrières à l'échelle de l'organisme : limite l'infection mais sans l'éliminer
- Barrières à l'échelle du micro-organisme : encerclement des microbes par les globules
- Intervention d'éléments de défenses divers : objets socioculturels en référence aux armes/soldats
- Englobement/digestion par des cellules tueuses (globules blancs/rouges) : modèle de phagocytose sans le nommer

Il nous a semblé difficile d'engager les élèves dans un débat scientifique à partir des ces productions qui sont peu élaborées.

Problèmes construits par des élèves de 3^e au cours d'un débat scientifique sur l'immunologie en classe de 3^e : premières tentatives d'analyse

Pascale Henneteau, professeure de SVT, collège de la Vanlée, Bréhal (50) ;
renee.henneteau@orange.fr

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de
Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

1. Présentation du dispositif mis en place

Les données sont recueillies dans une classe de 3^e de 25 élèves¹²⁷. Le dispositif d'enseignement support du recueil de données a été mis en place au début de la séquence d'enseignement sur la protection de l'organisme.

Dans un premier temps, une évaluation diagnostique a été mise en place. Les élèves devaient répondre à la question suivante : « Comment l'organisme se défend-il face aux microbes ayant réussi à pénétrer ? ». Cela a conduit l'enseignant à constituer cinq groupes de cinq élèves qui développent des explications proches. Les élèves du premier groupe se contentent de reformuler la question et ne présentent pas d'éléments explicatifs pour répondre à la question posée. Les élèves du deuxième groupe font intervenir des « bons microbes » aptes à détruire les mauvais. Les élèves du troisième groupe mettent en des cellules sanguines (non nommées) capables de détruire les agents pathogènes. Les élèves du quatrième groupe font intervenir les globules blancs qui peuvent détruire les microbes. Enfin les élèves du cinquième groupe mobilisent dans leur explication des substances présentes dans le sang parfois appelées anticorps, pour détruire les éléments pathogènes.

Dans un second temps, un travail de groupe est organisé à partir d'une analyse de résultats expérimentaux présentés par la professeure (figure 1)

¹²⁷ Classe de 3^e de Pascale Henneteau, collège de la Vanlée, Bréhal (50).

Figure 1. Résultats expérimentaux présentés

1/ Des cobayes ayant reçu une injection de toxine tétanique meurt.
 2/ Les mêmes cobayes ayant reçu au préalable une injection de serum¹²⁸ prélevé sur des cobayes guéris du tétanos survivent
 3/ Les mêmes cobayes ayant reçu au préalable une injection de serum prélevé sur des cobayes guéris de la diphtérie meurent.

À partir de ces résultats expérimentaux, les élèves doivent expliquer la guérison des cobayes ayant reçu les injections et / ou comment expliquer la guérison de l'organisme suite à une attaque microbienne ? La production demandée par groupe est une affiche illustrée de schémas et de légendes.

Dans un troisième temps, chaque groupe d'élève présente oralement sa production aux autres et répond à leurs questions au cours d'un débat scientifique. Le débat a été intégralement filmé puis retranscrit. Le script présenté en annexe 1 est constitué de 92 tours de parole. C'est ce débat que nous allons maintenant analyser pour déterminer les problèmes effectivement construits par les élèves de cette classe de 3^e.

2. Analyse du débat scientifique

■ 2.1. Méthodologie d'analyse du débat scientifique

Nous nous sommes attachés à définir l'espace des contraintes mises en jeu dans ce débat en classe de 3^e. Pour cela, nous avons choisi de nous appuyer sur la méthode d'étude des débats proposée par Orange (2000).

Dans un premier temps, nous avons catégoriser les interventions des selon les registres épistémologiques qu'elles mettent en jeu : registre empirique seul (RE), relation entre registre empirique et registre des modèles (RE-RM), registre des modèles seul (RM). À partir de cette première catégorisation, nous avons essayé de comprendre comment ces éléments du registre empirique et du registre du modèle sont articulés entre eux pour permettre la construction des contraintes et des nécessités (Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007).

■ 2.2. Le problème construit à partir de la présentation du premier groupe d'élèves

Dans l'extrait 1, Julien présente le modèle construit par les élèves du groupe 1.

Extrait 1

1	Julien	Les bactéries du sérum seraient plus puissantes que les bactéries de la toxine diphtérique, c'est pourquoi l'animal ayant reçu le sérum guérit de la diphtérie.	RMd RE
2	Prof	Des bactéries dans le sérum ?	
3	Julien	Oui, le serum contient des bonnes bactéries qui détruisent celles de la diphtérie.	RMd

¹²⁸ Définition du terme « sérum » donnée aux élèves : « sang débarrassé de ses éléments cellulaires ».

Dans cet extrait, Julien met en relation une contrainte empirique : « *un animal qui reçoit une injection de sérum d'un animal guéri du tétanos survit* » avec la nécessité de la présence de « *bonnes bactéries* » dans le sérum qui permettent la guérison. Ce raisonnement est construit dans un modèle explicatif défensif de la protection de l'organisme et présente une lutte entre les bonnes et les mauvaises bactéries. Cette intervention de bonnes bactéries contenues dans le sérum va être immédiatement critiquée par Erwan qui rappelle en 4 que : « *Il n'y a pas de bactéries dans le sérum, il ne contient pas de cellules, c'est du sang débarrassé des cellules* ». Cette critique se traduit par deux réactions différentes de Julien et de Delil présentées dans l'extrait 2.

Extrait 2

5	Julien	Il contient peut-être des bonnes bactéries, ou alors : c'est le poison de la diphtérie qui est moins puissant que celui du tétanos.	RMd
6	Delil	Le serum serait un médicament contre la toxine diphtérique. L'animal n'a pas reçu la bonne injection c'est à dire le bon médicament contre la toxine tétanique.	RE
7	prof	Précise ...	
8	Delil	Le serum n'a pas été pris sur un animal ayant guéri du tétanos.	RE
9	Julien	Le serum est le même : c'est du serum !!	
10	Delil	Mais le poison injecté n'est pas le même.	RE
11	Emilia	C'est le même serum à chaque fois.	
12	Julien	L'animal meurt car la toxine T est plus puissante que la toxine D.	RE-RM

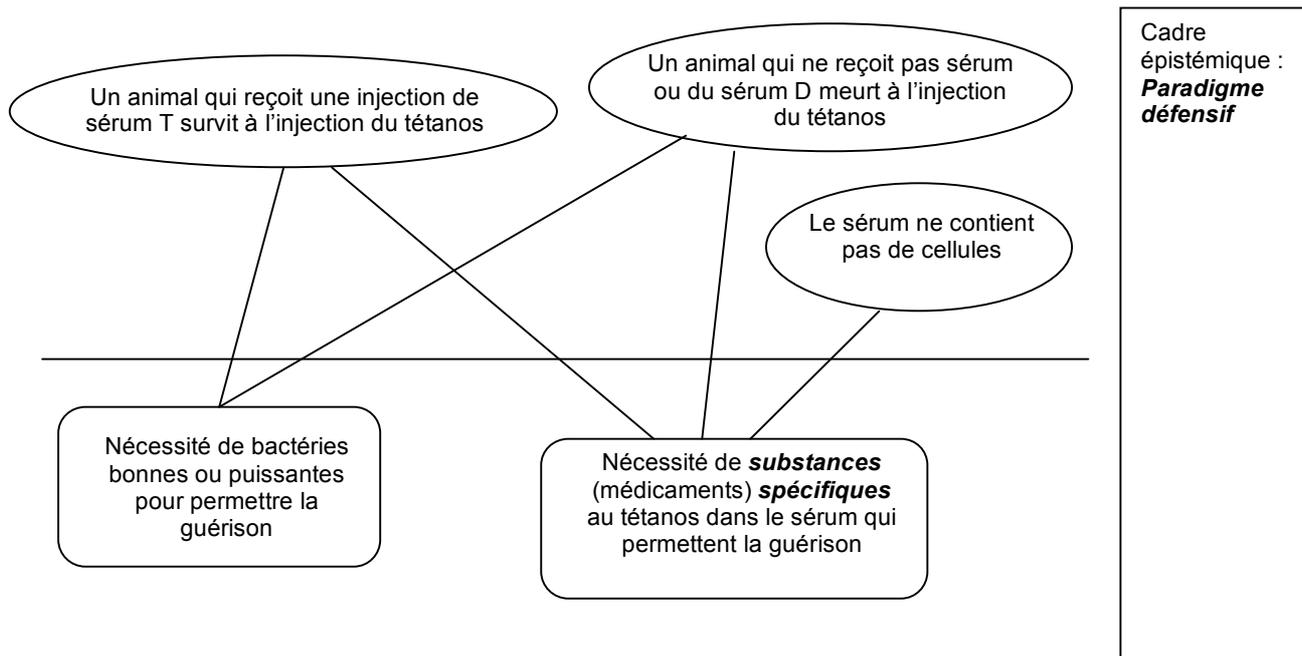
Alors que Julien déplace la discussion sur la comparaison entre les effets respectifs de l'injection du sérum d'un animal guéri du tétanos (sérum T) et d'un guéri de la diphtérie (sérum D). Pour lui l'effet du sérum T est alors relié, non pas à une spécificité entre l'agent pathogène et le sérum mais à une puissance plus ou moins forte du sérum pour combattre le tétanos (repris en 12).

Delil en 6 reprend en compte la critique d'Erwan et remplace la nécessité de la présence de bonnes bactéries dans le sérum par la nécessité de la présence d'un bon médicament dans le sérum qui est également mise en relation avec le fait que l'animal ayant reçu une injection du tétanos et une injection du sérum D meurt. Cela traduit, nous semble-t-il, une première construction d'une nécessité d'une spécificité des « médicaments » contenus dans le sérum avec le pathogène.

Nous avons ici un désaccord sur la question de la spécificité ou non du « médicament » qui n'est pas thématifiée par l'enseignante et qui ne semble pas identifiée par les élèves qui ne s'en emparent pas.

Nous pouvons traduire cette première phase du débat par la construction d'un espace de contraintes en jeu dans cette partie du débat (figure 2).

Figure 2. Espace de contraintes en jeu dans la première partie du débat (présentation du groupe 1)



Cet espace rend compte de deux modèles explicatifs différents qui ont permis de construire deux nécessités qui ne sont pas articulées à ce moment du débat. Voyons comment cette tension entre les deux explications va être travaillée dans la suite du débat.

■ 2.3. Le problème construit à partir de la présentation du deuxième groupe d'élèves

La présentation de l'affiche du groupe 2 correspond à une reprise du modèle explicatif de Julien qui fait intervenir des bactéries bonnes ou puissantes pour lutter contre le tétanos : Emilia (20) : « Le corps présente des défenses naturelles: des bonnes bactéries, quand on est malade c'est parce qu'on a des mauvaises bactéries dans notre sang. Mais parfois, les bonnes bactéries arrivent à combattre les mauvaises : et on guérit. Les mauvaises bactéries du tétanos sont plus fortes que les bonnes bactéries du serum ».

L'extrait 3 montre comment les élèves vont convoquer de nouvelles contraintes empiriques et comment celles-ci vont orienter la construction du problème par les élèves.

Extrait 3

22	Emilia	Oui, plus on est vieux et plus on a de bonnes bactéries. A la naissance on n'en a pas c'est pour cela que les bébés sont plus fragiles, après le corps en fabrique, et quand on est vieux : on en perd et on devient plus fragile.	RE-RM
23	Prof	Pourquoi cette fabrication de bonnes bactéries différentes ??	
24	Julien	Peut-être qu'on fabrique des bonnes bactéries différentes selon les microbes.	RE-RM
25	Guill	Les bonnes bactéries de celui qui a guérit de la D ne seraient pas suffisamment puissantes contre le tétanos.	RM
26	Prof	Les bonnes bactéries seraient différentes pour ces 2 maladies ?	
27	Guill	oui.	
28	Prof	Comment agissent-elles ?	
29	Emilia	Elles se collent dessus.	RM

30	Victor	Mais les bonnes bact ? elles apparaissent quand on rencontre une maladie ??	
31	Guill	Oui, d'ailleurs la varicelle on ne l'a qu'une fois, car après on a en nous les bonnes bactéries.	RE- RM
32	Maurane	Elles s'adaptent aux nouveaux microbes, donc après elles luttent mieux, on n'est plus malade de la varicelle.	RM
33	Prof	Et pourquoi on est malade la première fois alors ??	
34	Maurane	Parce que nos bonnes bactéries n'étaient pas habituées ou adaptées au microbe nouveau. Après elles connaissent la solution pour les tuer.	RM

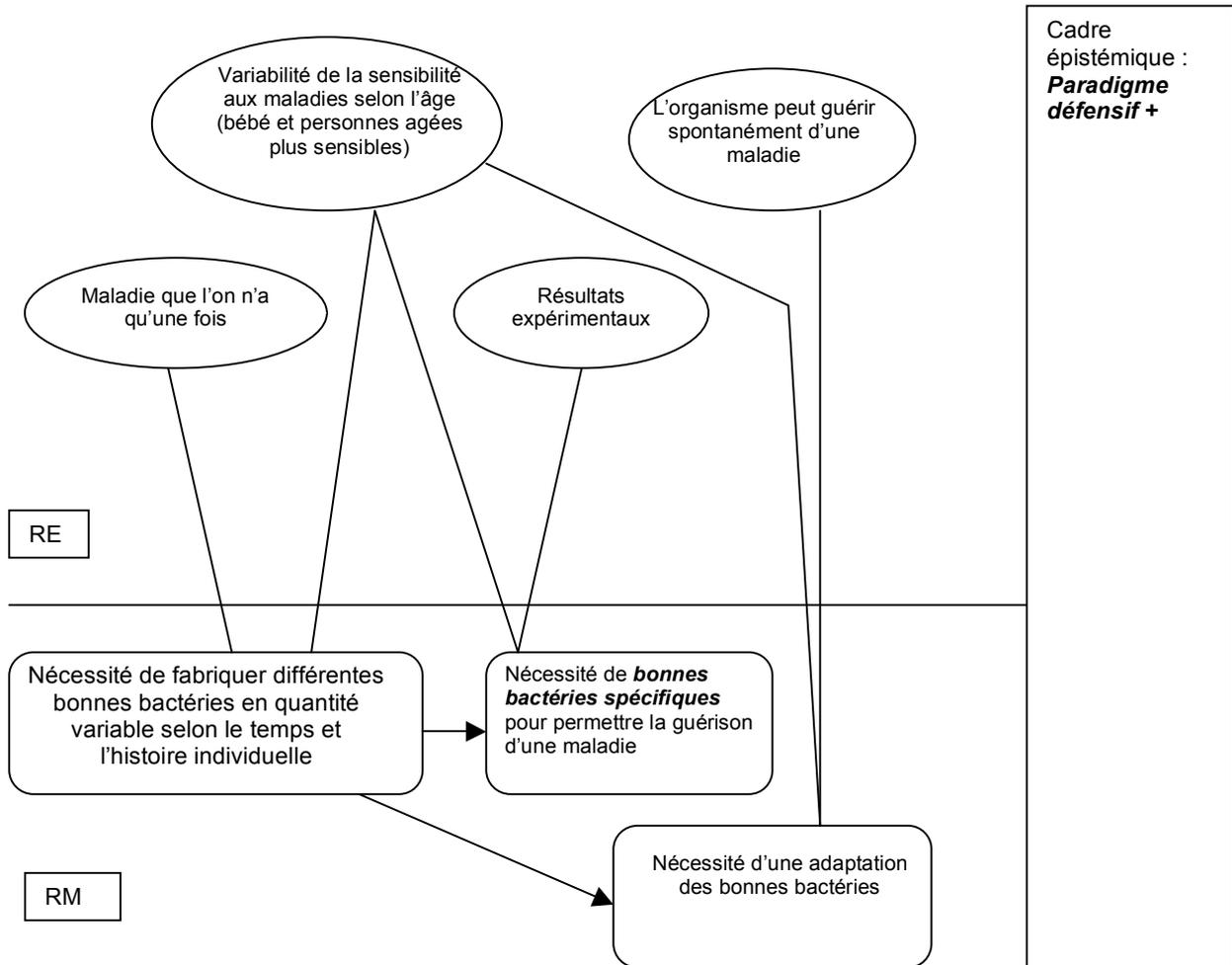
La première contrainte empirique introduite par Emilia en 20 renvoie à l'existence d'une « variabilité de la sensibilité aux maladies selon l'âge (bébé sont plus sensibles) » qui est mise en relation avec la nécessité d'une fabrication différentes de bonnes bactéries en quantité variable selon le temps.

À partir de l'intervention de l'enseignante en 23, on assiste à une reprise du problème de la spécificité qui avait été introduit par Délil dans l'extrait 2. Julien qui avait refusé cette nécessité de la spécificité des bonnes bactéries dans un premier temps l'accepte maintenant (en 24) : « Peut-être qu'on fabrique des bonnes bactéries différentes selon les microbes ». Guillaume développe cette nécessité de « bonnes bactéries » spécifiques au tétanos par une mise en relation avec les résultats expérimentaux que nous considérons comme des contraintes empiriques.

La dernière contrainte empirique introduite par les élèves concerne le rappel par Guillaume qu'il existe des maladies que l'on n'a qu'une fois dans sa vie. Nous pensons que cette contrainte est mise en relation avec la nécessité d'une fabrication différentes de bonnes bactéries en quantité variable selon l'histoire de l'individu déjà construite par Emilia. Cela permet également à Maurane de construire la nécessaire adaptation des bonnes bactéries pour devenir efficaces (en 32 : « elles s'adaptent... donc après elles luttent mieux ») qui sera mise en relation en 34 avec la possibilité pour un organisme de guérir spontanément d'une maladie.

À partir de ces nouveaux éléments convoqués par les élèves, nous avons construit un espace de contraintes en jeu dans cet extrait de la discussion (figure 3).

Figure 3 Espace de contraintes en jeu dans la deuxième partie du débat (présentation du groupe 2)



Il convient également de noter que la dynamique du débat qui participe à la construction du problème alterne des moments où les élèves mobilisent les contraintes du dispositif et d'autres où ils vont mobiliser d'autres contraintes empiriques par un processus de décontextualisation de ce dispositif.

L'apport essentiel de cet extrait du débat, du point de vue épistémologique, concerne la construction de la nécessaire spécificité des éléments qui protègent l'organisme qui va permettre la construction dans la suite de la discussion de la nécessité d'une reconnaissance des pathogènes qui permettra de passer le passage des explications des élèves d'un paradigme défensif à un paradigme double : cognitif et défensif. C'est ce que nous allons présenter maintenant.

■ **2.4. Le problème construit à partir de la présentation du troisième groupe d'élèves**

La nécessité d'une reconnaissance des pathogènes est explicitée dès le début de la présentation de l'affiche du troisième groupe d'élèves (extrait 4).

Extrait 4

40	Audrey	Il y aurait des globules blancs dans le sang qui nous permettraient de guérir des maladies	RM
----	--------	--	----

41	Emilia	Ce serait les bonnes bactéries dont nous avons déjà parlé ?	
42	Audrey	Oui, ils nous guérissent des rhumes, de toutes les maladies que l'on rencontre et pour lesquelles on guérit tout seul sans médicament.	
43	prof	Comment agissent-ils ?	
44	Audrey	Ils faut qu'ils connaissent déjà les microbes pour pouvoir les détecter et les tuer.	RM
45	prof	Pourquoi on est malade des fois ??	
46	Audrey	Les globules blancs ne connaissent pas les microbes donc ne peuvent pas les détruire..	RM

Cet extrait nous amène à faire plusieurs remarques. Tout d'abord, Audrey règle rapidement la question des agents qui interviennent dans les réactions immunitaires : ce sont les globules blancs qui assurent la protection de l'organisme.

Ensuite en 44, Audrey articule la contrainte empirique de la possibilité de guérir spontanément d'une infection à la nécessité d'une reconnaissance des agents pathogènes par les globules blancs par le double raisonnement suivant :

- il faut... pour... qui établit selon nous le caractère de nécessité (44) ;
- si les globules blancs ne connaissent pas les pathogène alors on est malades (46).

C'est ce raisonnement qui permet la construction de la nécessité d'une reconnaissance des pathogènes, en germe lors de la présentation du groupe 2. Notons que les élèves sont à ce moment du débat très détaché du dispositif d'enseignement proposé par l'enseignante.

En 49, Guillaume procède à une recontextualisation du débat à la situation proposée en faisant de nouveau référence aux résultats expérimentaux présentés par l'enseignante : « il faut aider les bonnes bactéries à détecter les microbes, le serum pourrait aider les globules blancs à les détecter ». Guillaume fait fonctionner la nécessité d'une reconnaissance des pathogènes par les globules blancs. Il couple cette nécessité à la contrainte imposée par les résultats expérimentaux : le sérum intervient dans la protection de l'organisme pour commencer à travailler la nécessité d'une coopération entre sérum et globules blancs. La proposition de Guillaume est ensuite discutée par les élèves (extrait 5).

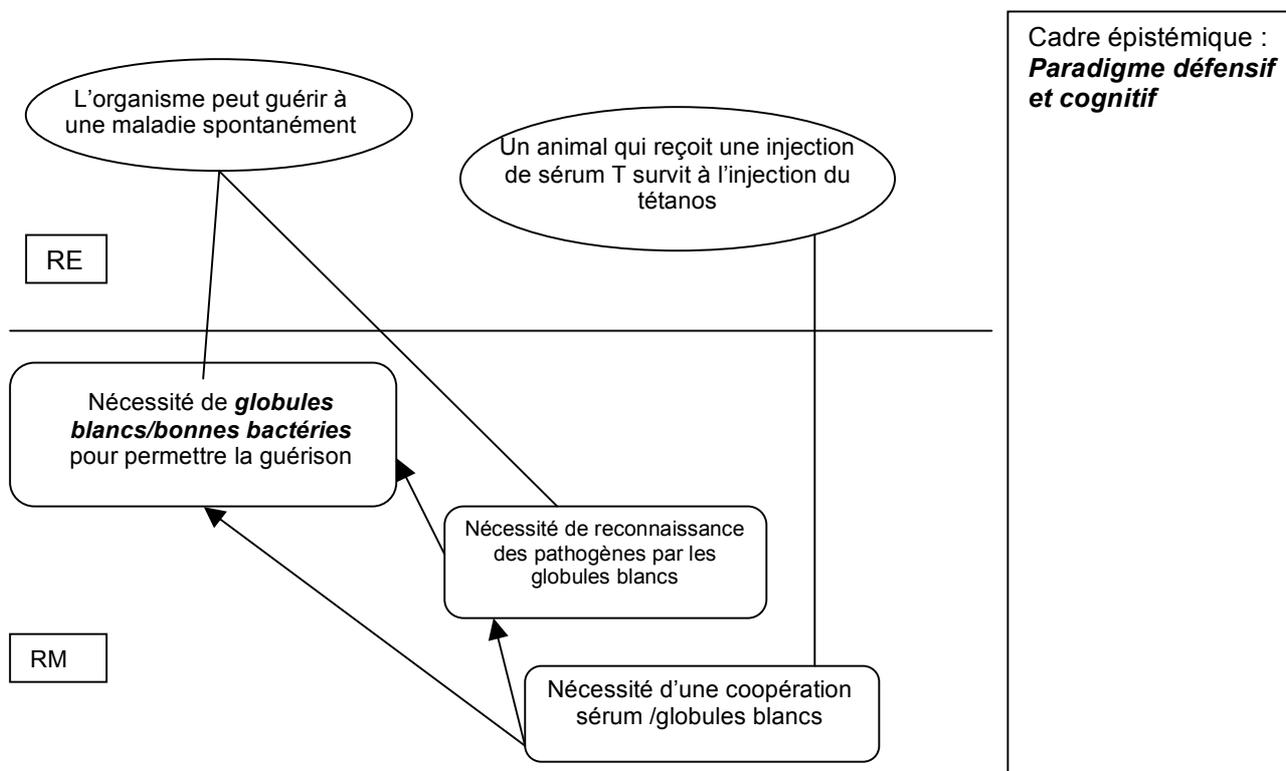
Extrait 5

53	Erwan	Le sérum ne me paraît pas obligatoire, puisque certains guérissent seuls !!	RMc
54	Dellil	oui mais ça : c'est un miracle de la nature, des fois ça arrive.	
55	Maxime	Mais non : on guérit des rhumes tout seul.	
56	prof	alors?	
57	Emilia	c'est les globules blancs du sérum qui permettent d'attaquer les nouveaux microbes.	
58	Dellil	non en fait, le sérum donne l'info aux globules blancs pour les rendre capables de reconnaître les nouveaux microbes, comme le FBI peut parfois aider la police.	RMf

Erwan note que la coopération entre sérum et globule blanc n'est pas obligatoire puisque souvent on guérit seul sans intervention d'une sérothérapie (53). Mais la critique ne porte pas et Emilia et Dellil continue de développer les mécanismes possibles de cette coopération sérum – globule blanc en utilisant une analogie policière qui permet l'invention de nouveaux possibles.

La figure 4 représente l'espace de contraintes en jeu lors de la présentation et de la discussion de l'affiche du groupe 3.

Figure 4 Espace de contraintes en jeu dans la troisième partie du débat (présentation du groupe 3)



La suite du débat va nous permettre de suivre cette nécessité d'une reconnaissance des pathogènes et du devenir de la nécessité d'une coopération globules blancs/sérum.

■ 2.5. Le problème construit à partir de la présentation du quatrième groupe d'élèves

Le groupe 4 fait intervenir un nouvel élément, les anticorps (une substance dira Victor en 77) dans les mécanismes de protection de l'organisme. Les élèves de ce groupe vont reprendre le problème au point où il en était et vont le reconstruire en faisant intervenir les anticorps (extrait 6).

Extrait 6

65	Victor	Ce seraient des armes, présentes dans le sérum, ils seraient capables de tuer les microbes.	RM
66	prof	Comment ?	
67	Victor	Ils détruiraient directement les microbes, ou aideraient les globules blancs à reconnaître et tuer les microbes. L'organisme est capable de les multiplier, ce qui améliore la défense.	RMf
68	Dellil	Ce serait les globules blancs qui les fabriquent ??	
69	Maurane	Oui, c'est pour cela que dans le sérum : il n'y avait pas de globules blancs mais des anticorps.	RMf
70	prof	D'où viennent-ils ?	
71	Guill	C'est les globules blancs qui les fabriquent et quand ils sont adaptés :	RMf

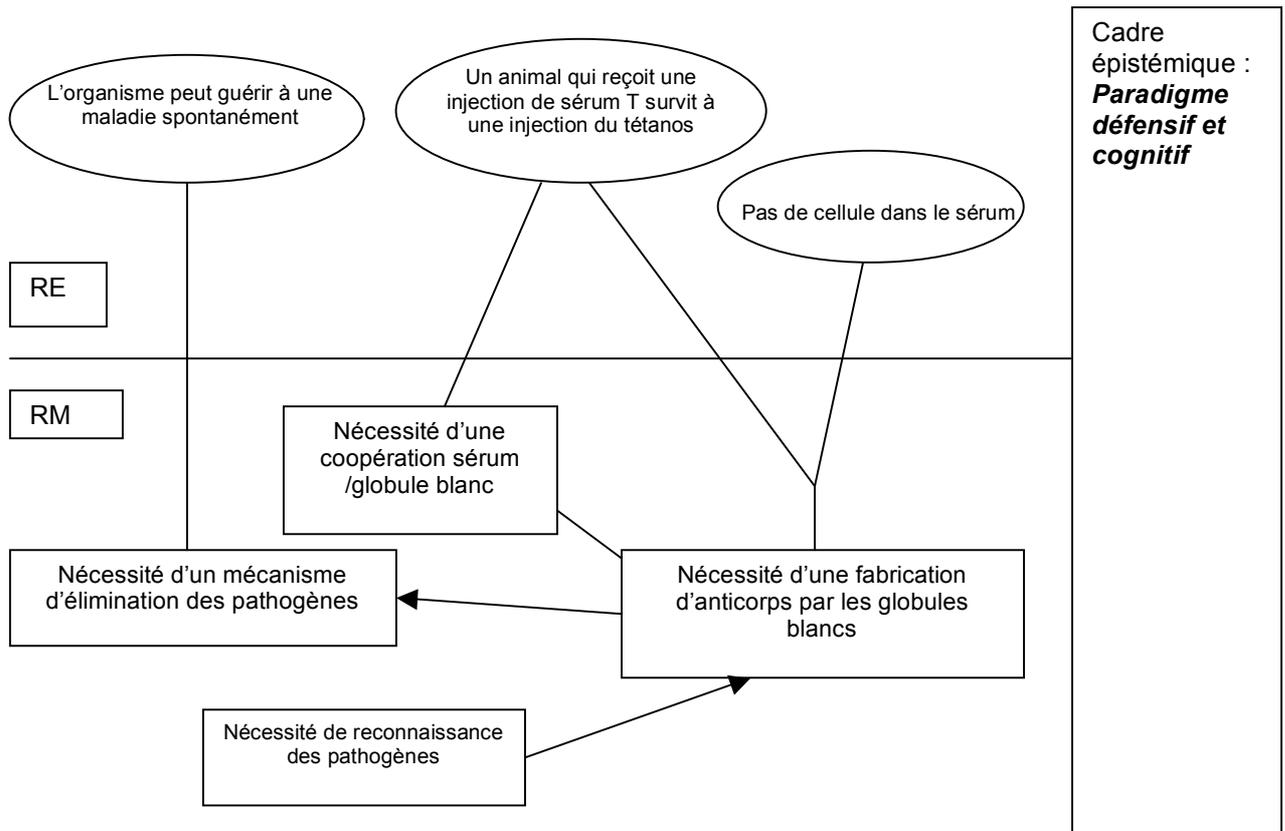
		on guérit.	
72	Victor	L'individu qui avait guéri de la diphtérie, avait les bons anticorps, on les a prélevés et injectés dans le sérum : c'est pour cela que les individus recevant le sérum ne sont pas malades de la diphtérie : ils guérissent	RMf

Les élèves tentent d'explorer des possibles concernant la nécessité d'un mécanisme d'élimination des pathogènes construite précédemment dans le débat. Ils proposent, dans un cadre épistémique défensif, que les anticorps soient des armes ou (en 67) qu'ils aident les « globules blancs à reconnaître et à tuer les microbes ». La nécessité d'une reconnaissance des pathogènes nous semble stabilisée puisqu'elle est mobilisée par les élèves pour reconstruire le problème de la protection de l'organisme.

En 69, Maurane recontextualise le problème dans le dispositif d'enseignement en mobilisant de nouveau le sérum. Comme le sérum ne contient pas de cellules, Maurane propose que le sérum contiennent les anticorps qui fabriqués par les globules blancs (Guillaume en 71) permettent la protection de l'organisme ce qui permet à Victor d'interpréter les résultats expérimentaux présentés à la figure 1

La figure 5 présente l'espace de contraintes en jeu dans cette quatrième partie du débat scientifique.

Figure 5 Espace de contraintes en jeu dans la quatrième partie du débat scientifique



La construction du problème par les élèves du 4^e groupe permet l'interprétation des résultats expérimentaux présentés en début de séance. La présentation de l'affiche du groupe 5 ne fera pas avancer davantage la construction du problème si ce n'est la construction et l'exploration des possibles concernant la nécessité d'un mécanisme de

reconnaissance du pathogène : Julien (79) : « Les globules blancs seraient capables de reconnaître directement les microbes, or on avait dit avant qu'il fallait qu'ils s'adaptent, se serait devenir capable de lire la carte d'identité ».

3. Discussion

Quelques éléments de discussion :

- Le problème construit par les élèves est pertinent du point de vue épistémologique puisque les nécessités construites sont celles que nous avons identifiées a priori (à part pour la nécessité d'une mise en mémoire).
- Le travail de groupe et le débat ont permis la dévolution des données expérimentales aux élèves qui les utilisent dans les raisonnements et les explications qu'ils produisent : passage contrainte de situation -> contrainte empirique.
- La construction du problème fait intervenir des mécanismes de contextualisation / décontextualisation.
- On voit une stabilisation progressive de deux nécessités dans le débat (Lhoste, 2006) et d'autres qui sont encore au travail dans le débat.
- L'utilisation d'analogie permet aux élèves de construire de nouveaux possibles.
- La discussion critique a permis de passer d'explication uniquement dans un paradigme défensif à des explications qui relèvent d'un paradigme double défensif et cognitif (souligner que la nécessité d'une spécificité des éléments qui assurent la protection de l'organisme a permis le passage du paradigme défensif à un paradigme double).

Bibliographie

Lhoste Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3^e. Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, n°42, p. 79-108.

Lhoste Y., Peterfavli B. & Orange C. (2007). Problématisation et construction de savoirs en SVT : quelques questions méthodologiques et théoriques. *Colloque de l'AREF, Strasbourg, août 2007*.

Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.

Annexe 1. Script du débat scientifique analysé**Groupe n°1**

1	Julien	Les bactéries du serum seraient plus puissantes que les bactéries de la toxine diphtérique, c'est pourquoi l'animal ayant reçu le serum guérit de la diphtérie.	RMd RE
2	prof	Des bactéries dans le serum ?	
3	Julien	Oui, le serum contient des bonnes bactéries qui détruisent celles de la diphtérie.	RMd
4	Erwan	Il n'y a pas de bactéries dans le serum, il ne contient pas de cellules, c'est du sang débarrassé des cellules.	RE
5	Julien	Il contient peut-être des bonnes bactéries, ou alors : c'est le poison de la diphtérie qui est moins puissant que celui du tétanos.	RMd
6	Dellil	Le serum serait un médicament contre la toxine diphtérique. L'animal n'a pas reçu la bonne injection c'est à dire le bon médicament contre la toxine tétanique.	RE
7	prof	Précise ...	
8	Dellil	Le serum n'a pas été pris sur un animal ayant guéri du tétanos.	RE
9	Julien	Le serum est le même : c'est du serum !!	
10	Dellil	Mais le poison injecté n'est pas le même.	RE
11	Emilia	C'est le même serum à chaque fois.	
12	Julien	L'animal meurt car la toxine T est plus puissante que la toxine D.	RE- RM
13	prof	Et les bonnes bact ? d'où viennent-elles ?	
14	Julien	Du serum	RE
15	prof	Et l'animal qui guérit spontanément alors ??	
16	Julien	Les survivants possédaient déjà les bonnes bactéries.	RM
17	prof	pourquoi ?	
18	Maurane	On a des bonnes bactéries en nous, on les fabrique constamment.	RM
19	Emilia	Oui, on en fabrique tout le temps et certaines sont plus fortes que d'autres.	RMf

Groupe n°2

20	Emilia	Le corps présente des défenses naturelles: des bonnes bactéries, quand on est malade c'est parce qu'on a des mauvaises bactéries dans notre sang. Mais parfois, les bonnes bactéries arrivent à combattre les mauvaises: et on guérit. Les mauvaises bactéries du tétanos sont plus fortes que les bonnes bactéries du serum	RE- RM RM
21	Guillaum	Le tétanos serait plus dangereux que la diphtérie. Donc parfois on est malade, d'autres fois non.	RE- RM
22	Emilia	Oui, plus on est vieux et plus on a de bonnes bactéries. A la naissance on n'en a pas c'est pour cela que les bébés sont plus fragiles, après le corps en fabrique, et quand on est vieux : on en perd et on devient plus fragile.	RE- RM
23	prof	Pourquoi cette fabrication de bonnes bactéries différentes ??	
24	julien	Peut-être qu'on fabrique des bonnes bactéries différentes selon les microbes.	RE- RM
25	Guill	Les bonnes bactéries de celui qui a guérit de la D ne seraient pas suffisamment puissantes contre le tétanos.	RM
26	prof	Les bonnes bactéries seraient différentes pour ces 2 maladies ?	
27	Guill	oui.	
28	prof	Comment agissent-elles ?	
29	Emilia	Elles se collent dessus.	RM
30	Victor	Mais les bonnes bact ? elles apparaissent quand on rencontre une maladie ??	
31	Guill	Oui, d'ailleurs la varicelle on ne l'a qu'une fois, car après on a en nous les bonnes bactéries.	RE- RM
32	Maurane	Elles s'adaptent aux nouveaux microbes, donc après elles luttent mieux, on n'est plus malade de la varicelle.	RM
33	prof	Et pourquoi on est malade la première fois alors ??	
34	Maurane	Parce que nos bonnes bactéries n'étaient pas habituées ou adaptées au microbe nouveau. Après elles connaissent la solution pour les tuer.	RM
35	prof	Comment ??	
36	Maurane	Elles prennent leur place dans le sang, en les mangeant. elles les rencontrent, se collent dessus et les mangent.	RM

37	Guill	Oui, les éléments composant les bonnes bact sont toxiques pour les mauvaises.	RM
38	prof	Des bons éléments ? ou ça ?	
39	Guill	À leur surface, et je ne sais pas comment mais ça permettrait de tuer les mauvais microbes.	RM

Groupe n°3

40	Audrey	Il y aurait des Globules Blancs dans le sang qui nous permettraient de guérir des maladies	RM
41	Emilia	Ce serait les bonnes bactéries dont nous avons déjà parlé ?	
42	Audrey	Oui, ils nous guérissent des rhumes, de toutes les maladies que l'on rencontre et pour lesquelles on guérit tout seul sans médicament.	
43	prof	Comment agissent-ils ?	
44	Audrey	Ils faut qu'ils connaissent déjà les microbes pour pouvoir les détecter et les tuer.	RM
45	prof	Pourquoi on est malade des fois ??	
46	Audrey	Les GB ne connaissent pas les microbes donc ne peuvent pas les détruire..	RM
47	Emilia	Et quest ce qui se passe ?	
48	Audrey	les microbes se multiplient et on peut en mourir.	RM
49	Guill	il faut aider les bonnes bactéries à détecter les microbes, le serum pourrait aider les GB à les détecter	RM
50	Audrey	oui, le serum nourrirait les GB et leur permettrait de reconnaître les microbes.	RMf
51	prof ?	et qu'est ce qui se passe alors ?	
52	Audrey	les GB nourris détruisent les microbes.	RMf
53	Erwan	Le serum ne me parait pas obligatoire, puisque certains guérissent seuls !!	
54	Dellil	oui mais ça : c'est un miracle de la nature, des fois ça arrive.	
55	Maxime	Mais non : on guérit des rhumes tout seul.	
56	prof	alors?	

57	Emilia	c'est les GB du serum qui permettent d'attaquer les nouveaux microbes.	
58	Dellil	non en fait, le serum donne l'info aux GB pour les rendre capables de reconnaître les nouveaux microbes, comme le FBI peut parfois aider la police.	RMf
59	Julien	et les G rouges ? ont-ils un rôle ??	
60	Dellil	non, on a vu que eux : ils servent à transporter l'O2.	
61	Emilia	mais, il n'y a pas de cellules dans le serum ???	
62	Audrey	le serum rendrait efficace, nourrirait les GB.	RMf

Groupe n°4

63	Victor	nous on pense qu'on aurait des AC qui permettent de nous défendre contre les microbes.	RM
64	Emilia	Les AC seraient nos bonnes bactéries ou nos GB ?	
65	Victor	ce seraient des armes, présentes dans le serum, ils seraient capables de tuer les microbes.	RM
66	prof	comment ?	
67	Victor	ils détruiraient directement les microbes, ou aideraient les GB à reconnaître et tuer les microbes. L'organisme est capable de les multiplier, ce qui améliore la défense.	RMf
68	Dellil	ce serait les GB qui les fabriquent ??	
69	Maurane	oui, c'est pour cela que dans le serum : il n'y avait pas de GB mais des AC.	RMf
70	prof	d'où viennent-ils ?	
71	Guill	c'est les GB qui les fabriquent et quand ils sont adaptés : on guérit.	RMf
72	Victor	l'individu qui avait guéri de la Dipht, avait les bons AC, on les a prélevé et injecté dans le serum : c'est pour cela que les indiv recevant le serum ne sont pas malades de la Dipht : ils guérissent	RMf
73	prof	comment on les fabrique ?	
74	Erwan	on a dit que ce sont les GB qui les fabriquent	RMf
75	Benjam	oui, dans le serum il y a les bons AC et c'est eux qui tuent les microbes de la diphtérie.	
76	prof	c'est quoi des AC ?	
77	Victor	je ne sais pas, des substances.	RM

5^e groupe

78	Benjam	le microbe aurait une carte d'identité : un code, si les GB le reconnaissent : ils se multiplient et fabriquent des AC.	RMf
79	Julien	Les GB seraient capables de reconnaître directement les microbes, or on avait dit avant qu'il fallait qu'ils s'adaptent. se serait devenir capable de lire la carte d'identité.	
80	Benjam	oui, quand les GB recennaissent : ils fabriquent des AC.	
81	Erwan	oui, ils sont capables de reconnaître directement, mais quand ils ne reconnaissent pas : alors ils ne fabriquent pas d'AC et on est malade.	RMf
82	prof	Reconnaître c'est quoi ?	
83	Benjam	reconnaître la carte d'identité.	
84	Julien	ce serait les AC qui détectent ?	
85	Benjam	oui	
86	Emilia	moi, ça me gêne les AC : ça devient trop compliqué	
87	Benjam	Les AC se collent autour des microbes car ils sont attirés.	RMf
88	Dellil	ça paraît bizarre qu'ils soient attirés, comment ils les recenniassent ? Ils n'ont pas de cerveau.	
89	Benjam	Ils sont attirés par l'espèce de carte d'identité dumicrobe.	RMf
90	Dellil	Mais s'il ne l'a jamais vu ??	
91	Benjam	Non : il ne le reconnaît que s'il l'a déjà vu une premièrefois.	RMf
92	Maxime	Les AC seraient attirés par des substances sur les microbes, comme des phéromones.	RMf

Cinquième partie

L'autotrophie en classe de 2^{de}

Cette partie est composée d'un article

1. Débat scientifique et problématisation en classe de seconde sur le thème de la nutrition des végétaux. Quelle problématisation ? Quels obstacles ?

Marie Ehanno & Yann Lhoste

Il s'agit d'un article écrit à partir du travail réalisé par Marie Ehanno dans le cadre d'un mémoire professionnel réalisé lors de son année de formation PLC2. Ses travaux de mémoire ont été présentés lors d'une journée de formation en juin 2006.

**Débat scientifique et problématisation en classe de seconde
sur le thème de la nutrition des végétaux
Quelle problématisation ? Quels obstacles ?**

Marie Ehanno, Professeure de SVT, Lycée Léonard de Vinci, Soissons ;
marie.ehanno@gmail.com

Yann Lhoste, IUFM, université de Caen-Basse-Normandie ; CREN, université de
Nantes ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Ce travail, réalisé à partir d'un mémoire professionnel à l'IUFM de Basse-Normandie¹²⁹, cherche à comprendre dans quelle mesure le débat scientifique en classe peut être un outil pour faire construire les problèmes aux élèves en classe de sciences de la vie et de la Terre (SVT), avec l'objectif d'améliorer le travail de l'enseignant dans le cadre d'une démarche socioconstructiviste.

Avant la présentation du dispositif de recueil des données et l'analyse du débat mené en classe de seconde (élèves âgés de 15-16 ans) sur le thème de la nutrition des végétaux, nous présenterons rapidement le cadre théorique dans lequel nous inscrivons nos travaux.

1. Cadre théorique

Si on se place dans le contexte d'une démarche socioconstructiviste, on peut alors dire qu'enseigner signifie faire apprendre. Il faut alors définir le fait d'apprendre, ou de faire apprendre des SVT.

¹²⁹ Ehanno M. (2006). *Le débat scientifique en classe de sciences de vie et de la Terre comme outil à la construction des problèmes par les élèves*. Mémoire professionnel dirigé par Yann Lhoste. IUFM Basse-Normandie, Caen.

■ 1.1. Le savoir scientifique et sa valeur apodictique

Selon Orange, qui s'appuie sur une épistémologie rationaliste (Bachelard, 1938 ; Jacob, 1970 ; Popper, 1991), un savoir scientifique est différent d'une simple proposition vérifiée. Il s'agit d'une conclusion, d'une réponse à une question bien posée. « *En science savoir n'est pas simplement "savoir que" mais savoir pourquoi cela ne peut pas être autrement* » (Orange, 2002). Les savoirs scientifiques revêtent donc un caractère de nécessité, c'est la valeur apodictique des savoirs scientifiques.

Ainsi, apprendre des sciences ne serait pas seulement acquérir des savoirs, mais connaître leur légitimité, c'est-à-dire ici à leur caractère nécessaire à l'explication d'un phénomène donné. L'acquisition de ce type de savoirs, que l'on peut qualifier d'apodictiques, est liée d'une part, à la nature de la connaissance que l'on souhaite voir construire par les élèves¹³⁰, et, d'autre part, à la mobilisation de stratégies favorables à l'acquisition de ces savoirs, comme les moments de débats scientifiques en classe.

Pour reprendre Orange, si un savoir scientifique est issu d'un problème bien posé, il semble donc important de savoir comment « bien poser » ce problème, pour qu'il devienne un problème scientifique. L'activité qui permet de poser et de construire les problèmes correspond à une activité de problématisation qui mérite d'être explicitée maintenant.

■ 1.2. La problématisation

Selon Bachelard, les problèmes scientifiques ne se posent pas d'eux-mêmes. Ainsi, « *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* » (1938).

Orange, en s'appuyant sur les travaux de Bachelard autour du concept de problème, définit la problématisation ainsi : il s'agit de partir d'une question, de la relier à un cadre théorique jugé pertinent, d'en explorer les possibles et d'identifier les raisons qui contraignent des solutions (c'est-à-dire poser un certain nombre de contraintes sur les savoirs scientifiques). Grâce à cette démarche, la connaissance obtenue prendra un caractère de nécessité, et deviendra ainsi un savoir scientifique, au sens où il a été défini plus haut. Problème et solution (savoir scientifique) sont intimement liés, et la solution n'a de sens qu'au regard d'un problème donné (Deleuze, 1968).

Comment les scientifiques, au sein de leur communauté, peuvent-ils affirmer que telle ou telle connaissance possède un caractère scientifique ? Schneeberger (2002) s'appuie sur l'affirmation suivante de Popper : « *Une assertion, si réfutable qu'elle soit, n'est rien, d'un point de vue scientifique, si elle n'est pas rendue publique et largement débattue* », pour affirmer que le dialogue et les confrontations critiques font indissociablement partie de l'activité scientifique. Le scientifique ne cherche pas à persuader ses collègues, mais il se soumet au débat tout en essayant de convaincre par l'argumentation et le raisonnement. Si cette activité s'applique au sein de la communauté scientifique, il paraît logique qu'elle se transpose dans une classe de science si l'on désire que les savoirs qui y sont construits

¹³⁰ On ne s'intéresse pas seulement au savoir que, mais au savoir pourquoi.

aient un statut scientifique. La différence principale réside dans le fait qu'en classe on ne construit pas des connaissances nouvelles dans l'absolu, ce sont des connaissances déjà établies, mais elles conservent néanmoins leur caractère de nouveauté pour la plupart des élèves.

■ 1.3. Le débat scientifique et son apport dans la construction des problèmes

Un des objectifs possible du débat scientifique est de faire évoluer les représentations initiales des élèves, c'est-à-dire de passer d'une conception à une autre (Astolfi & Peterfalvi, 1997 ; Orange, 1999), il permettrait donc un changement conceptuel. C'est-à-dire qu'il ne suffit pas d'acquérir une nouvelle connaissance, mais il faut changer de connaissance, l'apprentissage scientifique correspond alors à un processus de transformation conceptuelle. Selon Orange, s'engager dans un débat scientifique en classe ne permet pas seulement de faire passer les élèves d'une conception à une autre mais peut permettre également de leur faire construire les problèmes, pour permettre la construction d'un savoir scientifique apodictique qui viendrait remplacer un savoir « commun ».

Les débats scientifiques sont des moments où les élèves sont amenés à discuter des prémodèles, c'est-à-dire des représentations initiales, produits par eux-mêmes et par leurs pairs. Il ne s'agit néanmoins pas du seul moment possible d'aide à la problématisation. Le débat est une situation permettant dans le cadre de la problématisation, d'explorer le champ des possibles, et de développer des arguments pour ou contre des idées explicatives qu'il va falloir explorer : « *le débat scientifique n'est pas seulement un moyen sur lequel on s'appuie pour changer les conceptions, mais c'est la matière première des raisons scientifiques que l'on veut se voir construire* » (Orange, 2002).

Si transformation conceptuelle et problématisation sont des conditions d'accès à un savoir scientifique, elles ne vont bien sûr pas d'elles même, un certain nombre d'obstacles issus des savoirs et des modèles explicatifs initiaux des élèves s'y opposent.

■ 1.4. Le concept d'obstacle épistémologique

Dans un cadre didactique, le terme d'obstacle revêt une signification bien précise qui a été précisé par Fabre (1995, p. 78-105) et par Peterfalvi (2001, p. 32-63) dans le cadre de l'enseignement des sciences. Il s'agit, en fait, d'une reprise didactique du concept d'obstacle épistémologique de Bachelard, que nous appellerons plus simplement obstacle. Pour Bachelard (1938), la notion d'obstacle épistémologique caractérise la rupture qui sépare la pensée commune de la pensée scientifique, qui peut prendre diverses formes. Ainsi certains obstacles peuvent empêcher les élèves de passer d'une conception à une autre. Si l'enseignant ne tient pas compte de ces obstacles dans les situations d'enseignement-apprentissage, les nouvelles informations qui seront apportées par l'enseignant pourront difficilement devenir des savoirs scientifiques mobilisables sur le long terme par les élèves. Ce sont justement les obstacles qui vont empêcher le changement conceptuel qui permettra de construire un nouveau savoir scientifique. C'est la positivité de l'obstacle décrit par Fabre comme « *un trop-plein de connaissances* » (1995, p. 81), ainsi si la conception initiale de l'élève le satisfait, cette dernière aura tendance pour

cela à résister¹³¹ et il ne pourra donc probablement pas s'approprier la nouvelle connaissance scientifique. On retrouve ici les caractéristiques de positivité et de résistance de l'obstacle épistémologique selon Bachelard.

Ainsi, si l'enseignant désire opérer ce changement de conception chez ses élèves, il doit tenir compte des modèles explicatifs spontanément fournis par les élèves, face à un phénomène donné, et pouvant faire obstacle à l'acquisition d'un nouveau savoir scientifique. On appelle représentations initiales ces conceptions que les élèves possèdent d'un phénomène donné. Une représentation est à la fois personnelle et propre à chaque élève (fonction de sa personnalité, de son expérience et de ses acquis scolaires et extrascolaires), mais correspond également à des façons communes de penser. Ces conceptions ne sont pas figées et sont susceptibles d'évoluer avec l'âge et au cours des apprentissages, qu'ils soient scolaires ou extrascolaires.

Comme il a été explicité plus en avant, le débat scientifique peut permettre de faire apparaître une insatisfaction de ses propres idées explicatives (représentations initiales) ou de celle des autres. Il permet donc d'explorer un champ de possibilités et d'argumenter pour ou contre des idées explicatives. Le débat scientifique serait donc un moment propice à la mise en évidence des obstacles, et au moins pour entamer leur déstabilisation et la reconstruction d'une nouvelle conception.

L'analyse du débat, réalisé en classe de seconde sur le thème de la nutrition des végétaux, va permettre de mettre en évidence les problèmes construits par les élèves sur ce thème et elle va également permettre d'identifier les obstacles qui s'opposent à cette problématisation.

2. Le recueil de données

■ 2.1. Situation dans la progression

Ce débat scientifique est réalisé sur le thème de la nutrition des végétaux, en classe de seconde. On se situe dans l'une des trois grandes parties du programme de seconde, intitulée « Cellule, ADN et unité du vivant » (France, MEN, 1999, p. 28), comptant trois sous parties dont deux ont déjà été traitées, à savoir « Parenté et diversité des organismes » puis « Universalité et variabilité de la molécule d'ADN ». On entre donc dans la troisième sous partie « La cellule fonde l'unité et la diversité du vivant » via les métabolismes, et plus particulièrement l'autotrophie¹³².

¹³¹ Les conceptions initiales « retiennent l'attention non parce qu'elles sont fausses ou immatures, mais parce qu'elles sont viables, [...]. Autrement dit, leur intérêt se mesure à leur succès pragmatique, dans un contexte donné, à se maintenir en tant que structure et à permettre ainsi à un sujet de fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement » (Larochelle & Désautels, 1992, p.11).

¹³² Grâce au mécanisme de la photosynthèse, les végétaux chlorophylliens peuvent fixer le carbone du dioxyde de carbone prélevé dans l'atmosphère pour fabriquer leur propre matière organique (d'abord des sucres contenant les éléments CHO, puis d'autres molécules organiques comme les protéines composées des éléments CHO et N grâce à l'azote prélevé au niveau racinaire). Les végétaux ont donc la capacité de fabriquer leur propre matière organique uniquement à partir de matière minérale, c'est ce qui définit un métabolisme autotrophe.

■ 2.2. Évaluation diagnostique

Avant de poser aux élèves la question relative aux besoins nutritionnels des végétaux, un accord à été obtenu en classe, à partir de résultats expérimentaux, sur le fait que les végétaux croissent. Ensuite, la question suivante a été posée aux élèves :

De quoi un végétal a-t-il besoin pour grandir, pour pousser ? Expliquer ce que deviennent à l'intérieur du végétal les éléments que vous faites intervenir.

Les élèves devaient y répondre individuellement en utilisant une figure de végétal au format A4. Les productions des élèves sont analysées en utilisant des catégories construites par Orange (1997), définissant quatre modes d'explication couramment adoptés par les élèves pour expliquer la nutrition animale et végétale et présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Catégorisation des explications mobilisées par les élèves pour expliquer la nutrition des végétaux (Orange, 1997)

Explication de type Ea
La croissance ou le fonctionnement de l'organisme est sous la dépendance de facteurs ou de substances (substances nutritives, lumière...) qui restent, dans l'explication, extérieurs à l'être vivant ou y pénètrent simplement, sans autre indication (rien n'est dit sur ce qu'ils deviennent). Les phénomènes vitaux « vont d'eux-mêmes » quand les conditions sont bonnes.
Explication de type Eb
La croissance ou le fonctionnement de l'organisme s'explique par l'entrée de substances qui, directement ou par transformation, procurent un « principe » (vitamines, sels minéraux, énergie, chlorophylle, sève...) qui l'alimente. Ni les substances entrées, ni le principe produit n'interviennent dans un mécanisme : l'explication commence et s'arrête à ce « principe ».
Explication de type Ec :
Les substances nutritives entrent dans l'organisme et sont impliquées dans un mécanisme de type chimique : elles ont un devenir dans l'organisme ; il y a donc une certaine pérennité de la matière.
Explication de type Ed :
Les réactions et transformations sont explicites et suivent les règles chimiques. Certains des produits de ces réactions sont accumulés ou participent au renouvellement.

Le tableau 2 présente l'analyse des explications proposées par les élèves et les groupes qui ont été constitués pour le travail collectif préalable au débat¹³³.

Tableau 2. Classement des groupes de productions d'affiches en fonction du type de registre explicatif et d'un critère supplémentaire

Groupes de demi-classe	Type d'explication	Groupes de production d'affiches	Critère de tri supplémentaire
Groupe I, débat n°1	Ea	A	Pas de CO2
		B	Présence de CO2
	Eb	C	Seule l'eau semble faire pousser la plante
		D	Notions de circulation, et de transformation « des éléments »

¹³³ Ce sont les affiches produites par chacun des groupes qui seront support au débat scientifique.

Groupe II, débat n°2	Ea	E	Pas de gaz
		F	Pas de CO2
		G	Présence de CO2
	Eb	H	Notions de circulation et de transformation.

Nous pouvons remarquer que les élèves de cette classe de seconde proposent principalement des explications de type Ea ou Eb. Même si l'on peut s'interroger sur l'influence des questions de départ sur ces résultats, ils corroborent les conclusions d'Orange (2000) qui a mis en évidence les difficultés des élèves pour problématiser la nutrition en terme de flux de matière.

■ 2.3. Le débat scientifique

Ensuite, les élèves ont réalisé des affiches qui seront utilisées comme support pour le débat.

Les affiches sont affichées au tableau. La situation proposée aux élèves est la suivante :

- présentation de l'affiche par un des membres du groupe l'ayant réalisée ;
- questions du professeur et interventions des autres membres du groupe pour compléter cette présentation ;
- questions des autres membres de la classe pour obtenir une précision, une explication, pour formuler des objections ou des critiques par rapport à l'affiche présentée ;
- présentation de l'affiche suivante, suivant les mêmes règles ;
- comparaison des deux affiches qui viennent d'être présentées, critiques et objections ;
- présentation de l'affiche suivante. Et ainsi de suite.

Les affiches ont été présentées des explications les plus simples au plus complexes, soit de A à D pour le groupe 1, puis de E à H pour le groupe 2. Au cours du débat, les points d'accord et les questions restant en suspens sont notés au tableau. Deux débats, d'une durée d'environ $\frac{3}{4}$ d'heure chacun, ont été filmés et retranscrits. C'est le script du débat qui constitue le corpus de données qui sera analysé.

3. Analyse du corpus de données : quels problèmes construits ?

■ 3.1. Méthodologie de l'analyse des données

La méthodologie d'analyse des données utilisée est celle mise en place par Orange qui s'appuie sur « *la distinction entre le registre empirique et le registre des modèles et sur l'idée que les contraintes qui s'expriment dans le débat peuvent porter sur l'un ou l'autre de ces registres ou sur les relations entre les deux* » (2000). Seules les interventions des élèves sont prises en compte, puisque ce sont les problèmes construits par les élèves qui nous intéressent, et elle sont classées en fonction des registres qu'elles mettent en jeu (tableau 3). Les résultats du classement sont précisés en annexe 1.

Tableau 3. Typologie des registres mis en jeu dans un débat scientifique en SVT

Registre de classement	Abréviation utilisée	Type d'intervention concernée
Registre empirique	RE	Contient toutes les interventions qui font référence à un élément observable, mesurable, dans le problème travaillé.
Registre du modèle	RM	Contient les interventions qui relèvent des idées explicatives. On peut procéder à une répartition des interventions RM en trois sous catégories.
-RM descriptif	RMd	Interventions qui donnent des indications sur la description du modèle.
-RM fonctionnement	RMf	Interventions qui donnent des indications sur le fonctionnement d'un modèle.
-RM critique	RMc	Interventions qui font une analyse critique d'un modèle ou qui le mettent en doute.
Registre double, empirique et du modèle	RE-RM	Interventions qui mettent en relation des idées explicatives et des faits constatables.

Cette première catégorisation des interventions des élèves est présentée dans l'annexe 1. À partir des interventions de type RE, RMc et RE-RM., on procède à l'identification des contraintes mises en jeu dans le débat¹³⁴. Selon Orange (2000), trois types de contraintes peuvent être identifiées (tableau 4).

Tableau 4. Typologie des contraintes en jeu dans un débat scientifique en SVT

Type de contrainte	Abréviation utilisée	Type d'intervention concernée
Contrainte empirique	CE	Contient toutes les interventions qui contiennent une ou des données empiriques qui paraissent devoir être prises en compte dans le problème traité.
Contrainte sur le modèle	CM	Contient les interventions qui contiennent des nécessités sur le modèle.
Contrainte double	CE-CM	Interventions qui relient une contrainte empirique et une nécessité sur le modèle.

À partir de ce dernier classement, on procède à un recouplement et à une récapitulation des différentes contraintes apparues au cours du débat, pour matérialiser les relations que les élèves semblent avoir établies entre elles. Elles seront schématisées sous forme d'un « *espace de contraintes* » (Orange, 2000).

Après analyse de ce premier débat, on peut repérer deux groupes d'élèves qui se trouvent dans deux registres explicatifs différents (Ea pour les groupes A et B ; Eb pour les groupes C et D). Les phases de ce débat seront donc analysées dans un groupe puis dans l'autre.

¹³⁴ Orange (2000) précise que toutes les interventions des élèves ne permettent pas de mettre en évidence des contraintes empiriques et des nécessités sur le modèles, en particulier les interventions de type RMf et RMd..

■ **3.2. Analyse des contraintes mises en évidence au sein d'un premier groupe d'élèves qui développent une explication dans un registre explicatif de type Eb.**

Avant de commencer le débat, l'ensemble de la classe s'accorde pour dire que c'est le fait que « la plante grandit » qui va prendre le statut de contrainte empirique dans cette problématisation. Pour expliquer que la plante grandit, un élève parle de matière, un autre de maturité et de reproduction de la plante, ce qui renvoie à deux types d'explication différents. La première peut permettre de traiter un problème de nutrition (source de matière et d'énergie pour produire la matière organique qui constitue le végétal), la seconde ne permettra pas de construire un problème de nutrition : si la plante grandit, se développe, c'est que c'est dans la nature des choses, « La croissance est expliquée par le temps qui passe et les propriétés de l'être vivant c'est-à-dire par la vie elle-même. Si celle-ci est possible, si les conditions sont bonnes » (Goix, 1997, p. 143). Pour ce qui est des besoins de la plante, on retrouve régulièrement le besoin d'eau et de sels minéraux :

6. - Prof : Les sels minéraux et l'eau ça sert à quoi ?

7 - Florian : à la faire pousser, l'eau c'est ce qu'elle a besoin pour vivre.

Ils font également référence à un milieu, propice au développement de la plante, sans plus d'explication, probablement dans l'idée qu'il faut que la plante « soit bien » pour qu'elle se développe. Dans ce cas, les élèves développent des explications¹³⁵ qui appartiennent à un registre explicatif de type Ea.

Essayons de suivre comment sont construites les raisons dans un registre explicatif de type Eb par ce groupe d'élèves en nous appuyant sur certains extraits du corpus. La première nécessité construite concerne celle d'une absorption d'eau et de minéraux pour grandir. Le tableau 6 présente quelques interventions d'élèves qui permettent de comprendre comment cette nécessité est construite.

Tableau 6. Émergence de la nécessité d'une absorption d'eau et de sels minéraux pour grandir

24 - Prof : L'eau elle sert à quoi ?		
25 – Nicolas : bah pareil.		
26 – Prof : c'est-à-dire ?		
27 – Nicolas : pour grandir.	RMd	
28 – Prof : comment l'eau fait elle pour faire grandir la plante ?		
29 - Pauline : ben si elle a pas d'eau c'est comme nous quoi, je veux dire, bah voila elle se dessèche.	RE-RM	CE-(CM)
122 - Blaise : Elle permet aux feuilles de ne pas se recroqueviller, de ne pas sécher.	RE-RM	CE

Plusieurs constats sont intégrés à un raisonnement (plus ou moins explicite), ce qui leurs confert le statut de contraintes empiriques :

- « la plante grandit » (CE1) ;
- « sans eau, une plante meurt » (29) (CE2).

Ces deux contraintes sont mises en relation par l'intermédiaire d'un raisonnement plus ou moins implicite que l'on pourrait résumer de la façon suivante : « une plante sans eau se

¹³⁵ On pourrait discuter le fait d'attribuer un statut d'explication à ce qui est en fait autoexplicatif : « La croissance est un phénomène qui ne nécessite aucune explication. Il est lui-même explicatif » (Goix, 1997, p. 143).

recroqueville, sèche et meurt, or si elle grandit, elle n'est pas morte donc l'eau lui permet de grandir en évitant de sécher, de se dessécher, de se recroqueviller. C'est l'apport d'eau (et de sels minéraux) qui permet la croissance ». Ce raisonnement permet de construire la nécessité d'une absorption (CM1), d'eau principalement, pour permettre à la plante de grandir (en 27, Nicolas, met bien en relation l'eau et la croissance).

Thibaut dans l'intervention 15 évoque le besoin de dioxyde de carbone. Néanmoins, il ne le définit pas explicitement comme un besoin, « la plante prend du CO₂ et rejette de l'O₂ ». Nicolas en 17 et 19 émet l'hypothèse que la plante a besoin du carbone du dioxyde de carbone pour grandir, mais ne va pas plus loin dans l'explication du rôle de ce carbone dans la croissance de la plante.

16 – Prof : demande d'explications : pourquoi la plante a besoin de dioxyde de carbone ? (Peuvent répondre seuls les élèves qui ont produit cette affiche)
17 – Nicolas : Elle a besoin du carbone.
18 – Prof : Pourquoi faire ?
19 – Nicolas : Pour grandir.

Il est probable que le besoin de dioxyde de carbone soit apparu dans ce groupe car ils avaient un vague souvenir des échanges gazeux de la photosynthèse, vus lors de l'étude du cycle du carbone dans la partie « La planète terre et son environnement », néanmoins ils n'avaient pas dû tous en comprendre la nécessité. Dans cette première partie du débat (avant les interventions 198, 200, 202), aucune relation n'est établie entre le terme de photosynthèse, qui apparaît pourtant en 95, et l'absorption du dioxyde de carbone. Pour ces différentes raisons, nous avons considéré que le dioxyde de carbone avait le même rôle que l'eau ou les sels minéraux.

Pour ce qui est de la photosynthèse, c'est dans un premier temps le moyen qui permet aux élèves de relier le besoin de lumière à la couleur de la plante. Voyons quel est le raisonnement développé par les élèves (tableau 7).

Tableau 7. La photosynthèse : nécessité qui relie le besoin de lumière au fait que la plante soit verte

2 – Prof : Demande d'explication : à quoi ça sert la lumière du soleil ?		
3 – Florian : Pour l'entretien de la plante, pour l'aider à garder sa couleur et à fleurir.	RMf	
95.4. Blaise : la lumière du soleil ...fait... produit la photosynthèse, donc c'est pour ça que la plante est verte, la photosynthèse permet à la plante d'être verte parce que si la plante ne reçoit pas de lumière elle est blanche. La plante a besoin de photosynthèse...a besoin de... non de la lumière du soleil pour produire de la chlorophylle, et donc la plante devient verte, parce que s'il n'y pas de lumière qui arrive sur la plante elle reste blanche.	RE- RM	CE- CM
168. Prof : On vous a pas demandé Blaise, c'est quoi la photosynthèse ?		
170. Blaise : La photosynthèse c'est la lumière qui arrive sur la plante et qui fait verdier la plante qui produit de la chlorophylle.	RE- RM	CE- CM
183.4. Maxime : Elle produit de la chlorophylle grâce aux rayons du soleil et le soleil aide au développement de la fleur donc la chlorophylle c'est la photosynthèse.	RE- RM	CE- CM

Dès la présentation de la première affiche (1), les élèves, interrogés sur la croissance de la plante, font référence à la lumière. Ils mènent le raisonnement suivant : « sans lumière la

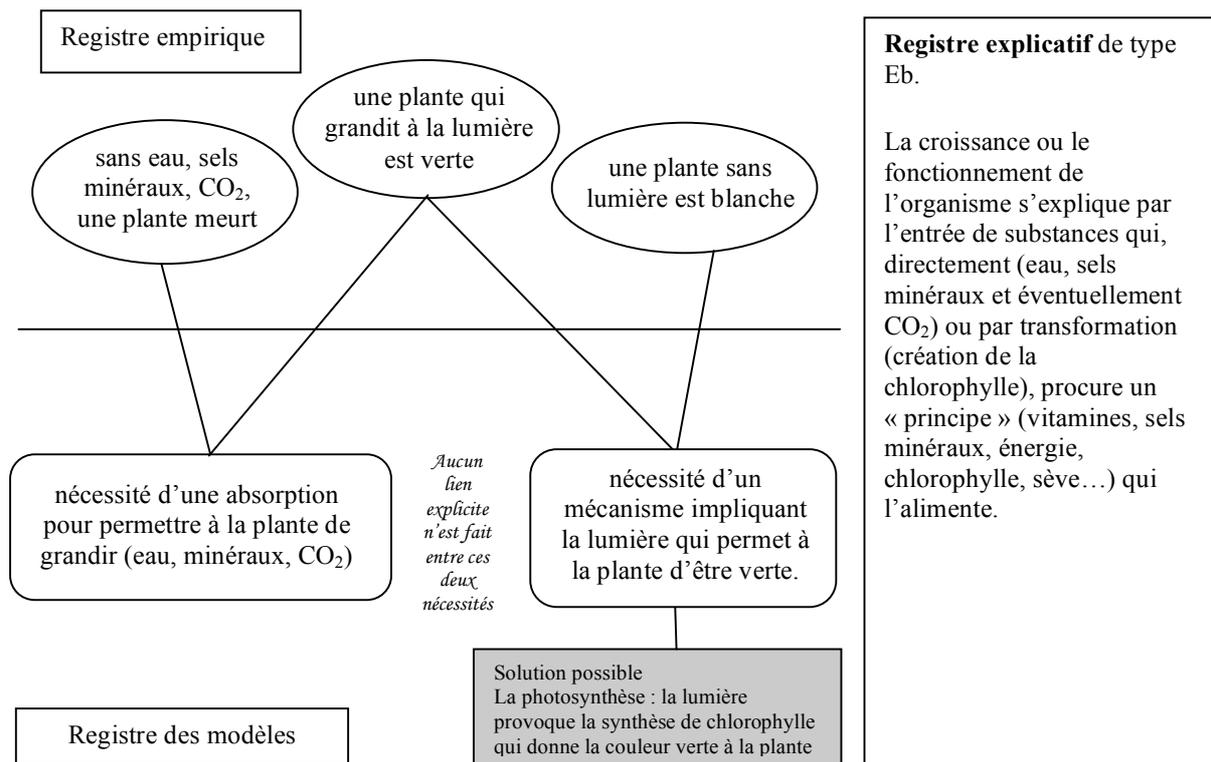
plante est blanche (3, 95.4 : « ...parce que si la plante ne reçoit pas de lumière elle est blanche »), or les plantes qui grandissent à la lumière sont vertes (implicite) donc la lumière permet à la plante d'être verte via la photosynthèse qui permet la production de chlorophylle en présence de lumière (95.4, 170, 183.4) ».

À partir de ce raisonnement, nous pouvons indiquer que la construction de deux contraintes empiriques : « une plante sans lumière est blanche » (CE3), « une plante qui grandit à la lumière est verte » (CE1 complétée) et d'une nécessité sur les modèles « nécessité d'un mécanisme impliquant la lumière qui permet à la plante d'être verte » (CM2). Les élèves proposent un mécanisme qui fait intervenir la photosynthèse et la chlorophylle, ce mécanisme correspond à une solution possible à cette nécessité.

Il convient de noter que, jusqu'à maintenant, les élèves n'établissent aucune relation entre le dioxyde de carbone utilisé par la plante et la photosynthèse. Même s'il y a une nécessité d'un mécanisme qui permet à la plante d'être verte (sous-entendu qu'une plante qui grandit est verte) elle n'est pas mise en relation avec le besoin de dioxyde de carbone.

Ces différents éléments nous permettent de construire l'espace de contraintes en jeu dans cette première partie du débat présenté sur la figure 1.

Figure 1. Espace des contraintes en jeu dans la première partie du débat, lors des présentations des affiches A, B et C



Les élèves du groupe C, auquel appartient Blaise, ont réalisé une affiche faisant apparaître un besoin de dioxygène et de dioxyde de carbone. Avant eux, les élèves du groupe B ont présenté leur affiche, où est apparu le besoin de dioxyde de carbone sans en justifier la fonction. Bien qu'il apparaisse également sur leur affiche, en 43 Blaise pose la question « c'est quoi le rôle du CO₂ ? », il n'obtiendra pas de réponse.

Voici l'échange entre le professeur et Blaise au moment de la présentation de son affiche :

104. Prof : donc vous faites entrer de l'oxygène et du dioxyde de carbone à l'intérieur de la plante, c'est ce que je vois là, à quoi ça sert ça ?
105. Blaise : l'oxygène et le dioxyde de carbone ça lui permet de vivre.
112. Prof : à quoi il sert le dioxyde de carbone dans la plante.
113. Blaise : Bonne question.

Même si Blaise reste, à propos du rôle du dioxyde de carbone, dans un problème de facteur (quels sont les besoins de la plante) dans un registre explicatif de type Ea, il ne se contente pas d'évoquer le dioxyde de carbone comme un besoin mais s'interroge sur sa fonction, aidé en cela par le questionnement de l'enseignante qui tente de faire construire ce problème de nutrition dans un registre de type Ec.

■ **3.3. Analyse des contraintes mises en évidences au sein d'un deuxième groupe d'élèves qui développent une explication dans un registre explicatif de type Ec.**

Les contraintes empiriques construites par ce deuxième groupe d'élèves sont sensiblement les mêmes que celle du groupe précédent. Ce groupe parle également de « matière de plante » et ajoute une précision en toute fin de débat, où ils parlent d'atomes de plante.

Jusqu'à l'intervention du professeur en 200, les mouvements de gaz, que ce soit absorption ou rejet, de dioxygène ou de dioxyde de carbone, ont toujours été évoqués indépendamment du mécanisme de la photosynthèse. Ils n'ont été associés qu'avec la respiration, qui pouvait fonctionner « dans les deux sens » thème qui sera développé à la section 4. Même lors de la présentation de la dernière affiche la dissociation échanges gazeux – photosynthèse est toujours marquée (tableau 8).

Tableau 8. Problème d'association des deux types d'échanges gazeux à un même mécanisme, ou deux mécanismes différents

183.1. Maxime : Elle absorbe de l'eau aussi par ses racines.	RE- RM	CE
183.2. Maxime : La plante elle respire, c'est différent du jour et de la nuit, le jour elle absorbe du CO ₂ et rejette de l'O ₂ et la nuit elle absorbe du O ₂ pour rejeter du CO ₂ .	RMf	
183.3. Maxime : Elle absorbe aussi de l'eau par les feuilles par la rosée le matin ou alors la pluie.	RE- RM	CE
183.4. Maxime : Elle produit de la chlorophylle grâce aux rayons du soleil et le soleil aide au développement de la fleur donc la chlorophylle c'est la photosynthèse.	RE- RM	CE- CM
200. Prof : Alors l'absorption de CO ₂ c'est quoi ? Est-ce que ça correspond à la photosynthèse ?		
201. Maxime : C'est la respiration...c'est parce qu'on a mis les deux.	RMd	
202. Alexandre : Non, c'est la photosynthèse, si c'est la photosynthèse	RMc	

C'est donc après une question de la professeure, en 200, qu'Alexandre (appartenant, comme Maxime, au groupe D) propose un lien entre la photosynthèse et l'absorption de dioxyde de carbone. Cela permet de relier l'absorption de dioxyde de carbone à un mécanisme physiologique, celui de la photosynthèse. Il ne s'agit pas, pour nous, de dire

que, dans cette intervention, l'emploi du mot photosynthèse par Alexandre correspond au concept de photosynthèse, mais Alexandre met bien en relation certains échanges gazeux avec un mot qui renvoie à un concept, même si les relations entre le mot et son concept n'est pas automatique. Une controverse se développe ensuite à propos du rôle de la lumière dans la photosynthèse et l'absorption de dioxyde de carbone. Elle est présentée dans le tableau 9.

Tableau 9. Difficulté de mise en relation de la photosynthèse avec un échange gazeux

241. Alexandre : le jour il y a absorption de CO ₂ et rejet d'O ₂ .	RMd
243. Thibaut : et pourquoi pas le contraire en fait?	RMc
245. Thibaut : pourquoi la nuit elle ne ferait pas comme le jour ?	RMc

Cette controverse qui s'étend sur plusieurs interventions est intéressante car elle montre bien que les élèves ont compris le sens d'une discussion scientifique, il s'agit bien de construire des savoirs qui ont un caractère de nécessité (pourquoi les échanges dans ce sens et pas dans l'autre, pourquoi les échanges gazeux seraient différents le jour de la nuit ?). Le questionnement en pourquoi a une valeur heuristique dans ce type de débat, comme le rappelle Rumelhard lorsqu'il indique que le questionnement en pourquoi est pourtant « une condition de possibilité quand il s'agit des structures, des fonctions physiologiques, des comportements individuels, sous réserve que la question ne se transforme pas immédiatement en réponse finaliste du type "c'est pour" » (1993, p. 136). C'est bien cette dynamique heuristique qui incite Alexandre à préciser la fonction du CO₂, à son devenir dans la plante, et surtout le relie à la croissance de la plante (tableau 10).

Tableau 10. Devenir et fonction du dioxyde de carbone à l'intérieur de la plante

272 – Prof : Bon autrement, pour le groupe d là, je vous avez demandé à quoi sert le CO ₂ , qu'est ce qu'il devient à l'intérieur du végétal ?		
273 – Maxime : Transformé en énergie.	RMd	
274 – Prof : Le CO ₂ serait transformé en énergie ?		
275 – Maxime : Avec l'eau bien sur...	RMd	
276 – Alexandre : Avec les autres éléments qui interviennent il se mélange pour créer encore d'autres éléments.	RMf	
277 – Prof : Donc que devient le CO ₂ à l'intérieur du végétal ?		
278 – Maxime : Il transporte grâce à la sève les éléments jusqu'aux feuilles, jusqu'aux fleurs.	RMf	
279 – Prof : Donc le CO ₂ servirait à transporter les éléments ?		
280 – Maxime : Ben je sais pas mais comme il fait dans un sens et dans l'autre...	RMf	
281 – Prof : Alexandre quelle est ton opinion ?		
282 – Alexandre : Il se mélange avec d'autres éléments que la plante a absorbés pour créer les éléments souches de la plante	RE- RM	CE- CM
283 – Prof : Pour créer les éléments souches de la plante ? Qu'est ce c'est ça ?		
284 – Alexandre : Bah ça va lui permettre de grandir, de survivre, tout ça.	RE- RM	CE

Alexandre, à la suite de Maxime, permet de relier le mécanisme de la photosynthèse à la croissance, ce qui n'avait pu être fait avec le groupe précédent. Il nous semble qu'Alexandre est bien sur une explication qui fait intervenir des transformations de matière sous-tendues par un principe de conservation de la matière¹³⁶. Ainsi, « les éléments

¹³⁶ Sans pour autant pouvoir affirmer que les élèves développent une pensée physico-chimique (Goix, 1996 ; Peterfalvi, 2001).

absorbés » par la plante sont transformés pour fabriquer « des éléments de la plante », ce qui va lui permettre « de grandir, de survivre, tout ça ». Il nous semble qu'à partir de ces interventions, la croissance de la plante est bien mise en relation avec la « nécessité d'une production de la matière de la plante », mise en relation avec les différents besoins exprimés par la plante et un principe de conservation de la matière qui reste implicite, mais qui est nécessaire pour faire tenir le raisonnement de l'élève. Nous considérons que ce principe a le statut d'une contrainte théorique dans ce raisonnement et nous le feront figurer comme tel dans l'espace de contraintes en jeu que nous allons construire.

Ensuite les élèves développent une argumentation pour relier la photosynthèse à la présence de lumière nécessaire à sa réalisation (tableau 11).

Tableau 11. Argumentation sur la nécessité de lumière pour permettre la réalisation de la photosynthèse

291 – Prof : Qu'est ce qui se fait le jour ? Est-ce qu'il y a de la respiration le jour ?		
292 – Alexandre, Blaise : Oui.	RMd	
296 – Alexandre : Et il n'y a pas de photosynthèse la nuit.	RMd	
297 – Blaise : Oui parce qu'il n'y a pas de lumière donc il n'y a pas de photosynthèse	RE- RM	CE- CM
300 – Prof : Et la photosynthèse est ce qu'il y en a la jour ?		
301 – Alexandre : Oui il y en a le jour, parce qu'il y a besoin de soleil	RE- RM	CE- CM

Ici Alexandre n'argumente pas sa réponse et c'est Blaise qui vient alors apporter un argument, en reprenant ses affirmations des interventions 95.4 et 170. En fin de débat, un approfondissement quant au devenir du dioxyde de carbone dans la plante, arrive après une des questions de l'enseignante (tableau 12).

Tableau 12. Développement d'un mécanisme avec transformation de matière

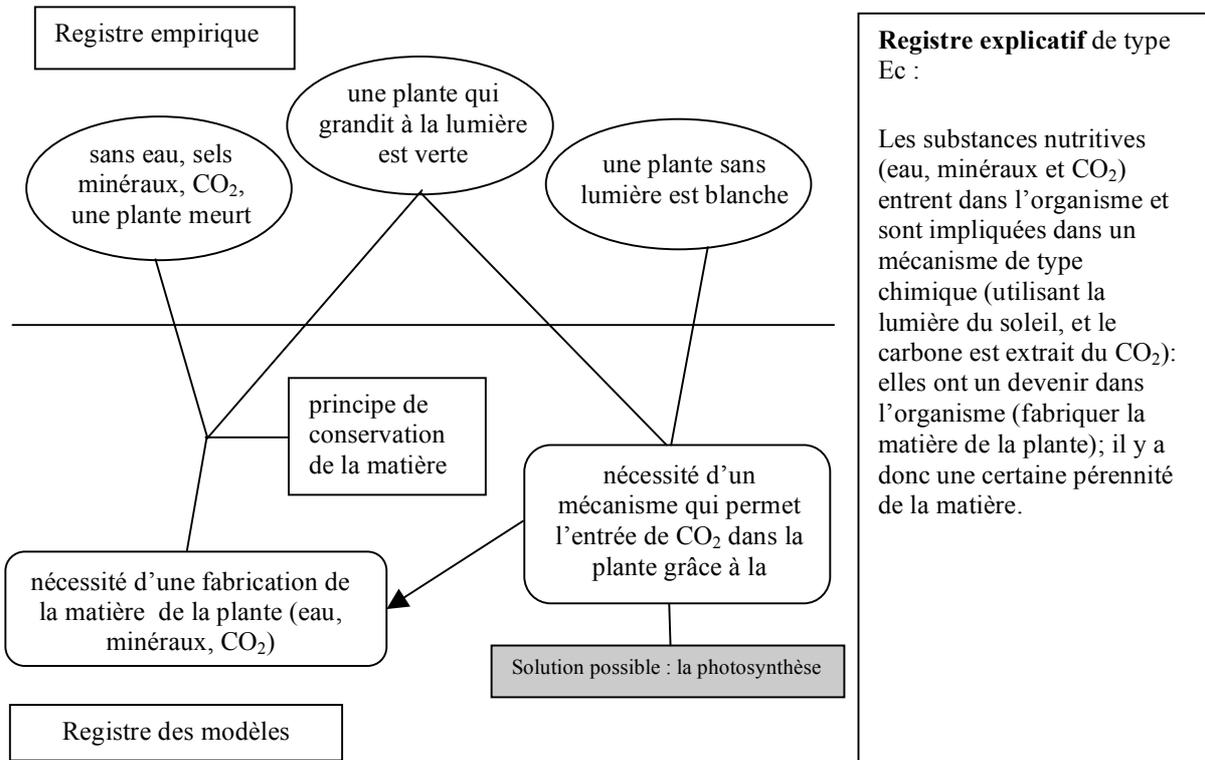
377 – Prof : Donc pour vous la photosynthèse c'est apparemment une entrée de CO ₂ et un rejet d'O ₂ . Donc quel bilan semble-t-il y avoir à l'intérieur de la plante, qu'est ce qu'elle garde ?		
378 – Alexandre, Alexandra : Le carbone	RMd	CM
381 – Prof : Qu'est-ce qu'elle en fait du carbone.		
382 - Damien : Ben elle l'utilise pour faire croître la plante.	RE- RM	CE- CM
392 – Prof : Donc le carbone du CO ₂ servirait à quoi ?		
393 – Alexandre : À créer de la matière.	RMf	
395 – Alexandre : Bah la matière de la plante.	RMf	
396 – Prof : C'est quoi la matière de la plante.		
400 – Damien : D'atomes.	RM	
402 – Thibaut : Des atomes de plante.	RE- RM	
404 – Clémence : Il faudrait savoir de quoi est faite la plante, quelle est la matière de la plante.	Pb	
405 – Alexandre : Quelle est la composition de la plante ? Bah oui en fonction des éléments, des atomes qui la compose.	Pb	

Le lien est fait entre la photosynthèse solution possible à la nécessité d'un mécanisme qui permet l'entrée de dioxyde de carbone de carbone grâce à la lumière et la fabrication de la matière de la plante. Quelques élèves développent une explication qui fait intervenir des transformations de la matière. Alexandre est le seul élève à le formuler de façon explicite,

même si ce sont les interventions d'autres élèves qui permettent à Alexandre de progresser dans son argumentation (tableau 11).

Ces différents éléments d'analyse nous permettent de construire l'espace de contraintes en jeu dans cet extrait de débat, présenté à la figure 2.

Figure 2. Espace des contraintes en jeu dans la deuxième partie du débat, lors de présentation de l'affiche D



Après avoir mis en évidence un ensemble de contraintes, et après avoir vécu de nombreux désaccords quant aux besoins de la plante, notamment par rapport à la respiration, les élèves réussissent à identifier ce qu'ils doivent chercher pour pouvoir avancer dans la problématisation de la nutrition des végétaux :

404 – Clémence : Il faudrait savoir de quoi est faite la plante, quelle est la matière de la plante.

405 – Alexandre : Quelle est la composition de la plante ? bah oui en fonction des éléments, des atomes qui la compose.

Maintenant, il reste à pointer certains éléments qui sont intervenus dans la dynamique de la problématisation.

■ 3.4. Discussion

Deux éléments qui interviennent dans la dynamique du débat seront discutés ici : le rôle de la respiration et celui des registres explicatifs

- 3.4.1. *Le rôle de la respiration dans la construction de ce problème*

Les élèves ont pointé, à partir de leurs désaccords, le fait que la respiration posait problème (tableau 13).

Tableau 13. Le problème de la respiration

355 – Prof : Est ce que je mets besoin de O ₂ ?	
356 – Damien : Oui.	RMd
357 – Florian : Non, puisqu'elle le rejette.	RMc
359 – Damien : Si elle en absorbe c'est qu'elle en a besoin.	RMc
360 – Nicolas : Ben non si elle le rejette le O ₂ elle en a pas besoin.	RMc
365 – Thibaut : Qu'est ce que la respiration.	Pb
367 – Blaise, Florian : Nan, quand y a-t-il besoin d'O ₂ .	Pb
369 – Alexandre : La plante a-t-elle besoin d'O ₂ pour grandir.	Pb

Thibaut, Blaise et Florian tâtonnent dans leur questionnement et c'est Alexandre qui thématise le problème du rôle de la respiration dans la croissance de la plante.

Dans le débat analysé, les échanges gazeux de la respiration gênent la problématisation des élèves par rapport aux échanges gazeux de la photosynthèse, ce qui est visé par la professeure. Le besoin de dioxygène associé à la respiration apparaît dès la première intervention du débat. Quand l'idée d'un besoin de dioxyde de carbone émerge, il va y avoir quelques hésitations, puis il y aura une sorte d'accord pour dire qu'il y a besoin des deux (interventions 160 à 163). Par contre, au moment où il va falloir associer à certains échanges gazeux une fonction biologique, et les conditions dans lesquelles ce mécanisme se produit, la confusion et les désaccords seront importants. De plus, au début du débat, les élèves associent la photosynthèse à la production de chlorophylle (qui permet à la plante d'être verte), ce qui va les amener, pour justifier les deux types d'échanges gazeux, à faire fonctionner la respiration « dans les deux sens ». Le débat se poursuit sans que le problème de la respiration ait pu être mis de côté. Il réapparaîtra plusieurs fois au cours du débat, avec les mêmes confusions et désaccords. Ce n'est qu'en 369 qu'Alexandre formulera une question permettant de séparer respiration et photosynthèse.

- 3.4.2. *L'influence des différences de registres explicatifs entre les élèves.*

L'analyse du débat permet de mettre en évidence que la plupart des élèves se trouvent, dans un premier temps, sur un registre explicatif de type Ea :

1. Florian : à la base les racines de la plante c'est les sels minéraux et l'eau et la Terre, ce qui sert à la plante à respirer c'est l'oxygène et pour l'entretien de la plante et sa floraison c'est la lumière du soleil.
2. Prof : demande d'explication : à quoi ça sert la lumière du soleil ?
3. Florian : pour l'entretien de la plante, pour l'aider à garder sa couleur et à fleurir.
4. Prof : qu'est ce que vous avez mis d'autre ? L'oxygène ?
5. Florian : ça lui sert à respirer
6. Prof : les sels minéraux et l'eau ça sert à quoi ?
7. Florian : à la faire pousser, l'eau c'est ce qu'elle a besoin pour vivre.
9. Florian : L'eau monte par les tiges.

Florian se trouve bien dans un registre de type Ea, où l'eau, les sel minéraux, et la terre, la lumière du soleil, sont nécessaires au bien être de la plante (pour son « entretien »), mais il n'y a pas d'indication sur leur devenir. Au mieux il précise en 9 que l'eau entre et circule dans le végétal. Il en est de même pour Thibaut, qui convoque un certain nombre de substances nécessaires, qui pour certaines semblent pénétrer dans le végétal mais sans explication supplémentaire :

15. Thibaut : Alors là il y a le soleil donc la plante a besoin de lumière, il y a de l'eau pour nourrir la plante pour qu'elle grandisse, là il faut qu'il y ait assez de place pour les racines sinon elle ne peut pas se développer, la plante prend du CO₂ et rejette de l'O₂, et il y a un peu d'eau qui est récupérée en petite quantité pour se glisser dans les racines, et apparemment c'est tout.

84. Thibaut : en fait il y a de l'O₂ et du CO₂ qui rentrent, et l'O₂ est rejeté.

De même pour Pauline il est évident que l'eau est un besoin, pour que la plante soit dans de bonnes conditions, mais elle n'explique pas pourquoi l'eau serait nécessaire pour la croissance de la plante :

28. Prof : comment l'eau fait elle pour faire grandir la plante ?

29. Pauline : ben si elle a pas d'eau c'est comme nous quoi, je veux dire, bah voila elle se dessèche.

On peut néanmoins considérer qu'une partie de ces élèves, dans un premier temps sur un registre explicatif de type Ea, réussit à évoluer jusqu'à un registre explicatif de type Eb. Si on reprend l'exemple de l'eau :

117. Prof : Autrement, l'eau qu'est ce qu'elle devient à l'intérieur de la plante, à quoi sert-elle pour vous ?

118. Camille : Bonne question...

119. Blaise : Ben elle se transforme et elle monte dans les tiges.

120. Prof : Qu'est que ça apporte l'eau, de plus là ?

121. Damien : ça se mélange avec la sève.

À ce moment, plus avancé du débat, apparaissent des idées de transformation et de mélange de l'eau à l'intérieur de la plante. Même si ces idées ne sont ni argumentées ni approfondies, cela marque tout de même une évolution du type d'explication qui pourra, à terme, s'inscrire dans un registre de type Eb. On retrouve également, dans les interventions suivantes, l'idée d'une production d'une substance (la chlorophylle) à l'intérieur de la plante :

95. Blaise : [...] La plante a besoin de photosynthèse... a besoin de... non de la lumière du soleil pour produire de la chlorophylle, et donc la plante devient verte, parce que s'il n'y pas de lumière qui arrive sur la plante elle reste blanche.

170. Blaise : La photosynthèse c'est la lumière qui arrive sur la plante et qui fait verdier la plante qui produit de la chlorophylle.

183. Maxime : [...] Elle produit de la chlorophylle grâce aux rayons du soleil et le soleil aide au développement de la fleur donc la chlorophylle c'est la photosynthèse.

Alexandre se trouve sur un registre explicatif de type Ec. Quant à Blaise, il est difficile de l'inscrire dans registre explicatif précis, il semble le plus souvent se situer en Ea ou Eb mais ses questions montrent qu'il ne semble pas satisfait par ces modèles explicatifs :

43. Blaise : ben à quoi ça sert, c'est quoi le rôle du CO ₂ ?
45. Blaise : pourquoi est-ce qu'ils ont besoin de CO ₂ et nous on a besoin d'O ₂ , pourquoi et comment ils font pour rejeter de l'oxygène ?
109. Blaise : nous on respire, on absorbe de l'oxygène et on rejette du dioxyde de carbone.
110. Prof : d'accord, la plante là tu lui fais absorber du dioxyde de carbone ?
111. Blaise : oui.
112. Prof : à quoi il sert le dioxyde de carbone dans la plante.
113. Blaise : Bonne question.

C'est également le premier à proposer l'idée de gain de matière en réponse à la question sur ce que signifie la plante grandit :

103. Blaise : plus de matière.
156. Prof : La plante elle est verte mais est ce que c'est fait pour faire joli ou est ce que ça a une fonction ?
157. Blaise : ... ça doit avoir une fonction quand même...

Bien que son registre explicatif de base semble être en Ea ou Eb, on ne peut pas affirmer qu'il soit cantonné à ce registre explicatif. Il fait preuve d'ouverture et est capable de se questionner, de mettre en doute certaines de ses affirmations d'un registre explicatif peu évolué. Il semble conscient, et insatisfait, de la limite des explications que peut lui fournir son registre explicatif. Il se situe en quelque sorte entre les registres Eb et Ec, Damien semble également dans cette situation. À partir de ces deux exemples (Blaise et Damien), il nous semble possible de dire qu'un élève, impliqué dans un débat, peut s'inscrire dans des registres explicatifs différents. De plus, Blaise et Damien, ont souvent permis, en donnant juste un terme de vocabulaire par exemple, (interventions 400 puis 405), à Alexandre de reformuler une idée de façon plus précise dans le registre explicatif Ec.

Ainsi, le partage d'un même registre explicatif, ne semble pas indispensable à la réalisation d'un débat problématisant, alors qu'Orange (2000) en faisait une condition nécessaire à la problématisation¹³⁷. Ce résultat recoupe des travaux plus récents sur cette question (Ménard & Pineau, 2006 ; Beorchia & Lhoste, 2007). Par exemple, si on reprend les interventions finales 404 et 405 :

404. Clémence : il faudrait savoir de quoi est faite la plante, quelle est la matière de la plante.
405. Alexandre : quelle est la composition de la plante ? bah oui en fonction des éléments, des atomes qui la compose.

Il est probable que ces deux propositions soient compréhensibles par l'ensemble de la classe, et qu'elles constituent une bonne question de recherche pour entamer une démarche

¹³⁷ C'est selon lui une condition « pour que les savoirs visés leurs soient accessibles comme savoir raisonnés » (Orange, 2000).

d'investigation dans les séances à suivre. Néanmoins est-ce que l'ensemble des élèves fait le lien entre la question de départ « De quoi la plante a-t-elle besoin pour grandir, pour pousser ? » et cette nécessité de connaître la composition chimique de la matière de la plante pour savoir de quels éléments la plante a nécessairement besoin pour grandir ? Ce sera donc à l'enseignant de veiller à ce que tout le monde puisse faire le lien avant de poursuivre.

Après avoir identifié les deux problèmes construits par les élèves lors de la phase de débat scientifique, nous allons chercher à identifier des éléments qui peuvent limiter la problématisation des élèves.

4. Les obstacles à la compréhension de la nutrition des végétaux

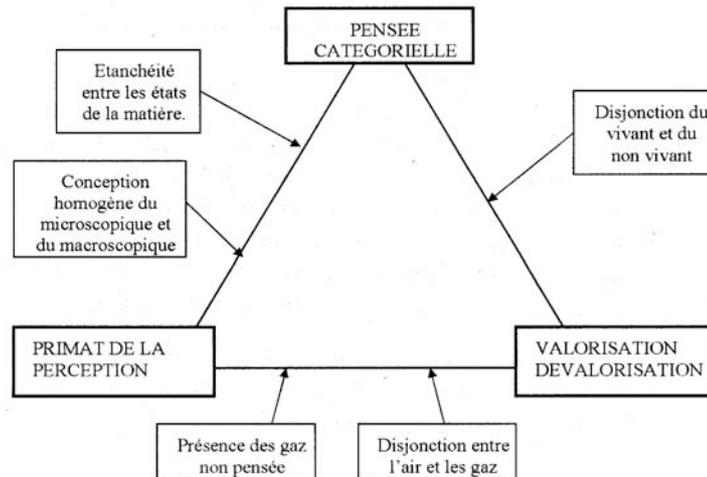
Cette section vise à remettre en question, à la suite de Peterfalvi (2005, 2006), les liens entre problématisation

et travail de l'obstacle, l'hypothèse de travail est la suivante : la manifestation d'obstacles dans les moments de débats scientifiques en classe pourrait venir contraindre le processus de problématisation. Pour pouvoir tenter cette première articulation, il convient de déterminer comment se manifestent, dans les propos des élèves, certains obstacles, déjà identifiés par Goix (1996) et Peterfalvi (2001), à propos de la nutrition des végétaux et des transformations de la matière.

Le principal obstacle qui se pose aux élèves pour construire la notion d'autotrophie est l'accession au concept de transformation de matière. C'est un obstacle récurrent autour des phénomènes de nutrition. Sous ce concept de transformation de matière, se cache un certain nombre d'obstacles sous-jacents propres au cas précis du métabolisme autotrophe des végétaux chlorophylliens. Ces obstacles sont autant de barrières qui empêchent les élèves d'accéder au concept de transformation de matière. Peterfalvi (2001) s'est attachée à définir et à classer ces obstacles sous-jacents. L'un de ces obstacles, parmi les plus importants, semble être la non prise en compte des gaz comme matière. Le gaz concerné ici est le dioxyde de carbone.

Pour ce qui est des autres obstacles, outre celui de la considération des gaz comme matière, Peterfalvi parle d'un nœud d'obstacles, transversaux à la physique-chimie et à la biologie, régulièrement rencontrés au sujet de la nutrition des végétaux. Ils sont représentés de façon schématique dans le triangle d'obstacles de la figure 3.

Figure 3. Triangle des obstacles liés au thème de la nutrition des végétaux (Peterfalvi, 2001)



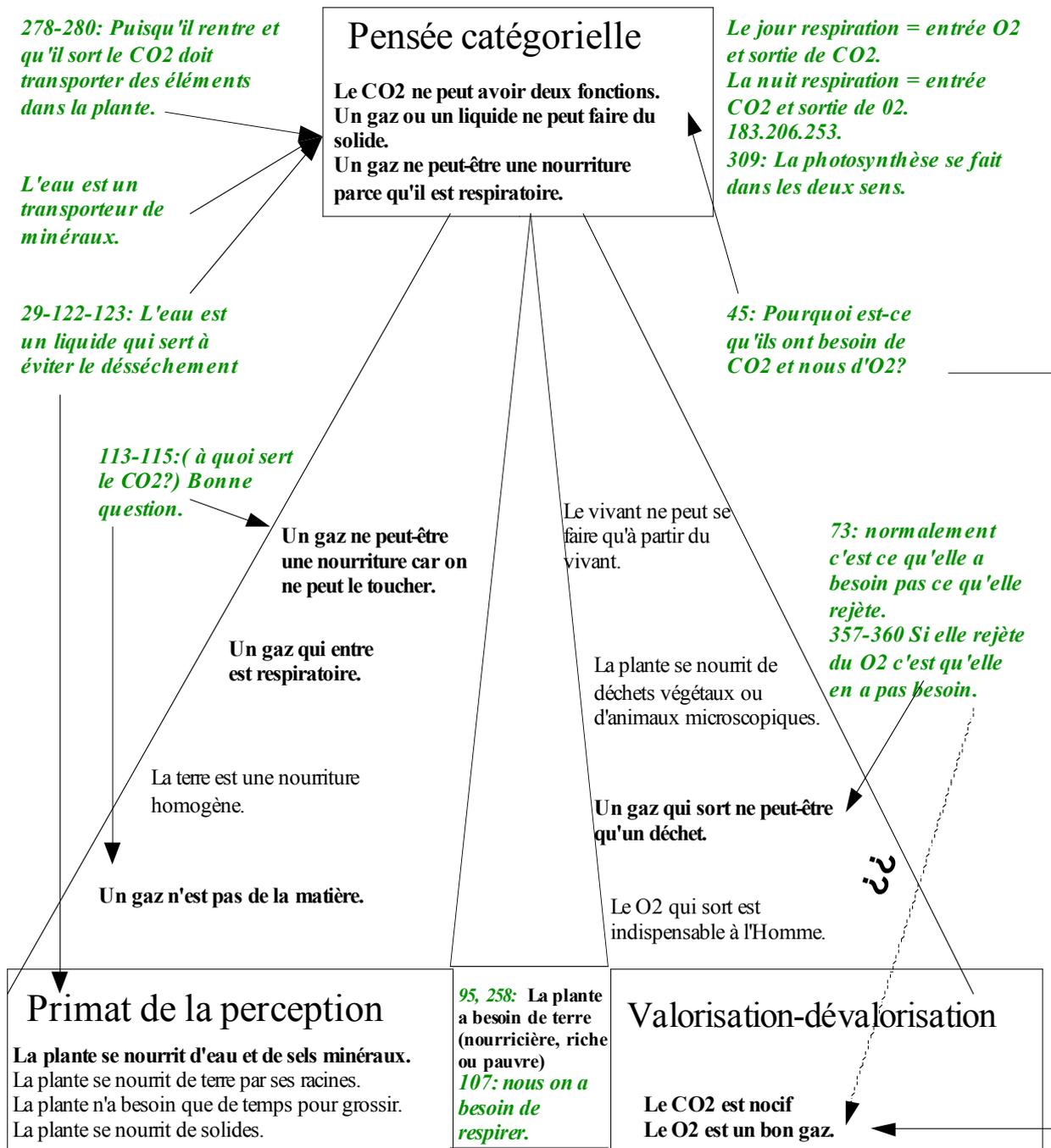
À chaque sommet se trouve un mode de pensée :

- « -le primat de la perception : signifie qu'on se réfère plus naturellement aux aspects "sensibles", que l'on perçoit, de la réalité ;
- la valorisation : dans ce mode de pensée on a tendance à privilégier le vivant par rapport au non-vivant ou attribuer aux phénomènes biologiques des "vertus" qui leur sont étrangères, qui fait concevoir de façon différente l'air et les gaz ;
- la pensée catégorielle : oppose deux entités antagonistes sur le mode binaire, comme le vivant et le non-vivant, ou les gaz et les autres états de la matière, ce mode de pensée introduit une rigidité et s'oppose en cela à l'idée de transformation » (Peterfalvi, 2001).

Chacun de ces modes de pensée est une source potentielle d'obstacles. Il est à noter que Peterfalvi (2001) a choisi de ne pas prendre en compte dans son étude les problèmes liés aux aspects énergétiques, considérant que ceux liés à la conservation de la matière sont déjà suffisamment complexes.

Pour identifier les obstacles à la problématisation sur la nutrition des végétaux, Peterfalvi (2001) a reporté un ensemble de formulations d'élève, de collègue et de seconde, dans son triangle des obstacles. Nous avons procédé de la même façon avec certaines interventions d'élèves issues du débat réalisé en classe de seconde. Toutes ces interventions sont reportées dans la figure 4, avec leur numéro au sein du débat.

Figure 4. Triangle des obstacles autour des transformations de matière, avec l'exemple de la nutrition des végétaux



3: Le soleil sert à garder la couleur de la plante.
95, 183, 155: Le soleil permet à la plante d'être verte (grâce à la photosynthèse).
1, 15: La plante se nourrit d'eau et de sel minéraux, contenus dans la Terre.

La lumière est bonne pour la plante.

En caractère normal, regroupement de formulations de conception d'élèves de collège et de seconde, issu de la thèse de B. Peterfalvi.

En gras les conceptions qu'on retrouve dans mon débat directement ou après interprétation .

En italique, formulation de conceptions d'élèves, issu du débat réalisé dans ma classe de seconde.

Cette analyse met notamment en évidence un obstacle lié à la pensée catégorielle qui empêche de penser qu'un gaz ou un liquide puisse donner du solide. Ainsi les élèves tentent de trouver à l'eau et au dioxyde de carbone des fonctions autre que nutritives, comme le transport d'éléments ou de minéraux par exemple. Ce mode de pensée va également à l'encontre de l'idée de deux mécanismes qui ont lieu en même temps et dont le bilan chimique global est symétriquement inverse pour ce qui est de l'échange gazeux. Ceci conduit à faire fonctionner la photosynthèse (ou la respiration) dans les deux sens, ou à faire fonctionner un mécanisme la nuit et l'autre le jour, mais pas ensemble. L'obstacle de la pensée catégorielle est lié dans le cas présent à un raisonnement séquentiel « *synchrétisme de temps et de causalité, (...) obstacle à la compréhension du fonctionnement des systèmes complexes* » (Orange & Orange, 1995, p. 47).

On peut également identifier un obstacle lié au primat de la perception : avec le soleil qui sert à faire verdier la plante, et qui ne peut donc pas être pensé comme une source d'énergie nécessaire pour une transformation de matière. Des obstacles liés à l'association de ces deux derniers modes de pensée peuvent être identifiés. La satisfaction de l'idée de conservation des états de la matière avec l'exemple de la plante qui se nourrit de sels minéraux issus du sol, donc de solide. Ceci permet également d'exclure les gaz du raisonnement sur la nutrition.

Des obstacles liés à la valorisation-dévalorisation semblent être peu intervenus dans ce débat : l'idée du dioxygène comme « bon gaz » (puisque nous en avons besoin) et du dioxyde de carbone comme un déchet (un mauvais gaz). Ces principes de valorisation-dévalorisation apparaissent probablement plus nettement chez des élèves plus jeunes, notamment au collège, où Peterfalvi (2001) a également effectué ses relevés de données.

On peut mettre en relation les différents registres explicatifs auxquels appartiennent les élèves avec le nœud d'obstacles transversaux mis en évidence par Peterfalvi. En effet, il nous semble que certains obstacles sont à l'origine d'une difficulté de passer d'un registre explicatif à un autre. Certains obstacles correspondent à des modes de raisonnement valides dans un registre explicatif, mais qui ne sont pas pertinents dans un autre. De plus, les obstacles peuvent également inciter les élèves à prendre en compte des éléments du registre empirique qui ne font pas partie du problème à construire, les orientant ainsi vers des fausses pistes.

Les obstacles peuvent ainsi empêcher les élèves de construire le problème de la nutrition des végétaux, processus physiologique lié au concept de transformation de matière et à la considération des gaz comme source de matière. Ces premiers éléments nécessitent des recherches complémentaires afin de croiser ce qui relève de la manifestation d'obstacles identifiés dans les propos des élèves avec le processus de problématisation. En effet, il nous semble que réfléchir sur les relations entre les obstacles repérés et le passage d'un registre explicatif à un autre pourrait éclairer les liens entre obstacles et problématisation.

5. Conclusion

Les analyses que nous venons de faire correspondent à un premier travail qui pourrait permettre de remettre la

question des obstacles au cœur du processus de problématisation. Dans les situations proposées et analysées ici, le débat scientifique a permis de construire deux problèmes qui relèvent de deux registres explicatifs différents. Cela rejoint les résultats obtenus par Orange (2000) à un même niveau de scolarité et sur un même objet d'étude. La question qui reste posée concerne les conditions du passage d'un registre explicatif à l'autre.

Un élève, comme Blaise, qui passe successivement, au cours du débat, d'un registre explicatif à l'autre pourrait avoir un rôle important à jouer dans le développement de la problématisation (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009). Nos résultats sur ce point précis sont différents de ceux d'Orange (2000) mais se rapprochent de travaux plus récents de l'équipe de didactique des SVT du CREN, université de Nantes (Ménard & Pineau, 2006 ; Beorchia & Lhoste, 2007).

Ce passage d'un registre explicatif à l'autre réintroduit également la question des obstacles et de la rupture dans un apprentissage par problématisation. La première tentative réalisée ici, s'appuyant sur les travaux de Peterfalvi (2001), nous a permis de retrouver, dans les propos des élèves pendant le débat scientifique, les traces de la manifestation d'un nœud d'obstacles autour du concept de transformation de la matière. Il reste à réussir à articuler le processus de construction de problèmes scientifique et de travail des obstacles, ce qui nécessite de nouvelles recherches.

Bibliographie

Astolfi J.-P. & Peterfalvi B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, n° 25, p.193-216. Disponible sur Internet : <http://irevues.inist.fr/handle/2042/8551>.

Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

Beorchia F. & Lhoste Y. (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherche en Éducation*, n° 3, p. 29-50. Disponible sur Internet : <http://www.cren-nantes.net/spip.php?article60>.

Deleuze G (1968). *Différence et répétition*. Paris : PUF.

Fabre M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.

France : Ministère de l'Éducation nationale (1999). Sciences de la vie et de la Terre. Classe de seconde. Nouveau programme applicable à compter de l'année scolaire 2000-2001. *BOÉN*, n° 6 Hors-série, du 12 août 1999, p. 25-28.

Goix M. (1996). *Les concepts de croissance et de développement en biologie. Obstacles et représentations chez des élèves de collège. Propositions de situations didactiques*. Thèse de doctorat, université Paris VII.

Goix M. (1997). Grandir, oui mais comment ? *Aster*, n° 24, p. 141-170. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8550>

Jacob F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.

Larochelle M. & Désautels J. (1992). *Autour de l'idée de science*. Laval : Bruxelles : De Boeck.

Ménard I. & Pineau V. (2006). La respiration humaine au cycle 3 : Problèmes construits et registres explicatifs mobilisés par les élèves dans le débat scientifique. *Aster*, n° 42, p. 109-134.

Orange C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.

- Orange C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer des représentations ou construire des raisons ? In *Actes des premières journées de l'ARDIST*, Cachan, p. 88-93. Disponible sur Internet : <http://www.aix-mrs.iufm.fr/ardist/>.
- Orange C. (2000). Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, n° 1, p. 25-41.
- Orange C. & Orange D. (1995), Géologie et Biologie: analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, p. 27-49. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8540>.
- Orange C., Lhoste Y. & Orange-Ravachol D. (2009). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Plantin & C. Buty (Dir.). *L'argumentation en classe de sciences*. Lyon : INRP.
- Peterfalvi B. (2001). *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations : l'exemple des transformations de la matière*. Thèse de doctorat en sciences de l'Éducation non publiée, université de Rouen, Rouen.
- Peterfalvi B. (2005). Travail sur les obstacles et problématisation, quels apports réciproques. *73^e congrès de l'ACFAS*, Chicoutimi, Québec, mai 2005.
- PETERFALVI B. (2006). Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (dir.). *Situations de formation et problématisation*. Bruxelles : De Boeck, p. 91-106.
- Popper K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier.
- Rumelhard G. (1993). Enseignement et apprentissage de la causalité en biologie. *Les Sciences de l'Éducation pour l'ère nouvelle*, n° 4-5.
- SCHNEEBERGER P. (2002). Des controverses scientifiques en CE2. *Les cahiers pédagogiques*, n° 401, p. 49-51.

Annexe 1. Retranscription complète du premier débat avec classement des interventions suivant les registres et les contraintes mis en jeu

Remarque : les raisonnements par analogie seront classés en RMc, comme pour l'intervention 107 par exemple. L'annotation « Pb » est attribuée à des interventions où les élèves posent un problème.

N°	Intervenant	Texte de l'intervention	Registre	Contrainte
Présentation affiche groupe A (Mélodie, Florian, Nicolas)				
1	Florian	à la base les racines de la plante c'est les sels minéraux et l'eau et la Terre, ce qui sert à la plante à respirer c'est l'oxygène et pour l'entretien de la plante et sa floraison c'est la lumière du soleil.	RE RMf RMf	CE
2	Prof	demande d'explication : à quoi ça sert la lumière du soleil ?		
3	Florian	pour l'entretien de la plante, pour l'aider à garder sa couleur et à fleurir.	RMf	
4	Prof	qu'est ce que vous avec mis d'autre ? L'oxygène ?		
5	Florian	ça lui sert à respirer	RMf	
6	Prof	les sels minéraux et l'eau ça sert à quoi ?		
7	Florian	à la faire pousser, l'eau c'est ce qu'elle a besoin pour vivre.	RE	CE-CM
8	Prof	comment ça fonctionne ?		
9	Florian	L'eau monte par les tiges.	RMd	
10	Prof	et ensuite ?		
11	Florian	puis elle va dans les feuilles	RMd	
12	Prof	qu'est ce que cela veut dire la plante grandit ?		
13	Florian	Elle prend du volume, de la taille, elle se développe au niveau des fleurs.	RE	CE
Demandes d'explications, questions des autres élèves du groupe 1 sur l'affiche A:				
14	Prof	(décrit l'affiche pour ceux qui sont trop loin pour voir correctement) Pas de questions des élèves.		
Présentation affiche groupe b (Nicolas C, Thibaut, Pauline, Jessica, Roxanne)				
15	Thibaut	Alors là il y a le soleil donc la plante a besoin de lumière, il y a de l'eau pour nourrir la plante pour qu'elle grandisse, là il faut qu'il y ait assez de place pour les racines sinon elle ne peut pas se développer, la plante prend du CO2 et rejette de l'O2, et il y a un peu d'eau qui est récupérée en petite quantité pour se glisser dans les racines, et apparemment c'est tout.	RE-RM	CE-CM
16	Prof	demande d'explications : pourquoi la plante a besoin de CO2 ? (Peuvent répondre seulement les élèves qui ont produit cette affiche)		
17	Nicolas	elle a besoin du carbone.	RMd	
18	Prof	Pourquoi faire ?		
19	Nicolas	Pour grandir.	RMf	
20	Prof	Comment ?		
21	Nicolas	...		
22	Prof	Donc ton hypothèse Nicolas ce serait que la plante a besoin du carbone ?		
23	Nicolas	oui.		
24	Prof	L'eau elle sert à quoi ?		
25	Nicolas	bah pareil.		
26	Prof	c'est-à-dire ?		
27	Nicolas	pour grandir.	RMd	
28	Prof	comment l'eau fait elle pour faire grandir la plante ?		
29	Pauline	ben si elle a pas d'eau c'est comme nous quoi, je veux dire, bah voilà elle se dessèche.	RE-RM	CE-CM
30	Prof	Est ce que l'eau sert à faire pousser la plante ?		
31	Nicolas	Oui.		
32	Pauline	à faire grandir les racines qui eux font pousser la plante.	RMf	
33	Prof	donc est ce que l'eau permet à la plante de ne pas sécher ou est ce qu'elle permet à la plante de grandir ?		
34	Pauline	les deux.		

35	Prof	D'accord... autrement qu'est ce que ça veut dire la plante grandit ?		
36	Pauline	Elle se développe.	RE	CE
37	Prof	oui, ça veut dire qu'elle se développe...Nicolas tu n'avais pas dit autre chose tout à l'heure ?		
38	Nicolas	non.		
39	Pauline	elle se nourrit.	RE	CE
40	Thibaut	elle a plus besoin de chose, suivant le moment de son développement.	RMf	
Demandes d'explications, questions des autres élèves du groupe 1 sur l'affiche B :				
41	Blaise	bah le rôle du CO2 quoi ?		
42	Prof	Alors qu'est ce que tu as comme question Blaise ?		
43	Blaise	ben à quoi ça sert, c'est quoi le rôle du CO2 ?		
44	Prof	A quoi sert le CO2 ?		
45	Blaise	pourquoi est ce qu'ils ont besoin de CO2 et nous on a besoin d'O2, pourquoi et comment ils font pour rejeter de l'oxygène ?	RMc	CE
46	Maxime	et c'est quoi les petites flèches noires ? C'est la sève qui monte ?		
47	Thibaut	ça veut dire que la plante grandit, elle pousse.	RMd	
48	Prof	est ce que c'est ça que ça veut dire les flèches ?		
49	Jessica	ça veut dire que l'eau elle, euh...		
50	Prof	ça veut dire que l'eau monte ?		
51	Fille	euh non, ça veut dire qu'elle grandit		
52	Prof	Vous avez voulu symboliser la croissance ?		
53	Fille	oui.		
54	Prof	Est-ce que quelqu'un a une autre question ? Bon alors maintenant on va passer à la comparaison des affiches a et b, tout le monde peut intervenir.		
Comparaison des affiches A et B :				
55	Prof	On compare les affiches a et b, qu'est qu'il y a de différent entre les deux		
56	Alexandre	ben il y a des éléments en plus et des éléments en moins.	RMd	
57	Prof	Alors qu'est ce qu'on a en plus Alexandre ?		
58	Alexandre	euh la pluie sur l'affiche b.	RMd	
59	Prof	Alors la pluie c'est quoi c'est l'eau ?		
60	Alexandre	ben oui.		
61	Prof	Est-ce qu'ils avaient mis de l'eau ici ?		
62	Alexandre	Non... oué mais dans les racines.		
63	Prof	si ils l'avaient mis.		
64	Mélo die	si on l'a mis.		
65	Prof	ici (montre affiche b) on a du CO2 qui rentre, et ici (montre affiche a) on en a pas.		
66	Thibaut	en fait je pense qu'il y a les deux.	RMd	
67	Prof	donc on a le CO2 en plus ici (affiche b). (le note sous l'affiche)		
68	Prof	qu'est ce qu'il y a de différent ? Si quelqu'un veut venir voir de plus près ?		
69	Thibaut	ça rejette de l'O2	RMf	
70	Prof	là on a rejet d'O2 qu'on a pas ici, d'accord.		
71	Thibaut	Je pense qu'il y a les deux du CO2 et de l'O2.	RMd	
72	Prof	Pour l'instant on ne voit pas ça sur ces deux affiches là.		
73	Florian	Madame normalement c'est ce qu'elle a besoin la plante, c'est pas ce qu'elle rejette.	RMc	CE
74	Prof	bah oui, mais pour l'instant on fait les différences entre les affiches, mais je veux bien le mettre entre parenthèse (le rejet), si vous voulez.		
75	Prof	Autrement, autre comparaison, autre différence ? Est ce que vous faisiez apparaître le soleil dans vos explications (au groupe de l'affiche a) ?		
76	Damien	bah là.	RMd	
77	Prof	oui ? Donc là vous avez oubliez de le mettre sur votre affiche.		
78	Damien	ben si il est sur le côté, je le vois d'ici		
79	Prof	ah d'accord, lumière du soleil, ok.		

80	Prof	Est ce que vous voyez des différences encore entre vous, ou des points communs ?		
81	Prof	vous êtes d'accord sur quoi là ?		
82	Thibaut	moi je suis d'accord sur l'oxygène.	RMd	
83	Prof	qu'est ce qu'elle fait l'oxygène qu'est ce qu'elle fait? Ici elle entre (montre affiche a), ici elle sort (montre affiche b)		
84	Thibaut	en fait il y a de l'O2 et du CO2 qui rentrent, et l'O2 est rejeté.	RMf	
85	Prof	Donc ça on va voir après parce que là c'est pas sur ces affiches là.		
86	Prof	...lumière du soleil...		
87	Prof	Par contre on est d'accord sur...		
88	Prof	Donc je vais mettre ici (sur le tableau de gauche) ce sur quoi on est d'accord.		
89	Thibaut	il y a au moins de l'oxygène soit qui rentre soit qui ressort.	RMf	
90	Prof	On est d'accord sur la lumière du soleil, sur quoi d'autre on est d'accord dont la plante a besoin.		
91	Damien	le sol... l'humidité du sol, l'eau dans le sol.	RE	CE
92	Prof	plus simple...		
93	Damien	l'eau tout court.	RE	CE
94	Prof	de quoi d'autre a-t-elle besoin sur lequel vous êtes d'accord, pour l'instant? C'est à peu près tout.		
Présentation affiche groupe C (Damien. Camille. Blaise)				
95.1	Blaise	Donc la plante a besoin de soleil pour grandir, d'oxygène et de dioxyde de carbone, euh ...	RMd	
95.2	Blaise	il faut qu'elle se trouve dans le sol, de la terre ou un autre élément dans lequel la plante peut pousser,	RE	CE
95.3	Blaise	elle a besoin d'eau particulièrement dans le sol parce que en fait l'eau sur les feuilles s'écoule le long de la plante et elle arrive dans la terre et les racines absorbent l'eau,	RMd	
95.4	Blaise	la lumière du soleil ...fait... produit la photosynthèse, donc c'est pour ça que la plante est verte, la photosynthèse permet à la plante d'être verte parce que si la plante ne reçoit pas de lumière elle est blanche. La plante a besoin de photosynthèse...a besoin de... non de la lumière du soleil pour produire de la chlorophylle, et donc la plante devient verte, parce que s'il n'y pas de lumière qui arrive sur la plante elle reste blanche.	RE-RM	CE-CM
96	Prof	autre besoin, tu as tout dit là ?		
97	Blaise	Donc euh... le sol doit être humide aussi.	RE	CE
98	Prof	qu'est ce que ça veut dire la plante grandit, la plante croit, pour vous ?		
99	Damien	Elle grandit en hauteur, en largeur, des feuilles plus larges pour qu'elle puisse recevoir plus de lumière.	RE-RM	CE
100	Blaise	plus de tiges...	RE	CE
101	Prof	plus de...quoi...		
102	Damien	plus de tout, point barre !		
103	Blaise	plus de matière.	RE	CE
104	Prof	donc vous faites entrer de l'oxygène et du dioxyde de carbone à l'intérieur de la plante, c'est ce que je vois là, à quoi ça sert ça ?		
105	Blaise	l'oxygène et le dioxyde de carbone ça lui permet de vivre.	RMf	
106	Prof	Qu'est ce que ça veut dire ?		
107	Blaise	par exemple nous on a besoin de respirer.	RMc analogie	CM
108	Prof	d'accord, alors on respire quoi ?		
109	Blaise	nous on respire, on absorbe de l'oxygène et on rejette du dioxyde de carbone.	RE	CE
110	Prof	d'accord, la plante là tu lui fais absorber du dioxyde de carbone ?		
111	Blaise	oui.	RMd	
112	Prof	à quoi il sert le dioxyde de carbone dans la plante.		
113	Blaise	Bonne question.		
114	Prof	Le groupe, vous pouvez compléter, à quoi sert le dioxyde de carbone dans la plante?		

115	Camille	...très bonne question.		
116	Prof	... vous n'avez pas de réponse ?		
117	Prof	Autrement, l'eau qu'est ce qu'elle devient à l'intérieur de la plante, à quoi sert-elle pour vous ?		
118	Camille	Bonne question...		
119	Blaise	Ben elle se transforme et elle monte dans les tiges.	RMf	
120	Prof	Qu'est que ça apporte l'eau, de plus là ?		
121	Damien	ça se mélange avec la sève.	RMf	
122	Blaise	Elle permet aux feuilles de ne pas se recroqueviller, de ne pas sécher.	RE-RM	CE
123	Camille	...de ne pas s'assécher	RE	CE
124	Prof	Est ce que l'eau ne sert qu'à éviter le dessèchement ou est ce qu'elle sert à la croissance de la plante.		
125	Damien	aussi à la croissance puisqu'elle apporte des éléments nécessaires à la croissance de la plante, des minéraux qu'il y a dans l'eau.	RE-RM	CE
126	Prof	tu penses que ce sont les minéraux qui permettent à la plante de grandir		
127	Damien	c'est une hypothèse.		
128	Prof	c'est une hypothèse, alors va plus loin, ... comment ça marche ?		
129	Prof	Alexandre tu ne dois pas intervenir pour l'instant, chacun son tour...		
130	Camille	ou alors tu le dis tout bas.		
131	Prof	non mais tu ne le dis pas du tout tu le diras tout à l'heure.		
132	Groupe	...		
133	Prof	On arrête là pour vous, c'est bon, vous n'avez rien à rajouter ?		
134	Damien	non.		
Demandes d'explications, questions des autres élèves du groupe 1 sur l'affiche C:				
135	Prof	Est-ce les autres vous avez des questions à leur poser ? Oui Thibaut.		
136	Thibaut	Expliquer le terme chlorophylle.		
137	Prof	Expliquer le terme chlorophylle...		
138	Damien	C'est ce qui permet la couleur verte à la plante.	RMd	
139	Prof	Damien tu dis que c'est ce qui donne la couleur verte à la plante ?		
140	Damien	oui.		
141	Blaise	comme dans le chewing-gum.		
142	Prof	Est ce que cela te satisfait comme question ?		
143	Damien	comme réponse.		
144	Prof	Comme réponse pardon.		
145	Thibaut	Et pourquoi elle donne cette couleur ?		
146	Damien	oh bon tu commence à nous souler... !		
147	Camille	mais parce que c'est comme ça Thibaut !		
148	Alexandre	Oh Thibaut t'es chiant !		
149	Prof	bon est ce que c'est intéressant par rapport à la nutrition de la plante ?		
150	Alexandre	ben on s'en fiche...	RMd	
151	Blaise	est ce qu'une plante peut vivre sans chlorophylle ?		
152	Damien	non.	RMd	
153	Blaise	Je pense que oui mais peut être pas aussi longtemps.	RMd	
154	Prof	à quoi ça sert la chlorophylle ?		
155	Blaise	A faire verdir la plante.	RMd	
156	Prof	La plante elle est verte mais est ce que c'est fait pour faire joli ou est ce que ça a une fonction ?		
157	Blaise	... ça doit avoir une fonction quand même...		
158	Thibaut	Sans couleur peut être qu'elle ne peut pas vivre.	RMd	
159	Prof	bon eh bien on verra tout à l'heure peut être... Quelqu'un à une autre question ? Pour aller un petit peu plus loin sur leur affiche ?		
Comparaison des affiches B et C.				
160	Thibaut	Dans la c ils disent qu'il y a de l'O2 et du CO2 qui arrivent.	RMd	
161	Prof	donc là il y a besoin d'O2 et de CO2.		
162	Thibaut	voilà.		

163	Damien	les deux.	RMd	
164	Prof	les deux, (note le résumé des besoins sous les affiches correspondantes, pour que tous le monde voit bien) et quoi d'autre ?		
165	Thibaut	c'est écrit quoi à gauche, avec les trois flèches sur la c ?		
166	Prof	ici c'est « lumière = photosynthèse »		
167	Thibaut	ben c'est pareil qu'en b...		
168	Prof	On vous a pas demandé Blaise, c'est quoi la photosynthèse ?		
169	Damien	Mais si on l'a dit plein de fois.		
170	Blaise	La photosynthèse c'est la lumière qui arrive sur la plante et qui fait verdier la plante qui produit de la chlorophylle.	RE-RM	CE-CM
171	Prof	D'accord, alors pour vous la photosynthèse c'est une production de chlorophylle (noté sous l'affiche).		
172	Damien	oui.		
173	Prof	Donc qu'est ce qu'on a de plus là sur l'affiche c ? Il y a toujours l'eau. De nouveau il y a besoin de CO ₂ et de O ₂ . (Noté sous l'affiche)		
Présentation affiche groupe D (Alexandra Alexandre Maxime Clémence)				
174	Prof	bon alors on vous laisse présenter la dernière affiche.		
175	Maxime	Alors la plante par les racines elle absorbe des éléments nutritionnels, des oligo-éléments, comme les nitrates, du phosphore.	RE-RM	CE
176	Prof	pourquoi vous ne l'avez pas noté sur l'affiche alors ?		
177	Maxime	je ne savais pas si c'était complètement utile.		
178	Prof	d'où ils viennent les éléments nutritionnels ?		
179	Maxime	De la terre.	RMd	
180	Prof	Donc dans le terre il y a des éléments nutritionnels, avec des nitrates et des oligo-éléments ? Et ça va servir à la nutrition de la plante ?		
181	Maxime	bah oui, bah quand même, ça dépend de la composition de la Terre.	RMd	
182	Prof	bon je te laisse continuer.		
183.1	Maxime	Elle absorbe de l'eau aussi par ses racines.	RE-RM	CE
183.2	Maxime	La plante elle respire, c'est différent du jour et de la nuit, le jour elle absorbe du CO ₂ et rejette de l'O ₂ et la nuit elle absorbe de l'O ₂ pour rejeter du CO ₂ .	RMf	
183.3	Maxime	Elle absorbe aussi de l'eau par les feuilles par la rosée le matin ou alors la pluie.	RE-RM	CE
183.4	Maxime	Elle produit de la chlorophylle grâce aux rayons du soleil et le soleil aide au développement de la fleur donc la chlorophylle c'est la photosynthèse	RE-RM	CE-CM
183.5	Maxime	Et puis il y a des montées de sève aussi pour la développer en grosseur, en épaisseur et en taille.	RMd	
184	Prof	D'accord, alors les membres de ce groupe est ce que vous voulez compléter quelque chose avant les questions ?		
185	Prof	qu'est ce que ça veut dire pour vous la plante grandit ?		
186	Maxime	Elle prend plus de place.	RE	CE
187	Alexandre	ben voila, elle peut se reproduire, et il y a des fleurs...	RE	(CE)
188	Prof	Est ce que ça à voir avec la croissance ?		
189	Damien	non.		
190	Maxime	Elle a atteint la maturité...euh....la maturité.	RMd	
191	Prof	alors est ce que tu te souviens de la différence entre croissance et développement ? On avait vu ça ? (Allusion au chapitre vu sur le développement embryonnaire du programme) Alors là on est sur la croissance : on cherche ce dont la plante a besoin pour grandir. Alors est ce que la reproduction intervient là dedans ?		
192	Damien	Après.		
193	Prof	attend c'est au groupe de l'affiche d de répondre.		
194	Prof	Donc qu'est ce que cela veut dire la plante grandit, quelle est votre réponse ?		
195	Alexandre	comme les autres groupes.		
196	Maxime	et la maturité pour qu'elle puisse se reproduire...	RMd	
197	Prof	D'accord...		

198	Prof	Alors ici vous fêtes rentrer du CO2 et sortir du O2. Et c'est ça que vous appelez la photosynthèse ?		
199	Maxime	Non, ça c'est la respiration parce qu'en fait il y a deux mais c'est au milieu (allusion à l'affiche)	RMd	
200	Prof	Alors l'absorption de CO2 c'est quoi ? Est ce que ça correspond à la photosynthèse ?		
201	Maxime	c'est la respiration... c'est parce qu'on a mis les deux.	RMd	
202	Alexandre	non c'est la photosynthèse, si c'est la photosynthèse	RMc	
203	Prof	alors la photosynthèse c'est quoi ?		
204	Alexandre	C'est la production de chlorophylle et l'absorption de CO2 et le rejet d'O2.	RMd	
205	Prof	est ce que vous êtes d'accord ?		
206	Maxime	non moi je pense que l'absorption d'CO2 et le rejet d'O2 c'est que la respiration et la photosynthèse c'est ça (montre l'affiche)	RMd	
207	Prof	donc qu'est ce que c'est que la photosynthèse ? Est ce que vous pouvez vous mettre d'accord ?		
208	Maxime	production de chlorophylle.	RMd	
209	Prof	ça vous êtes d'accord avec ça ?		
210	Prof	alors c'est quoi absorption de CO2 rejet d'O2 c'est quoi ?	RMd	
211	Maxime	la respiration.		
212	Alexandre	c'est la photosynthèse.	RMd	
213	Prof	pour toi Alexandre ça c'est la photosynthèse ?		
214	Alexandre	en plus de la production de chlorophylle.	RMd	
215	Prof	alors je note et/ou puisque vous n'êtes pas d'accord si c'est les deux ou si c'est seulement... « Absorption de CO2 rejet d'O2 ». Et de l'autre côté tu as mis « absorption de O2 rejet de CO2 » qu'est ce que c'est ça ?		
216	Maxime	c'est la respiration.	RMd	
217	Prof	alors là est ce que vous êtes d'accord, pour la respiration ? ... Alors pour vous respiration c'est absorption de ... quoi ?		
218	Maxime	euh...d'O2 et rejet de CO2 ou alors euh...absorption de CO2 rejet d'O2.	RMd	
219	Prof	c'est-à-dire que pour toi la respiration ça peut être dans les deux sens		
220	Maxime	ça dépend du jour et de la nuit	RMf	
221	Prof	ça dépend du jour et de la nuit... est ce que vous êtes d'accord dans le groupe ? Est que la respiration peut fonctionner dans les deux sens ou est ce qu'elle ne fonctionne que dans un sens ?		
222	Alexandre	moi je pense qu'elle ne fonctionne que dans un sens.	RMd	
223	Prof	Alexandre pense qu'elle ne fonctionne que dans un sens.		
224	Alexandre	et de l'autre c'est la photosynthèse.	RMd	
225	Prof	Vous n'êtes pas en accord au sein de votre groupe, pourtant tout à l'heure vous étiez d'accord.		
226	Damien	Moi je suis d'accord avec le groupe d.		
227	Prof	Attendez, attendez pour l'instant vous n'intervenez pas. Autrement est-ce que vous avez fait intervenir l'eau, oui, donc ça c'est quelque chose sur lequel tout le monde est d'accord. Ensuite qu'est ce qu'il y a d'autre ?		
228	Thibaut	le soleil aussi	RE	CE
229	Prof	Les rayons du soleil vous êtes également d'accord.		
230	Prof	Les éléments nutritionnels, les minéraux, qui les avait mis autrement les minéraux ?		
231	Thibaut	Le groupe a.		
232	Damien	Nous on en a parlé des minéraux.	RE	CE
233	Prof	Minéraux, oligo-éléments, est ce qu'on va appeler ça de la même façon ?		
234	Alexandre	Eléments nutritionnels.	RE	CE
235	Prof	ceux qui viennent du sol à ce moment là ? C'est pas n'importe lesquels...		
236	Alexandre	oui.		
Demandes d'explications, questions des autres élèves du groupe 1 sur l'affiche D :				
237	Thibaut	Dans le jour elle absorbait de l'O2 pour rejeter du CO2.	RMd	
238	Prof	Donc pour lui le jour il y a absorption d'O2 et rejet de CO2.		

239	Alexandre	non c'est le contraire.	RMd	
240	Thibaut	le jour il y a quoi ?		
241	Alexandre	le jour il y a absorption de CO2 et rejet d'O2.	RMd	
242	Maxime	et la nuit le contraire.	RMd	
243	Thibaut	et pourquoi pas le contraire en fait?	RMc	
244	Maxime	parce que c'est comme ça.	RMd	
245	Thibaut	pourquoi la nuit elle ne ferait pas comme le jour ?	RMc	
246	Maxime	parce que la plante elle peut survivre elle-même.	RMf	
247	Prof	bon si on prend d'abord ici : absorber du CO2... absorber du O2, pardon, et rejeter du CO2 ça s'appelle comment ?		
248	Thibaut	la respiration.	RMd	
249	Prof	la respiration. Et est ce que la respiration ça peut être l'inverse ?		
250	Damien, Alexandre	non	RMd	
251	Maxime	expiration...	RM	
252	Prof	(souffle) nan mais la respiration, la respiration vous me dites c'est une absorption de O2 et un rejet du CO2.		
253	Blaise	et ça peut être aussi une absorption de CO2 et un rejet de O2.	RMd	
254	Alexandre	nan ça c'est la photosynthèse.	RMd	
255	Prof	est ce que vous êtes d'accord ? À Alexandre : toi tu dis non ça c'est la photosynthèse.		
256	Camille	oué moi aussi je dis ça.		
257	Elève x	nan, c'est l'inverse.		
258	Autre élève	Moi je sais pas je vote blanc.		
259	Prof	donc là on a un problème...la respiration, qu'est ce que c'est en gros, est ce que ça peut fonctionner dans les deux sens...et la photosynthèse ? La photosynthèse pour toi Alexandre c'est ?		
260	Alexandre	création de chlorophylle, absorption de CO2 et rejet de O2.	RMf	
261	Prof	est ce ça peut être l'inverse ?		
262	Alexandre	l'inverse c'est la respiration.	RMd	
263	Prof	donc pour toi c'est bien précis. Donc je note au tableau, qu'est ce que la respiration du point de vue des échanges gazeux. Et qu'est ce que la photosynthèse alors. Est-ce que tout le monde est d'accord sur ces questions ?		
264	Thibaut	pour le développement de la plante, il faut qu'il y ait dans la terre des nitrates... (Allusion à l'affiche D)	RE-RM	CE
265	Prof	c'était un exemple, il ne connaissait pas tous les noms, c'était une idée qu'il avait, nitrates par exemple.		
266	Thibaut	et dans la terre il y aura toujours des nitrates ?	RMc	CE
267	Prof	Je ne sais pas, vous savez bien que je ne vous apporte pas de réponse...		
268	Damien	si dans les terres fertiles, c'est pour ça qu'elles sont fertiles	RMd	
269	Alexandre	oui mais il n'y a pas besoin de terres fertiles pour les cactus par exemple dans le désert.	RMc	CE
270	Damien	c'est vrai que les mauvaises herbes ça pousse partout.	RE	CE
271	Thibaut	oui donc c'est pour ça pour le développement est ce que ça facilite quelque chose...enfin je sais pas...		
272	Prof	bon autrement, pour le groupe d là, je vous avez demandé à quoi sert le CO2, qu'est ce qu'il devient à l'intérieur d u végétal ?		
273	Maxime	Transformé en énergie.	RMd	
274	Prof	le CO2 serait transformé en énergie ?		
275	Maxime	Avec l'eau bien sur...	RMd	
276	Alexandre	avec les autres éléments qui interviennent il se mélange pour créer encore d'autres éléments.	RMf	
277	Prof	donc que devient le CO2 à l'intérieur du végétal ?		
278	Maxime	il transporte grâce à la sève les éléments jusqu'aux feuilles, jusqu'aux fleurs.	RMf	
279	Prof	donc le CO2 servirait à transporter les éléments ?		
280	Maxime	ben je sais pas mais comme il fait dans un sens et dans l'autre...	RMf	
281	Prof	Alexandre quelle est ton opinion ?		

282	Alexandre	il se mélange avec d'autres éléments que la plante a absorbés pour créer les éléments souches de la plante	RE-RM	CE-CM
283	Prof	pour créer les éléments souches de la plante ? Qu'est ce c'est ça ?		
284	Alexandre	bah ça va lui permettre de grandir, de survivre, tout ça.	RE-RM	CE
285	Prof	Pour toi la photosynthèse Alexandre c'est une absorption de CO2 et un rejet de O2.		
286	Alexandre	oui.	RMd	
287	Prof	Donc au bilan qu'est ce qu'on a ?		
288	Damien	deux phases dans la photosynthèse.	RMd	
289	Prof	qu'est ce qui semble rester à l'intérieur de la plante.		
290	Alexandre	il y a absorption de O2 et de CO2 et rejet bah les.... Mais ça se fait le jour et la nuit.	RMd	
291	Prof	qu'est ce qui se fait le jour ? Est ce qu'il y a de la respiration le jour ?		
292	Alexandre, Blaise	oui.	RMd	
293	Thibaut	et pourquoi pas la nuit.	RMc	
294	Prof	est ce que tout le monde est d'accord là dessus ? Donc pour vous il y a de la respiration le jour ? Est ce que je peux le noter dans les accords ? Par contre on n'est pas d'accord sur ce que c'est que la respiration ? Est ce qu'il y a de la respiration la nuit ?		
295	Plusieurs élèves	Oui.	RMd	
296	Alexandre	et il n'y a pas de photosynthèse la nuit.	RMd	
297	Blaise	oui parce qu'il n'y a pas de lumière donc il n'y a pas de photosynthèse	RE-RM	CE-CM
298	Prof	donc on aurait aussi de la respiration la nuit ?		
299	Alexandre	voilà		
300	Prof	et la photosynthèse est ce qu'il y en a la jour ?		
301	Alexandre	oui il y en a le jour, parce qu'il y a besoin de soleil	RE-RM	CE-CM
302	Thibaut	faudrait savoir ce que c'est que la photosynthèse aussi...	RMc	
303	Prof	donc la photosynthèse a besoin de soleil ?		
304	Alexandre	oui, donc yen a pas la nuit parce qu'il n'y a pas de soleil.	RE-RM	CE-CM
305	Prof	est ce qu'il peut y avoir de la photosynthèse la nuit ?		
306	Alexandre	bah s'il n'y a pas de soleil...	RE-RM	CE
307	Damien	non madame.		
308	Prof	est ce que quelqu'un pense qu'il y a de la photosynthèse la nuit ?		
309	Jessica	je pense qu'il y en a mais c'est dans l'autre sens.	RMd	
310	Prof	donc tu penses que la photosynthèse peut se faire dans les deux sens, donc je note seulement votre accord sur le jour ?		
311	Alexandre	qui n'est pas d'accord ?		
312	Prof	c'est Jessica.		
313	Jessica	si mais...		
314	Prof	Photosynthèse le jour ?		
315	Alexandre	voilà et pas la nuit.	RMd	
316	Prof	alors est ce qu'il y en a de la photosynthèse la nuit ?		
317	Blaise	nan, puisqu'il n'y a pas de lumière	RE-RM	CE
318	Alexandre	bah voilà		
319	Prof	Jessica est ce que tu es d'accord ?		
320	Jessica	je pense que oui mais c'est dans l'autre sens en fait.	RMd	
321	Alexandre	bah oui c'est la respiration c'est plus la photosynthèse.	RMd	
322	Prof	Alors est ce que tu entends l'explication d'Alexandre ? Il dit que non, la nuit du coup, si c'est l'inverse ce n'est plus de la photosynthèse mais de la respiration. Est ce que cela te convainc ?		
323	Jessica	oui...		
324	Alexandre	puisque toi quand tu respire du absorbe du O2 et tu rejette du CO2 !	RMc	CE
325	Prof	alors est ce qu'on se met d'accord ? Photosynthèse le jour et pas la nuit ? Je met « pas la nuit » ?		
326	Blaise	et respiration tout le temps !	RMc	CE

327	Prof	mais cela ne fait pas changer quelque chose à votre affiche maxime, ce n'est pas ce que vous aviez mis ?		
328	Maxime	j'ai dit respiration c'est tout le temps ?		
329	Prof	mais ce n'est pas ce que tu as mis ?		
330	Maxime	mais c'est Alexandre qui disait le contraire...		
331	Prof	par contre on est pas d'accord tout a fait sur ce que c'est en terme d'échange gazeux ? toi tu sembles certain de ce que tu dis Alexandre		
332	Alexandre	nan je ne suis pas certain, je pense.		
333	Prof	donc il faudrait qu'on vérifie cela ? Qu'est ce que c'est que la photosynthèse et la respiration.		
		Comparaison des affiches C et D.		
334	Prof	Qu'est ce qu'on a de plus en D :		
335	Thibaut	les nitrates	RMd	
Bilan commun des accords, désaccords et questions/problèmes posées.				
336	Prof	On a déjà un ensemble de questions communes, j'aimerais maintenant qu'on fasse la liste des choses, des besoins que vous avez de communs ? Donc on a déjà mis soleil, eau...		
337	Damien	minéraux.	RE	CE
338	Blaise	sels minéraux.	RE	CE
339	Alexandre	éléments nutritionnels.	RE	CE
340	Prof	alors est ce qu'on les met ensemble ?		
341	Damien	bah les éléments nutritionnels du sol les minéraux en font partis.	RE	CE
342	Prof	(note besoin de minéraux)		
343	Prof	est ce que tout le monde est d'accord sur le fait qu'il y a besoin de CO2.		
344	Damien, Thibaut, Blaise	oui.	RMd	
345	Damien	de CO2 et d'O2.	RMd	
346	Prof	est ce quelqu'un est contre, parce que ici je mets les choses sur lesquelles tout le monde est d'accord. Est-ce que je mets besoin de CO2 ?		
347	Florian	Et d'O2.		
348	Mérodie	O2 moi je ne suis pas sure	RMd	
349	Prof	O2 tu n'es pas sur ?		
350	Nicolas, Mérodie	Nan.	RMd	
351	Prof	est ce que CO2 vous êtes d'accord ?		
352	Nicolas	oui.	RMd	
353	Prof	je le mets ?		
354	Nicolas	par exemple.		
355	Prof	est ce que je mets besoin de O2 ?		
356	Damien	oui.	RMd	
357	Florian	non, puisqu'elle le rejette.	RMc	
358	Prof	alors je vous rappelle c'est pour la nutrition de la plante, pour l'aider à grandir.		
359	Damien	si elle en absorbe c'est qu'elle en a besoin.	RMc	
360	Nicolas	ben non si elle le rejette le O2 elle en a pas besoin.	RMc	
361	Blaise	oh c'est pas clair là.		
362	Damien	oh c'est confus là...		
363	Alexandre	au début c'était clair, mais maintenant...		
364	Prof	Bon alors est-ce qu'on pose une question par rapport à ça ?		
365	Thibaut	qu'est ce que la respiration.	Pb	
366	Prof	on l'a déjà mis.		
367	Blaise, Florian	nan, quand y a-t-il besoin d'O2.	Pb	
368	Prof	non, là on se demandait si la plante a besoin d'O2.		
369	Alexandre	La plante a-t-elle besoin d'O2 pour grandir.	Pb	
370	Prof	on note cette question ?		
371	Thibaut	de toute façon plus il y aura de questions plus ce sera clair après.		

372	Alexandre	après seulement...		
373	Prof	bon alors dites moi, pour revenir au CO2, j'aimerais qu'on termine là-dessus, sur des hypothèses de votre part, à quoi sert le CO2 à l'intérieur de la plante ? Alexandre, tout à l'heure tu avais émis une hypothèse...		
374	Alexandre	...		
375	Thibaut	pour le corps humain c'est le sang qui transporte l'oxygène alors est-ce que dans la plante peut être que c'est la sève qui transporte l'oxygène...	RMc analogie	CE-CM
376	Prof	oui mais là tu ne réponds pas à la question que j'ai posée.		
377	Prof	je vous rappelle ma question : que devient le CO2 à l'intérieur de la plante ? À quoi est-ce qu'il sert le CO2 ? Donc pour vous la photosynthèse c'est apparemment une entrée de CO2 et un rejet d'O2. Donc quel bilan semble-t-il y avoir à l'intérieur de la plante, qu'est ce qu'elle garde.		
378	Alexandre, Alexandra	le carbone	RMd	CE
379	Prof	elle garde le carbone, il semblerait que ce soit ça...puisque ça c'est une partie de votre définition de la photosynthèse.		
380	Alexandre	elle peut rejeter moins d'O2 et en conserver...	RMc	
381	Prof	qu'est ce qu'elle en fait du carbone.		
382	Damien	ben elle l'utilise pour faire croître la plante.	RE-RM	CE-CM
383	Prof	Comment ?		
384	Alexandre	pour la transformer en d'autres éléments ?	RMf	
385	Damien	peut être aller dans la sève.	RMf	
386	Prof	quels éléments ?		
387	Damien	les minéraux et l'eau.	RMf	
388	Prof	ah je croyais que les minéraux et l'eau venaient par la racine ?		
389	Alexandre	Bah et alors ça va au même endroit !	RMf	
390	Prof	que devient le carbone à l'intérieur de la plante ?		
391	Alexandre	il s'allie avec d'autres éléments que la plante a absorbés pour créer de la matière	RMf	
392	Prof	donc le carbone du CO2 servirait à quoi ?		
393	Alexandre	à créer de la matière.	RMf	
394	Prof	donc le carbone servirait à créer de la matière ? Est-ce que tout le monde est d'accord avec ça ? Quelle matière ?		
395	Alexandre	bah la matière de la plante.	RMf	
396	Prof	c'est quoi la matière de la plante.		
297	Camille	on ne sait pas madame.		
398	Alexandre	bah c'est ses feuilles, ses tiges...	RE	CE
399	Prof	oui mais c'est quoi, c'est fait de quoi ?		
400	Damien	d'atomes.	RM	
401	Prof	lesquels ?		
402	Thibaut	des atomes de plante.	RE-RM	
403	Prof	alors de quoi on va avoir besoin pour poursuivre ?		
404	Clémence	il faudrait savoir de quoi est faite la plante, quelle est la matière de la plante.	Pb	
405	Alexandre	quelle est la composition de la plante ? bah oui en fonction des éléments, des atomes qui la compose.	Pb	

Sixième partie

Journées d'étude

*« Les apprentissages en SVT de l'école au lycée :
Apports des recherches en didactique des SVT »*

IUFM de Basse-Normandie, 5 et 6 juin 2007

Journées d'étude 5 et 6 juin 2007
Les apprentissages en SVT de l'école au lycée :
Apports des recherches en didactique des SVT

Objectif des journées d'étude

Mettre à disposition des enseignants du premier et du second degré et des formateurs les apports récents en didactique des *sciences de la vie et de la Terre* (SVT) en articulant des apports théoriques et la présentation de travaux de deux groupes de formation action de l'IUFM de Basse-Normandie (GFA « Problématisation en sciences » : Dir. : Françoise Beorchia ; GFA « Problématisation et apprentissages scientifiques » : Dir. : Yann Lhoste) sur la question des apprentissages en SVT.

Organisation

Une conférence dure 30 minutes avec 10 à 15 minutes de discussion.
La présentation d'un atelier de GFA dure 15 minutes avec 15 minutes de discussion.

■ **Mardi 5 juin 07**

9h30 : accueil des participants

10h : ouverture des journées d'étude

10h15-11h : C. Orange, IUFM des Pays de la Loire : Les apprentissages en SVT : quelles entrées en didactique des SVT.

11h15-12h : B. Peterfalvi, UMR STEF, ENS Cachan – INRP: Obstacles et apprentissages en SVT.

Repas

14h-17h : Présentation des travaux du GFA *Problématisation et apprentissage en SVT* (2nd degré)

■ **Mercredi 6 juin 07**

9h-9h45 : D. Orange-Ravachol, IUFM des Pays de la Loire : Apprendre la classification phylogénétique.

9h45-10h30 : F. Beorchia, IUFM de Basse-Normandie : Apprendre la physiologie nerveuse.

10h45 – 11h30 : P. Savaton, IUFM de Basse-Normandie : Apprendre en géologie

11h30 – 12h15 : P. Schneeberger, IUFM d'Aquitaine : Apprendre les phénomènes régulés.

Repas

14h – 16h30 : Travaux du GFA *Problématisation en sciences* (1^{er} degré)

Comptes rendus

Recherche

Journée de travail de formateurs TICE du pôle Nord-Ouest des IUFM (2 juillet)

Depuis un an, une journée de travail avait été envisagée autour de chroniques vidéo réalisées dans des classes par les différents IUFM du pôle et pouvant servir de support à la formation de formateurs. C'est dans ce cadre que j'ai proposé à Guylaine Loriquier, une collègue de l'école d'application de Montfort à Alençon de réaliser une chronique à partir du travail que nous avons réalisé en commun dans sa classe de CM2 au printemps 2007. L'objectif pédagogique était double : inciter les élèves à écrire des textes fictionnels ou non, en leur proposant la publication sur un blog de classe, d'une part, et les sensibiliser aux précautions à prendre lors de la publication de données accessibles au public sur internet.

La contrainte était de produire un document vidéo de dix minutes maximum, accompagné d'une fiche «technique» permettant de resituer le document dans son contexte didactique.

La collègue n'étant pas libre le 3 juillet, je suis allé à Orléans présenter ce document et répondre aux questions des collègues des IUFM du pôle. Débat instructif, ouvrant de nouvelles perspectives.

La journée s'est déroulée de la même manière pour les différentes chroniques, fort diverses dans leur degré d'élaboration, les niveaux de classe, les intervenants...

La majorité des supports vidéo et l'ensemble des fiches techniques ont été mis à la disposition des participants (avec des exemplaires supplémentaires pour les IUFM). Les vidéos parvenues plus tardivement seront gravées sur un nouveau DVD, cet automne...

Il reste maintenant le plus difficile : s'appuyer sur des travaux de collègues pour animer des séances de formation.

C'est un point négatif relevé par des participants : les vidéos, même complétées par les fiches techniques, sont insuffisamment explicites par elles-mêmes, en dehors de la parole de ceux qui les ont élaborées. Il est vraisemblable qu'une telle démarche est amenée à se poursuivre, avec des exigences plus fortes concernant le contenu des fiches d'accompagnement permettant à chaque formateur d'utiliser les documents, en ayant ou non vécu la situation et/ou rencontré les auteurs de

la chronique.

Cela fait plusieurs années que je travaille avec des collègues, EMF ou non, à réaliser des projets mettant en œuvre des outils TICE, mais c'est la première fois que je m'astreins à ce travail de restitution de la démarche et de moments forts du projet pour une utilisation avec les stagiaires ou avec les collègues.

Le travail mené cette année m'incite à continuer dans cette voie de réalisation de documents pédagogiques, avec un passage devant un «jury» de formateurs, regard extérieur au projet et incitant à aller plus à fond dans l'explicitation de la démarche, de ses objectifs...

*Didier Taugourdeau,
Formateur en TICE au centre d'Alençon*

Journées d'étude «Apprentissage en sciences de la vie et de la Terre : les apports des recherches en didactique des SVT», 5 et 6 juin 2007



*Yann Lhoste et Christian Orange
lors de la synthèse des deux journées*

Deux journées d'étude consacrées aux apprentissages en sciences de la vie et de la Terre (SVT) se sont déroulées les 5 et 6 juin 2007 à l'IUFM de Basse-Normandie. Elles ont réuni des enseignants chercheurs en didactique des SVT, des formateurs de l'IUFM (1^{er} et 2nd degré), des conseillers pédagogiques (1^{er} et 2nd degré) et des enseignants (1^{er} et 2nd degré) ainsi que Pascal Thiberge (IA-IPR SVT) et Pierre Gilliot (IEN) autour de la question des relations entre problématisation et apprentissage scientifique. Ces deux journées ont permis, entre les présentations des travaux de recherche des chercheurs et les présentations des deux groupes de formation action de l'IUFM de Basse-Normandie (1^{er} degré, responsa-

ble : Françoise Beorchia ; 2nd degré : Yann Lhoste), d'aborder la plupart des objets d'enseignement étudiés en biologie et en géologie de la maternelle au lycée et à la formation des enseignants (schéma corporel, communication nerveuse, éducation au développement durable, respiration, reproduction, génétique, évolution, classification des espèces, immunologie et phénomènes régulés, place du terrain dans l'enseignement de la géologie). Les apports de Christian Orange (professeur des universités à l'IUFM des Pays de la Loire), de Brigitte Peterfalvi (UMR STEF, ENS Cachan-INRP), de Patricia Schneeberger (Maître de conférence HDR, IUFM d'Aquitaine), Denise Orange Ravachol (Maître de conférence, IUFM des Pays de la Loire), Françoise Beorchia (Maître de conférence, IUFM de Basse-Normandie) et de Pierre Savaton (Maître de conférence, IUFM Basse-Normandie) croisés avec les travaux des enseignants de l'académie de Caen et formateurs de l'IUFM de Basse-Normandie ont permis de pointer des questions importantes qui ont été déclinées aussi bien au niveau théorique, au niveau de la formation des enseignants et de la pratique de classe, donnant ainsi tout son sens aux recherches en didactique. Les questionnements ont concerné les réflexions sur les conditions à prendre en compte dans la conception des dispositifs d'enseignement, le pilotage de l'activité d'apprentissage des élèves, l'articulation entre les phases de débats scientifiques, les phases d'investigation empirique ou documentaire et les pratiques d'écriture des élèves et de mise en texte des savoirs. Ces questions vont être reprises, à l'IUFM de Basse-Normandie, par deux nouveaux GFA dont l'un a débuté cette année (1^{er} degré) et l'autre débutera en septembre 2007 (2nd degré). Ces travaux sont couplés à une recherche collaborative INRP – IUFM d'Aquitaine, de Basse-Normandie et des Pays de la Loire conduite sous la direction scientifique de Christian Orange. Les actes de ces deux journées d'étude seront disponibles avant la fin septembre 2007.

*Yann Lhoste,
Formateur en SVT au centre de Caen*

Les équipes des GFA

GFA 1^{er} degré : Isabelle Ménard, Véronique Pineau, Michèle Mercier, Hélène Le Marquis, Laurent Le Marquis, Véronique Doré

GFA 2nd degré : Armelle Roland, Aurélie Maunoury, Aurélie Cadet, Caroline Tanqueray, Claire Decussy, Ginette Buisson, Annaïg Le Jossic, Valérie Fradot, Gaëlle Marguerie, Jean-Philippe Canu, Jean-Marie Fouetillouk, Sandrine Faure, Annabelle Pogam, Pascale Henneteau.

Journées des formateurs, 22 et 23 mai ; 28 et 29 août 2007

Les journées des formateurs de mai, organisées en ateliers de travail et en assemblée générale, ont permis de mettre sur pied le plan de formation qui entre en vigueur à la rentrée de septembre 2007 à l'IUFM de Basse-Normandie, en application du cahier des charges de la formation des enseignants (BOEN 4 janvier 2007). Depuis la journée du 21 mars, en prenant en compte les ateliers intermédiaires échelonnés en avril, entre 70 et 80 formateurs de tout statut ont participé à cette élaboration collective, organisée par la direction et le conseil scientifique et pédagogique. Le plan de formation voté par le conseil d'administration de juin comporte le cadrage de référence pour l'ensemble des dispositifs de formation en établissement et à l'IUFM.

Un ensemble de rendez-vous (journées, ateliers, permanence) échelonnés sur l'année 2007-2008, définis dans le cadre d'un plan de formation de formateurs, accompagnera la mise en oeuvre du nouveau plan.

Les journées de formation des 28 et 29 août ont ainsi rassemblé 35 personnes et ont permis de préciser les attentes et les exigences relatives à l'écriture professionnalisante dans le dispositif d'accompagnement des professeurs-stagiaires. Je tiens à remercier les formateurs qui ont participé à ces Journées, plus particulièrement ceux qui se sont prêtés à l'exercice difficile de montrer ce qu'ils font en matière d'écriture professionnelle et d'accompagnement (Xavier Gauchard, Nicole Clouet, Marie-Laure Compant-la-Fontaine), ainsi que ceux qui ont pris en charge la conception et l'animation d'ateliers consacrés à l'écriture professionnalisante et à l'évaluation des compétences (Jean-Yves Bodergat, Nicole Clouet, Sylvain Godard, Marie-Claude Guincestre, Anne-Laure Le Guern, Serge Martin).

*Jean-François Thémines,
directeur adjoint chargé de la recherche*

Journées ReForEHST, 31 mai et 1^{er} juin

Les 3^{es} journées du groupe ReForEHST (Recherche et formation en épistémologie et histoire des sciences et des techniques) se sont tenues à l'IUFM de Basse-Normandie, les 31 mai et 1^{er} juin 2007.

L'objectif de ces journées était de développer les échanges entre formateurs en IUFM et chercheurs en EHST sur la formation en EHST des enseignants, dans la continuité des journées de 2006 (IUFM de Versailles, site d'Antony) et de 2005 (IUFM de Montpellier). Elles ont réuni 45 partici-

Apprendre la physiologie nerveuse

(à l'école primaire, au collège et plus tard...)

Françoise Beorchia¹³⁸

Dans les programmes du collège puis du lycée (mais surtout dans les sections scientifiques), la physiologie nerveuse enseignée utilise les termes de neurone, de neurotransmetteurs, de message nerveux, d'intégration. Mais qu'en est-il de la construction de ces concepts par les élèves ?

Pour traiter cette question, trois points sont abordés :

- le cadre rationaliste dans lequel nous situons à la fois l'activité scientifique mais aussi les apprentissages scientifiques ; ce sera l'occasion de préciser les relations entre problème et explication scientifique en soulignant l'importance du langage dans la problématisation.
- une analyse épistémologique succincte pour apporter quelques éléments de réflexion sur les apprentissages dans ce domaine et en particulier pour développer les principes explicatifs qui ont pu être utilisés à différentes époques .
- quelques exemples de problématiques d'élèves dans le cadre scolaire ; leur analyse permet d'avancer quelques hypothèses sur les principes d'explication mobilisés et de proposer quelques pistes pour aider les enseignants dans la conception de situations d'apprentissage sur cet objet d'étude.

1. Problématisation et construction de savoirs scientifiques

Pour de nombreux auteurs, le problème apparaît comme central dans l'activité scientifique ;

« les théories scientifiques - qui visent

l'explication- ne sont rien d'autre que des tentatives pour résoudre des problèmes scientifiques, c'est à dire des problèmes liés à la découverte d'explications » (Popper 1985).

Une relation étroite existe entre problème et explication scientifique, l'activité scientifique étant un processus dynamique dans lequel c'est le problème qui engage vers une recherche d'explication.

Cependant, l'identification d'une difficulté et de son origine n'est pas la construction du problème :

- Celle-ci passe par la critique et le raisonnement qui permettent de savoir pourquoi les explications adoptées comme solutions du problème ne sont pas efficaces.(Popper)

- C'est par le langage que cette dimension critique se manifeste :

« Il ne saurait exister de construction sans un contrôle critique permanent, et il ne saurait exister de critique si nos constructions ne sont pas mises sous une forme linguistique et traitées comme objets du troisième monde . » (Popper 1991)

Les savoirs scientifiques présentent un caractère de nécessité. Ils ont un caractère

¹³⁸ IUFM Basse-Normandie, CERSE, université de Caen-Basse-Normandie ; francoise.beorchia@caen.iufm.fr

apodictique qui ne se décrète pas mais se construit (Bachelard 1949).

- enfin un problème se construit dans un cadre explicatif dont les caractéristiques ont bougé au cours des temps : paradigme (Kuhn 1983), cadre épistémique (Piaget 1983), conceptions de l'ordre naturel (Toulmin 1973).

Ces différents points valent pour l'activité scientifique et constituent pour la classe de sciences des points de repère transposables avec certaines limites que les didacticiens ont précisé (Joshua et Dupin 1989).

En particulier, le cadre épistémique le plus souvent implicite dans les travaux des chercheurs contribue à la construction de problème en agissant sur l'acceptabilité des explications (Orange 2000) ; or on peut penser que celui dans lequel fonctionnent spontanément les élèves est souvent différent de celui dans lequel l'enseignant voudrait qu'ils raisonnent et construisent des savoirs .

Notre deuxième partie va être l'occasion de pointer les modes d'explication principaux qui sont des étapes dans la construction des concepts de la physiologie nerveuse. Pertinents pour résoudre certains problèmes , inadéquats pour d'autres, ils constituent autant de points de repères pour analyser et comprendre la façon dont les élèves utilisent certaines explications dans ce domaine.

2. Les savoirs en jeu

Comprendre comment le système nerveux contribue physiologiquement à la coordination des mouvements, à leurs

ajustements dynamiques, aux élaborations perceptives... implique de construire :

La nécessité de transmission de messages.

La nécessité de processus de transformation dans les récepteurs sensoriels et au niveau des effecteurs.

La nécessité d'intégration des messages au niveau des neurones centraux

Ces trois points fondamentaux de la problématique s'inscrivent dans un cadre explicatif actuel que nous qualifions de bio physico-chimique.

Les principes d'explication mobilisés par les élèves ne sont pas toujours ceux des scientifiques actuels et on peut retrouver dans leurs raisonnements des principes mobilisés par des scientifiques d'autres époques. C'est ce que nous allons maintenant explorer et tenter de caractériser.

■ 2.1. Explication mécaniste

« Un moteur mécanique se borne à restituer, sous forme de travail, l'énergie potentielle qu'une précédente interaction avec le monde lui a conférée : la cause et l'effet sont de même nature, et idéalement équivalents » (Canguilhem, 1955).

Cette position adoptée par Descartes au XVII^e siècle en réaction contre des explications animistes présente les caractéristiques suivantes :

Tout le fonctionnement nerveux est pensé comme celui d'une machine de type mécanique ; mais dans une machine il y a deux sortes d'éléments :

des éléments qui assurent la transmission du mouvement : Ce sont des fibres nerveuses contenues dans les nerfs qui, pour Descartes, assurent la transmission : en se tendant elles entraînent l'ouverture de pores dans le cerveau ; puis les esprits animaux qui s'écoulent dans les nerfs jusqu'aux muscles provoquent leur gonflement et par conséquent leur raccourcissement, causant ainsi le mouvement des segments du squelette auxquels ces muscles sont attachés.

des éléments qui entraînent le mouvement, qui ont donc une fonction motrice. Le cœur, grâce à la chaleur qu'il produit, alimente le cerveau en sang, d'où sont extraits les esprits animaux à l'origine du mouvement. Les excitations des organes des sens ne font que permettre l'ouverture des pores dans le cerveau dans une direction précise, elles n'ont qu'un rôle de déclencheur.

Le moteur est alimenté par cette chaleur issue du cœur. L'origine première vient du cœur mais c'est le stockage dans les cavités cérébrales qui constitue la source motrice utilisable par les nerfs et les muscles.

L'ensemble des organes concernés, en dehors de la glande pinéale (siège de l'âme raisonnable) sont entièrement passifs, transmettant comme des courroies les mouvements imprimés par les excitations sensorielles ou comme des tuyaux véhiculant les esprits animaux. Cela semble aussi valable pour le cerveau (lieu de séparation des esprits animaux des autres parties du sang, issus du cœur).

Le cerveau est le centre pour deux raisons :

c'est le réservoir des esprits animaux ; il peut en libérer sous l'effet des excitations sensorielles, entraînant ainsi le gonflement des muscles.

c'est aussi l'organe contenant la glande pinéale, lieu qui pour Descartes est la jonction entre le corps et l'âme comme il l'exprime dans le *Traité des passions* ; « l'âme a son siège principal dans la petite glande qui est au milieu du cerveau, d'où elle rayonne en tout le reste du corps par l'entremise des esprits, des nerfs »¹³⁹.

Les deux aspects de la problématique cartésienne que nous venons de souligner, **passivité des structures nerveuses comme conséquence du mécanisme et importance du cerveau**, nous semblent pouvoir être considérés comme des éléments forts de la conception cartésienne ayant le statut d'obstacles. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

■ 2.2. Explication vitaliste

Historiquement, le modèle mécaniste cartésien a atteint ses limites quand il n'a pas pu expliquer certains faits tels que :

les mouvements des animaux privés d'encéphale.

- les nombreuses expérimentations qui ont eu lieu sur les animaux à sang froid comme la grenouille.

- L'apport principal du vitalisme dans le cas de l'élaboration du concept de réflexe, c'est la dissociation des notions de cerveau et de centre sensori-moteur ; le cerveau n'est plus le seul principe de commande et de contrôle du mouvement. Canguilhem utilise le terme de révolution copernicienne dans la physiologie du mouvement.¹⁴⁰

Avant de développer ces aspects, une distinction est nécessaire en ce qui concerne le vitalisme : il peut en effet prendre deux formes qui semblent assez opposées comme l'affirme Leroy¹⁴¹ dans *Liber memorialis* (1869) :

la première c'est de considérer que le vivant possède des propriétés spécifiques en relation avec une force vitale analogue à un principe immatériel ce qui rapproche cette première forme de l'animisme ou d'un vitalisme de principe.

la seconde c'est de penser que le vivant possède aussi des propriétés spécifiques mais que celles ci sont explicables en ayant recours aux lois de la physique et de la chimie, et c'est l'idée adoptée par CI Bernard. Ce dernier parle de "vitalisme physique".

Pour Canguilhem, c'est plutôt la deuxième version qui a fait avancer les connaissances en physiologie nerveuse ; voici un inventaire rapide des points sur lesquels le vitalisme a été source d'évolution des savoirs :

son apport dans la construction du concept de réflexe (en particulier grâce aux travaux de Prochaska) ;

l'idée de **propriété inhérente à toutes les parties d'un système allant contre celle de la dépendance absolue des éléments nerveux à l'égard des structures cérébrales** ; c'est à ce sujet que la diversité est la plus marquée avec des concepts de signification variable tels que irritabilité (Glisson, Haller), force nerveuse (Prochaska), sensibilité et motricité (Bernard),

¹³⁹ DESCARTES R. (1970). *Œuvres et Lettres. Traité des passions*. Bruges : Gallimard, p. 712

¹⁴⁰ CANGUILHEM G. (1955), *La formation du concept de réflexe*. Paris : PUF, p. 127

¹⁴¹ LEGUYADER H. (1988). *Théories et histoire en biologie*. Paris : Vrin, p. 92

propriété spécifique explicable par les lois physico-chimiques (Schwann, Bernard); le fait que le vitalisme remplace l'idée de passivité des éléments nerveux, en dehors de l'activité du cerveau, par celle d'activité de toutes les structures. Cela nous semble particulièrement important comme moyen de dépasser la conception mécaniste cartésienne.

La position vitaliste peut donc apparaître comme un choix raisonné dans un domaine où on réfléchit sur des phénomènes complexes sans pouvoir en donner des explications complètes : *« comme cette chose est aussi obscure et aussi parfaitement inconnue que l'est la force d'attraction elle-même, il me paraît juste de devoir la nommer force nerveuse. Quant à la recherche de sa nature, j'en laisse le soin aux hommes très ingénieux et sagaces qui s'occupent d'expériences physiques ; pour moi, j'essaierai seulement d'établir quelques unes de ses propriétés générales avant d'aborder les fonctions spéciales du système nerveux »*. PROCHASKA (1784)

« Le vitalisme ce serait simplement la reconnaissance de la vie comme ordre original de phénomènes et donc de la spécificité de la connaissance biologique » (Canguilhem, 1955).

■ 2.3.Explication cellulaire et physico-chimique

« L'activité nerveuse évoquée ou spontanée, et sa propagation dans les réseaux de neurones s'expliquent en fin de compte par des propriétés atomiques..... Au niveau des mécanismes élémentaires de la communication nerveuse, rien ne distingue l'homme des animaux » (Changeux, 1983).

Quand Galvani (XVIII^e siècle) découvre l'électricité animale, on peut penser qu'il a réussi à caractériser la force nerveuse ; mais ce n'est peut-être pas aussi simple car n'y a-t-il pas un retour à une transmission cartésienne quand on considère que l'énergie du stimulus devient de l'électricité animale ou encore que dans les nerfs s'écoule un fluide électrique. Les relations entre physiologie et physique sont à nouveau étroites mais les deux domaines sont distincts (controverse entre Volta et Galvani 1780).

La théorie de l'information (XX^e siècle) négligeant le support physique ou chimique met l'accent sur la transmission d'informations. La cybernétique assimile l'organisme à nouveau à une machine dont le fonctionnement est régulé par la rétroaction. Elle a une portée réduite car elle n'est applicable qu'à des systèmes fermés ne tenant pas compte de certains caractères des systèmes ouverts que sont les organismes en général et le système nerveux en particulier. Dans ce type de système, le bruit, le hasard contribuent à créer de l'organisation et ne sont pas facteurs de destruction. (Atlan, 1992)

Avec les travaux de Hodgkin et Huxley (1945) sur les mouvements ioniques, la nature du potentiel d'action est vue comme phénomène actif dépendant du métabolisme cellulaire. On parle alors de propagation de potentiels d'action. L'explication est alors physico-chimique mais il y a discontinuité physico-chimique entre l'organisme et l'environnement du fait des structures qui limitent et sélectionnent les flux entrants et sortants. (La membrane des cellules en est un élément important). C'est donc bien un mécanisme qui est à l'origine du processus de transduction, mais en quoi est-il fondamentalement différent du mécanisme cartésien et en quoi a-t-il incorporé certains aspects du vitalisme :

Le mouvement des ions est lié à la production d'énergie par le métabolisme cellulaire donc il est présent dans tous les éléments cellulaires (c'est une propriété « vitale »mais explicable par les lois physico-chimiques) ; le mouvement d'écoulement des esprits animaux de Descartes avait une origine unique centrale (le cerveau) ; l'excitation ne faisait que déclencher l'ouverture des vannes dans le cerveau.Le mécanisme retenu actuellement est donc décentralisé et non centralisé. À cet égard, il est plus proche du vitalisme que du mécanisme cartésien.

Les structures nerveuses sont elles-mêmes à l'origine des potentiels d'action qui vont se

propager et permettre ainsi la communication entre les différents organes. ce sont les stimulations extérieures ou intérieures qui modulent leur activité. Là encore on est plus proche du vitalisme que du mécanisme cartésien dans lequel les structures transmettent passivement l'excitation interne ou externe. Cependant, c'est bien l'ouverture de sortes de vannes (les canaux ioniques transmembranaires) qui vont ensuite permettre la propagation des potentiels d'action; et là on peut penser à l'ouverture des vannes du cerveau déversant dans les nerfs les esprits animaux. Mais ces vannes ne sont pas équivalentes puisqu'elles se situent au niveau des membranes cellulaires et contrôlent le transit des ions entre milieu intra et extra cellulaire et non celui de substances issues du cerveau dans les nerfs. Elles ne contrôlent pas un mouvement longitudinal.

La transduction est un processus qui comporte à la fois un aspect transformation, puisque la nature de ce qui entre est différente de ce qui sort, mais aussi un aspect traitement ou intégration puisque dans le même temps il y a sélection de l'information.

Dans une explication plus actuelle systémique, le concept de neurone s'est développé en accord avec la théorie cellulaire : les réseaux de neurones présentent des discontinuités dans les structures au niveau des contacts synaptiques. Cela n'empêche pas cependant le passage des messages d'un neurone à l'autre par l'intermédiaire des neurotransmetteurs. Si on regarde les structures d'un peu plus près cependant, on peut considérer que les discontinuités ne sont qu'apparentes et disparaissent au niveau membranaire puisque des substances peuvent passer de l'élément pré synaptique dans l'espace synaptique et, par leur action sur la membrane post synaptique, provoquer des mouvements d'ions entre cet espace et le cytoplasme post synaptique. Il existe cependant une discontinuité fonctionnelle puisque la composition de ces trois espaces (pré synaptique, synaptique, post synaptique) est différente et que les membranes sont des barrières sélectives. Les messages sont donc modulés au niveau de ces passages.

Les relations entre le concept d'intégration et celui de neurone vont dans le sens de cette discontinuité fonctionnelle.

3. Problématisations d'élèves à différents niveaux

■ 3.1. Exploration des possibles en CM2 : mécanisme

Dans un travail sur le mouvement, le problème de sa commande nerveuse a été exploré par des élèves de CM2 avec différents modèles explicatifs. Ceux-ci ont été présentés, critiqués et argumentés lors d'un débat avec pour support de discussion des productions de groupes d'élèves sous forme d'affiches. L'analyse des productions et des extraits de débats va nous aider à préciser les principes d'explication plus ou moins explicites mobilisés par les élèves dans la discussion.

• 3.1.1. Premier exemple : Transmission par traction

Pour un groupe d'élèves (voir annexe I, première production), la transmission entre le cerveau et les muscles du bras a pour support des nerfs, ceux-ci jouant le rôle de courroie de transmission entre le cerveau et les muscles.

Cette explication présente les caractéristiques mécanistes que nous avons citées précédemment, à savoir :

identité entre cause et effet : les tendons qui attachent les muscles aux os doivent tirer sur ceux-ci pour que la flexion se réalise ; les nerfs attachés aux tendons exercent eux mêmes une traction qui leur est imposée par le cerveau, moteur du dispositif.

nécessité de continuité des structures : cela ne peut fonctionner qu'à condition que les structures successives soient bien liées les unes aux autres.

moteur du mouvement : cerveau.

Ce modèle est cependant contesté par d'autres élèves de la classe :

p 173. Amélie : Si ça tire le muscle, ça va casser
p 175. Amélie : Parce que c'est un fil (le nerf), un fil c'est facile à casser.
p 177. Amélie : C'est fragile et en plus le bras est lourd.

Ces arguments ne suffisent pas cependant à faire changer d'avis les élèves du groupe :

p 182. Julie : Non parce que le nerf c'est solide.
p 186. Julie : Il est assez épais.

Dans cet échange, les propos d'Amélie pointent une impossibilité matérielle de ce mode de transmission en s'appuyant sur ce qu'elle peut connaître des nerfs d'un point de vue empirique. Elle raisonne bien en utilisant les principes mécanistes et en souligne même une condition importante : la nécessaire continuité des structures. Elle ne parvient pas cependant à expliciter les limites de cette explication, dans laquelle sont confondues transmission de message et transmission d'énergie.

• 3.1.2. Deuxième exemple : transmission par un liquide

Pour un second groupe (voir annexe I, seconde production), les nerfs sont des tuyaux creux véhiculant les messages sous une forme liquide entre cerveau et muscles.

Quelques extraits de la discussion autour de cette production vont permettre de discuter des principes explicatifs mis en jeu.

Présentation du modèle

p 483. Romain : C'est des boules et puis dedans il y a des messages et puis ils vont dans le muscle et ça devient tout du liquide et après.

Demande d'explicitation

p 484. Alexis : Je ne comprends pas pourquoi les boules sont liquides.

Qui poussent à l'argumentation

p 485. Romain : Si elles seraient pas liquides elles pourraient pas rentrer dans le muscle ; c'est pour ça qu'on a fait du liquide.

p 504 Romain : Sinon l'ordre il va servir à rien ; si le cerveau dit un ordre il faut bien que l'ordre il rentre dans le muscle, il faut bien qu'il aille quelque part pour que le muscle puisse le comprendre ; c'est pour ça qu'il rentre dans le muscle.

La demande d'Alexis (484) conduit Romain à une exploration plus précise du modèle (485, 504) de son groupe : il met ainsi en relation deux nécessités : celle de transmission et celle de continuité des structures. Les principes d'explication sont là encore mécanistes.

Mais à la différence du cas précédent, ce n'est pas une traction qui se transmet le long d'un nerf (comme le long d'une corde) mais un message, de nature liquide.

D'autres interventions (528, 530) indiquent que les élèves de ce groupe font une distinction entre message et énergie.

p 528 Emmanuel : En fait c'est des boules qui a de l'énergie à l'intérieur, qui ont de l'énergie à l'intérieur et qui rentrent dans le muscle et qui.

p 530 Romain : En fait c'est le message qui passe qui prend en même temps de l'énergie pour pouvoir faire contracter le muscle.

• 3.1.3. Bilan : Des explications mécanistes de la communication nerveuse

Pour ces élèves d'une classe de CM2, les caractéristiques de la communication nerveuse entre cerveau et muscles sont les suivantes :

- Nerf = tuyau ou fil .
- Nature de la transmission = variable (traction, liquide et quelquefois électricité) mais avec le plus souvent absence de distinction entre message et énergie.
- Continuité entre nerf et muscle
- Cerveau seul actif

Les différents modèles explorés ont tous en commun un des principes mécaniste cartésien : celui de la passivité des nerfs.

La deuxième explication comporte une ébauche de la distinction entre information et support de l'information, entre message et énergie ; mais étant donné le raisonnement mécaniste mobilisé, la nécessité de continuité des structures s'impose : pour que l'ordre arrive au muscle, il faut que le liquide venant du cerveau par les nerfs entre à l'intérieur du muscle.

■ 3.2. Exploration des possibles en 2^e : mécanisme ou vitalisme

La situation proposée en 3^e fait intervenir à la fois les rôles sensoriels et moteurs de la communication nerveuse. La mise en oeuvre dans la classe est similaire à celle réalisée en CM2. Dans un premier temps, nous caractérisons les productions écrites des élèves du point de vue de la fonction motrice, ce qui nous permet une comparaison avec les CM2. Puis nos analyses portent sur les explications relatives à la fonction sensorielle étudiée : la vision. Ainsi nous cherchons à déceler dans les productions des élèves (écrites ou orales) des « traces » de mécanisme ou de vitalisme.

• 3.2.1. Transmission cerveau-muscles

Dans les deux exemples retenus (voir les affiches en annexe II), la nature de la transmission peut être rattachée à deux types :

- sous la forme d'un liquide, véhiculé dans les nerfs ou dans les vaisseaux sanguins (seconde production) ;
- sous la forme d'une vibration transmise par les nerfs (première production).

On retrouve des explications voisines de celles des CM2, qui conduisent les élèves à attribuer un rôle moteur (au sens mécanique) au cerveau puisque c'est lui qui est à l'origine de la transmission, et à confondre message et énergie.

• 3.2.2. Rôle de l'oeil et transmission oeil cerveau :

De façon générale, l'oeil transmet une information, une image ou de la lumière au cerveau. Cependant ces deux dernières solutions sont l'objet de controverses dans la classe et d'une prise en charge du problème avec argumentation. Ce sont ces arguments que nous allons maintenant regarder de près pour cerner les principes d'explication sous-jacents.

De la perception du problème :

p 136. Kevin2 : Je ne comprends pas comment l'image entre l'œil et le cerveau.

p 139. Kevin2 : Je n'arrive pas à comprendre comment ça arrive au cerveau il faut obligatoirement qu'il y ait ; si ça passe par un nerf j'ai du mal à voir comment ça (l'image) peut passer par un nerf.

À sa construction....

p 148. Julie : ... sur le nerf optique il doit y avoir quelque chose qui transforme l'information en un code ou quelque chose comme ça pour être compréhensible par le cerveau

Dans une explication vitaliste ?

p 153. Kevin2 : C'est bien pour ça qu'il est fait le nerf optique; sa spécialité c'est il est spécialisé pour analyser l'image contrairement aux autres.

Suite à la présentation de l'affiche du groupe (première production) qui indique la transmission d'une image de l'oeil au cerveau par le nerf optique, Kevin (136,139) exprime son incompréhension sans réussir dans un premier temps à formuler ce qu'on peut appeler une impossibilité fonctionnelle : un nerf n'a pas les caractéristiques lui permettant de transmettre

une image (c'est à dire de la lumière).

Mais cette première tentative est reprise d'abord par Julie (148) qui articule une nécessaire transformation de l'image par le nerf optique et la possibilité d'une transmission codée en s'appuyant cependant sur un principe mécaniste (le cerveau doit comprendre). C'est ensuite Kévin(153) qui parvient à identifier la fonction spécifique du nerf (qu'il faudrait plutôt attribuer à la rétine de l'oeil) qui est de transformer l'image en message nerveux, et par conséquent à le rendre actif dans le processus de communication nerveuse.

D'autres élèves sont sur des positions dans lesquelles on peut reconnaître le centralisme cérébral :

p 141. Kévin1 : Le cerveau contrôle tout le corps donc c'est le cerveau qui fait bouger tous les membres donc je pense que c'est le cerveau qui transforme tout, le cerveau qui va transformer l'information visuelle qui passe par le nerf optique qui va être changé en je ne sais pas quoi qui passe dans le nerf qui va dans les muscles.

p 173. Martin : Car c'est le cerveau qui décide de se concentrer que sur le feu qui passe au vert parce que c'est ce qu'il regarde le reste il le voit parce que c'est dans son champ de vision mais sinon; c'est le cerveau qui commande tout de toute façon ; même quand tu touches quelque chose c'est tes doigts qui te dit mais c'est le cerveau qui réfléchit.

Dans ce deuxième cas au contraire, seul le cerveau est actif (141, 173), les nerfs et les récepteurs sensoriels transmettant passivement soit les informations extérieures (141) soit les ordres du cerveau (141, 173).

• 3.2.3. *Bilan : des explications mécanistes et vitalistes de la communication nerveuse*

Comme nous venons de le voir, le travail sur la transmission cerveau muscles rejoint les constats faits en CM2 :

1. des principes mécanistes mobilisés, d'où
2. des modèles dans lesquels à la passivité des nerfs vient s'ajouter à la confusion fréquente entre message et énergie,
3. Le rôle moteur du cerveau qui en découle.

Cependant, dans le débat qui a eu lieu sur les modalités de la communication entre oeil et cerveau, émerge la construction du problème de la transformation de la lumière (ou de l'image) en une information codée ; dans l'argumentation resurgit le centralisme cérébral (explication mécaniste) mais aussi des raisons qui nous semblent se rapprocher d'un certain vitalisme quand il est question de spécificité des structures nerveuses.

■ 3.3. *Exploration des possibles en PE¹⁴² : Une explication neuronale*

• 3.3.1. *Analyse des productions écrites et orales*

Les productions que l'on peut obtenir en questionnant des étudiants sur les mêmes thèmes que ceux utilisés en CM2 ou en 3ème sont bien sûr très différentes selon le parcours universitaire de ceux-ci. Nous avons choisi un groupe de travail d'étudiantes ayant eu un parcours scientifique (2 ont une licence de biologie et les 2 autres un bac scientifique). Nos analyses portent sur la production écrite et sur le débat autour de cette production en grand groupe.

L'explication donnée du mouvement de flexion du bras (pour ramener un objet) consécutivement à la vue de cet objet comporte deux volets :

- voie ascendante (première affiche) expliquant les modalités sensorielles (vue et toucher) aboutissant au cerveau ;
- voie descendante (seconde affiche) pour la motricité aboutissant aux deux muscles antagonistes permettant la flexion.

¹⁴²PE : étudiants préparant le concours de professorat des écoles

Ces deux voies ont comme supports des neurones et leurs prolongements.

Deux points nous semblent importants à souligner car ils sont récurrents dans les productions de même type :

- l'absence d'afférences sensorielles issues des muscles et articulations pourtant nécessaires pour la coordination des muscles antagonistes et l'ajustement du mouvement.
- l'absence de modélisation de l'intégration au niveau cortical et une modélisation de celle-ci dans la moelle épinière extrêmement simpliste et incomplète puisqu'elle ne comporte aucune afférence sensorielle.

Un extrait du débat va aider à préciser le type d'explication utilisé par ces étudiantes.

436. Emilie : Il est relié aux os de l'avant-bras et tire l'avant-bras ; alors ça c'est le muscle on dira agoniste et le muscle triceps pour permettre le mouvement du bras doit se relâcher parce que s'il se contractait aussi le bras resterait tendu ; c'est ce qu'on appelle le muscle antagoniste et lui il a besoin de relâchement pour pouvoir permettre le mouvement de redressement du bras. Donc on pense qu'il y a une voie descendante du cerveau et passant par la moelle épinière et cette voie fait une divergence qui inhibe le muscle antagoniste en l'inhibant c'est à dire qu'il est au repos il provoque le relâchement de ce muscle et active le muscle par l'intermédiaire de nerfs, active le biceps l'agoniste pour permettre la flexion.

485 Emilie : Alors que là au niveau du circuit réflexe, il ressent quelque chose, ça va au niveau de la moelle épinière, ça revient au niveau du muscle pour pouvoir intervenir pour pouvoir retirer la main.

486 E : Et ça ce n'est pas de l'intégration ?

487 Emilie : C'est de la transmission au niveau... il y a un circuit moteur.

La discussion confirme les indications données par les productions écrites.

La coordination des muscles antagonistes dépend du cerveau , la moelle épinière n'étant qu'un intermédiaire passif avec un simple rôle de transmission (481)

Ce rôle de simple transmission est confirmé dans les interventions suivantes (485, 486, 487), l'intégration semblant réservée au cerveau pour des opérations autres que réflexes.

• 3.3.2. Bilan : résistance et récurrence du centralisme cérébral

On observe que bien qu'ayant acquis des connaissances précises en physiologie nerveuse (comme le montrent le vocabulaire utilisé et les schémas construits), les étudiants issus de licence de biologie ont quelques difficultés pour construire et résoudre un problème de physiologie nerveuse en dépassant le centralisme cérébral et en mobilisant de façon adéquate le concept d'intégration tel que Sherrington (1906) l'envisageait.

4. Conclusion : Comment penser les apprentissages en physiologie nerveuse ?

Les registres explicatifs mécaniste, vitalistes, cybernétique et physico-chimique, s'ils définissent entre autres

choses les entités et relations entre les entités servant à expliquer les phénomènes, ont utilisé soit des lois générales applicables au vivant ou à l'inerte sans distinction (mécaniste, cybernétique, physico-chimique) soit des lois spécifiques au vivant (vitalisme au sens strict), soit des lois applicables aux deux mais dont on ne connaît pas forcément les modalités d'application pour le vivant (vitalisme de Prochaska ou Cl. Bernard).

Implicitement l'enseignement de la physiologie nerveuse utilise un REX bio physico-chimique sans cependant en discuter les limites ni se préoccuper de la façon dont les élèves vont se l'approprier en fonction de leurs conceptions. Or il semble que spontanément, les élèves ou étudiants mobilisent des explications mécanistes, ce qui les conduit à :

- attribuer au cerveau le seul rôle actif et en conséquence, négliger ce qui se passe au niveau des récepteurs sensoriels et de la moelle épinière considérés comme passifs ;
- donner au cerveau le rôle moteur et en conséquence confondre message et énergie ;
- considérer le cerveau comme une boîte noire trop complexe et en conséquence refuser d'en analyser le fonctionnement en tant qu'organe.

Comme nous venons de le voir, l'explicitation des modèles explicatifs des élèves, leurs critiques et les argumentations qui peuvent être développées au cours de débats en classe sont susceptibles de les aider à identifier, voire dépasser certaines formes du centralisme cérébral, que l'on peut sans doute qualifier d'obstacle épistémologique (Bachelard, 1949). Cela nécessite cependant une vigilance du point de vue de l'enseignant qui ne peut être obtenue que par une bonne connaissance épistémologique du domaine considéré.

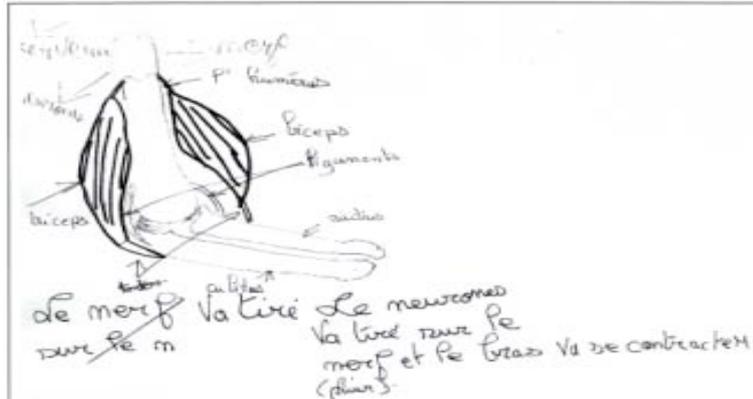
Bibliographie

- ATLAN H. (1992). *L'organisation biologique et la théorie de l'information*. Paris : Hermann.
- BACHELARD G. (1989). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BEORCHIA F. (2003). *La communication nerveuse : conceptions des apprenants et problématisation. Importance des explications mécanistes et vitalistes*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Nantes, Nantes.
- CANGUILHEM G. (1955). *La formation du concept de réflexe aux XVII^e et XVIII^e siècles*. Paris : Vrin.
- CHANGEUX J.-P. (1983). *L'homme neuronal*. Paris : Fayard.
- DESCARTES R. (1992). *Discours de la méthode suivi d'extraits de la dioptrique ,des météores, du monde, de l'homme*. Paris : Flammarion.
- DESCARTES R. (1970). *Œuvres et Lettres. La Dioptrique*. Bruges : Gallimard ".
- JOHSUA S. DUPIN J.J. (1993). *Introduction à la didactique des mathématiques et des sciences expérimentales*. Paris : PUF.
- KUHN T.S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- LEGUYADER H. (1988). *Théories et histoire en biologie*. Paris : Vrin.
- ORANGE C. (2001). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- PIAGET J. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- POPPER K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Flammarion.
- POPPER K. (1985). *Conjecture et réfutations*. Paris : Payot.
- TOULMIN S. (1973). *L'explication scientifique*. Paris : Armand Colin.

Annexe 1.

Production du groupe II : Julie, Mélanie, Audrey.

- 1) Entre le cerveau et les muscles il y a un nerf (soit le nerf scapulaire), ce nerf va sur le muscle grâce aux neurones.
- 2) Le cerveau donne l'ordre de vivre sur le muscle.

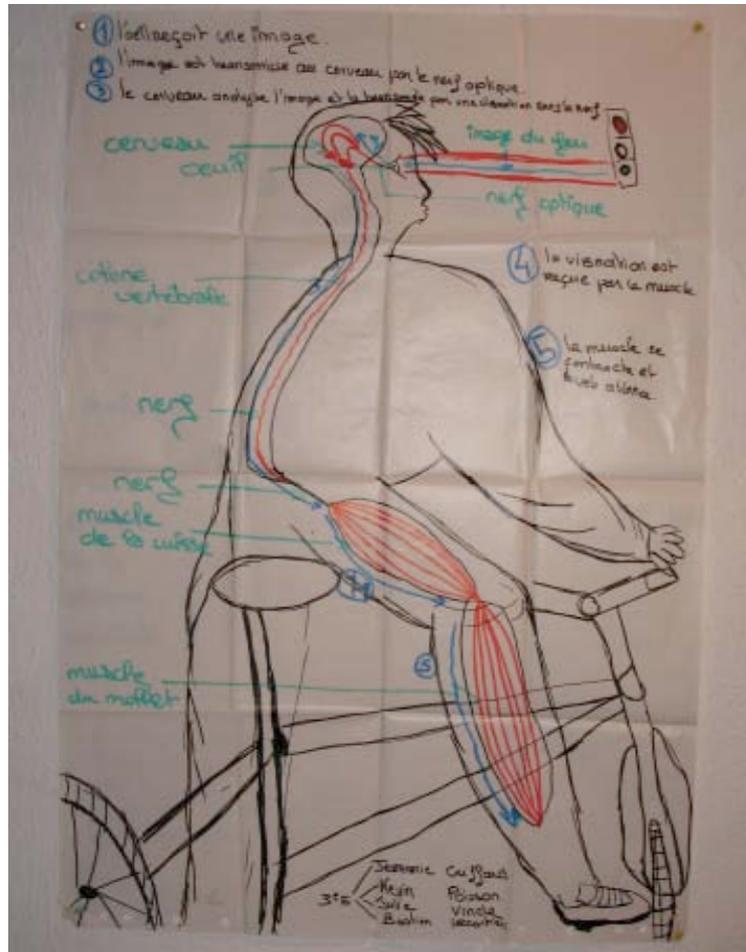


Le cerveau est relié au muscle par un tuyau (le nerf), qui lui transmet des sortes de messages. Dans le tuyau il y a des neurones (sorte de boule). Dès que le message arrive dans le muscle, il se contracte. Les neurones se rejoignent au muscle.

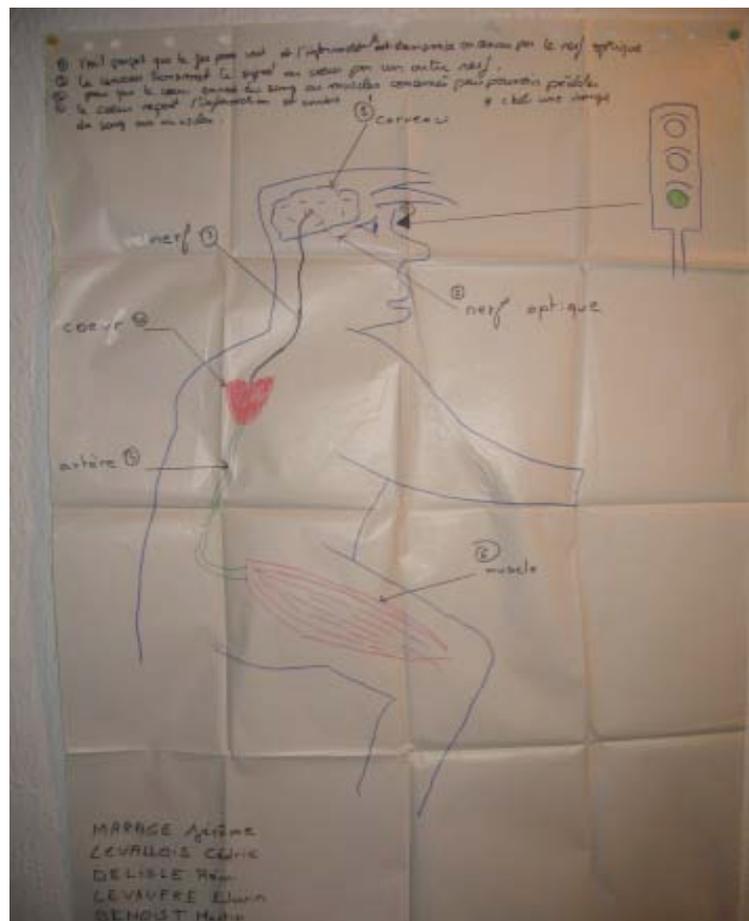
Entre le cerveau et les muscles il y a du sang, des veines, des vaisseaux sanguins et le nerf.



Annexe 2.



Annexe 3.



La régulation : un concept transversal

Patricia Schneeberger¹⁴³

1. Introduction

Plusieurs travaux :

P. Schneeberger (thèse, 1992) ; G. Rumelhard, 1994 ; M. Dhouibi (2006).

Des questions de recherche :

- La légitimité épistémologique de l'utilisation de la méthode systémique dans l'enseignement de la régulation de la glycémie.
- La relation élève / modèle : la manière avec laquelle l'élève construit, s'approprie et applique un modèle formel dans le cadre de la régulation de la glycémie.

2. Cadre théorique

Considérant que les pratiques sont constitutives des savoirs, la transposition, pour la classe, des pratiques de la communauté scientifique conduit à s'interroger sur les caractéristiques de ces pratiques.

■ 2.1. Options épistémologiques

- *L'approche systémique*
 - concevoir les êtres vivants comme des systèmes, c'est-à-dire comme un ensemble d'éléments en interaction.
 - mettre en valeur non seulement les fonctions impliquées dans une régulation mais aussi les interactions existant entre ces fonctions.
- *La modélisation*
 - Du fait de sa complexité, un système vivant doit être appréhendé à travers un modèle.

¹⁴³ IUFM d'Aquitaine ; LACES, Université Victor Ségalen, Bordeaux

→ La modélisation d'un système requiert une analyse préliminaire de son organisation (C. Orange, 1997) qui peut se faire selon deux approches : une approche anatomique et une approche fonctionnelle.

■ **2.2. Options didactiques**

- *L'idée d'obstacle liée à l'idée de connaissance.*

L'obstacle réside dans l'acte même de connaître : Bachelard repris par les didacticiens.

- *La construction d'un modèle explicatif qui rend compte d'une fonction*

Il s'agit de comprendre un fonctionnement en minimisant l'importance à accorder à la description ou à la topologie des organes qui conduit généralement à un récit, donnant parfois donner l'illusion d'une explication.

- *Le débat scientifique dans la classe*

La prise en compte de différents points de vue et les négociations qui en découlent constituent une étape indispensable dans la construction des savoirs en jeu.

3. Un renversement à opérer

Le cœur de la recherche des obstacles épistémologiques se situe « dans l'analyse des résistances et dans les débats qui les ont vaincues » et c'est là « qu'il faut chercher les éléments qui permettront d'identifier les obstacles pour les élèves ». (G. Brousseau)¹.

■ **3.1. Quelques éléments d'histoire des sciences**

- *Controverse entre Newton et Leibniz*

<i>Idee d'un Monde qui se dégrade</i>	<i>Idee d'un Monde immuable</i>
Principe des causes occasionnelles : Dieu intervient en permanence pour rectifier le Monde	Conservation de constantes initiales : Leibniz défend contre Newton l'idée d'un Monde immuable, parfaitement réglé où la régularité est une propriété d'origine

En physiologie, l'idée leibnizienne sera valorisée ce qui aura pour conséquence de penser l'objet de la physiologie comme "des systèmes sur lesquels l'histoire et ses aléas n'ont pas de prise".

- *Régulation par l'extérieur ou par l'intérieur*

Auguste Comte : l'action du milieu sur l'organisme permet d'expliquer la stabilité des vivants

et « *c'est la stabilité du système solaire qui stabilise les systèmes vivants par la médiation des milieux* ». (Canguilhem, 1977). C'est l'extérieur qui règle l'intérieur : « *Le milieu constitue donc le principal régulateur de l'organisme...* » (*Système de politique positive*).

Claude Bernard, en montrant la présence d'un stockage de réserves énergétiques à l'intérieur de l'organisme, a pu expliquer le maintien de la teneur en glucose du sang à une valeur constante. Il s'agit alors d'une régulation interne à l'organisme. La constance du sang devient la condition d'une vie « *libre et indépendante* » (1878).

Le milieu intérieur permet d'assurer une certaine *autonomie par rapport aux variations du milieu extérieur* en servant « d'amortisseur ».

■ 3.2. Analyse des curriculums (depuis 1952)

- *L'organisme considéré comme un système bien réglé*

« À tout instant, l'organisme maintient sa vie (...) grâce au jeu bien réglé de ses grandes fonctions ».

CAMEFORT et GAMA, Sciences naturelle, Terminale D, 1953.

- *L'organisme considéré comme étant en constante relation avec le milieu extérieur*

Ce ne sont pas que des organes qui font l'objet de régulation mais des valeurs telles que la pression artérielle, le taux de CO₂ dans le sang ou la pression osmotique.

L'analyse des mécanismes régulateurs ou adaptateurs fait appel à l'existence d'une rétroaction qui permet d'éviter de trop grandes fluctuations.

■ 3.3. Changement conceptuel / changement méthodologique

Comment renverser les idées des élèves quand elles font obstacle à l'apprentissage ?

- *Changement conceptuel*

Construction de dispositifs d'enseignement visant à dépasser un obstacle préalablement repéré « dans la mesure où ces obstacles ont une signification épistémologique profonde, ils fournissent la clé pour formuler les buts les plus essentiels de l'éducation... » et il s'agira alors « de faire de leur franchissement les vrais objectifs conceptuels » (Martinand, 1986).

- *Changement méthodologique*

Rapprocher le travail des élèves des caractéristiques du travail scientifique en accordant davantage d'attention aux aspects méthodologiques « *un changement conceptuel exige et comporte des changements méthodologiques et épistémologiques* » (Gil-Perez, 1993).

4. La démarche de modélisation

■ 4.1. Une pratique scientifique

- Le recours aux modèles est un des aspects importants du travail scientifique.
- L'emploi des modèles s'étant révélé fécond du point de vue heuristique, il paraît légitime de les introduire dans l'enseignement.
- Un risque de confusion entre le modèle et la réalité.

En aucun cas le modèle en science n'est une copie du réel. « Il représente non pas les propriétés du réel, mais seulement certaines propriétés. Il a une fonction sélective des données ou pseudo-données de l'expérience ; il sépare le pertinent du non pertinent par rapport à la problématique considérée ». (S. Bachelard,

■ 4.2. Deux types de modélisation

- - La modélisation symbolique ou analytico-organique

Exemple pris dans un manuel :

1. "La glycémie, une constante physiologique".
2. Le rôle du foie dans la mise en réserve du glucose.
3. "Des données cliniques et expérimentales" : le rôle joué par le pancréas.
4. "Une hormone hypoglycémiante, l'insuline"
5. "Un système d'hormones hyperglycémiantes, comment elles agissent, comment leur sécrétion est déclenchée.
6. schéma de synthèse

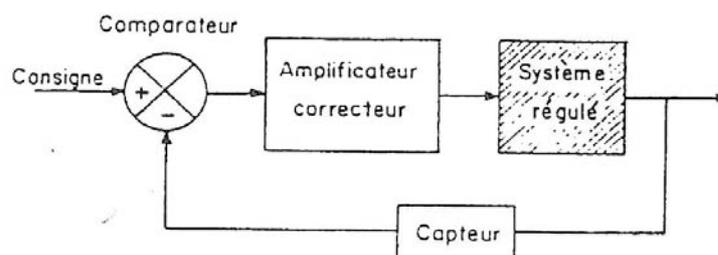
- - La modélisation formelle ou structurale

- Cette approche consiste à subdiviser le système en parties fonctionnelles élémentaires et à rechercher les interactions établies entre ces fonctions.

- Cette prise de distance avec l'anatomie définit la modélisation formelle dans la biologie.

- Le modèle cybernétique

Figure 1. Schéma d'un système cybernétique



Les sous-systèmes :

- **un capteur**, système d'observation qui transforme une grandeur physique, matérielle ou énergétique, liée à la variation de la variable de sortie en une grandeur informationnelle ;
- **un comparateur**, système qui détecte l'écart entre la variable de sortie et les variables de commande ;
- **un effecteur ou correcteur**, système de correction qui transforme une grandeur informationnelle en une grandeur physique et qui possède une fonction d'action ou d'exécution.

Application au cas de la glycémie

Le milieu intérieur est le système réglé

Le taux de glycémie est la valeur de sortie

- Le capteur : cellules α et β du pancréas.
- Le comparateur : le pancréas.
- L'effecteur : le foie, les muscles et le tissu adipeux.

■ 4.3. Introduire le modèle par une expérience simple

Exemple observé dans la classe de Marcelle Goix, Lycée Pape Clément, Pessac (Gironde)

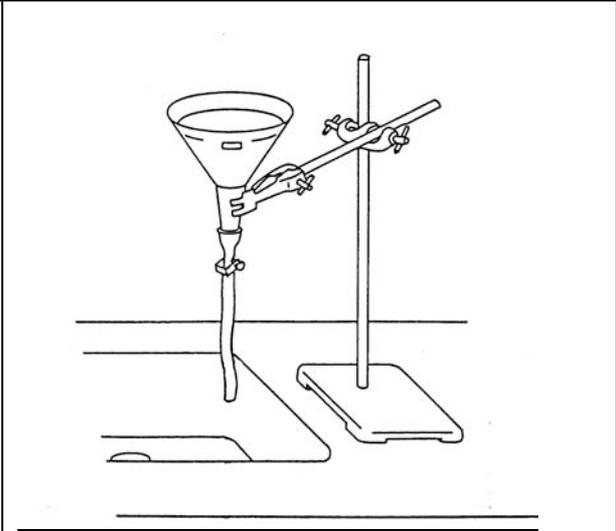
Le professeur commence par introduire un questionnement à propos de la variation glycémique journalière. Des courbes concernant les variations de la glycémie de plusieurs individus pendant la journée ont été distribuées aux élèves. Les élèves analysent ces courbes et constatent que la glycémie, après perturbation, revient toujours à la même valeur. Ils proposent des explications faisant intervenir en particulier des organes de stockage (estomac, graisses) et le professeur propose d'étudier la question de la mobilisation des réserves en utilisant un modèle.

Les élèves sont répartis en 5 groupes. Chaque groupe dispose du matériel suivant : un entonnoir rempli d'eau relié à un tube flexible comprimé par une pince (qu'on peut utiliser comme un robinet en serrant plus ou moins à l'aide d'une vis), un bécher, une réserve d'eau.

Les élèves doivent s'organiser pour garder le niveau d'eau constant dans l'entonnoir après une perturbation (augmentation ou baisse du niveau d'eau dans l'entonnoir). Ils doivent respecter les règles suivantes :

- chaque élève ne peut réaliser qu'une seule action ;
- chaque élève ne communique qu'avec une seule des personnes du groupe à l'exception de celle qui a fait l'action précédente.

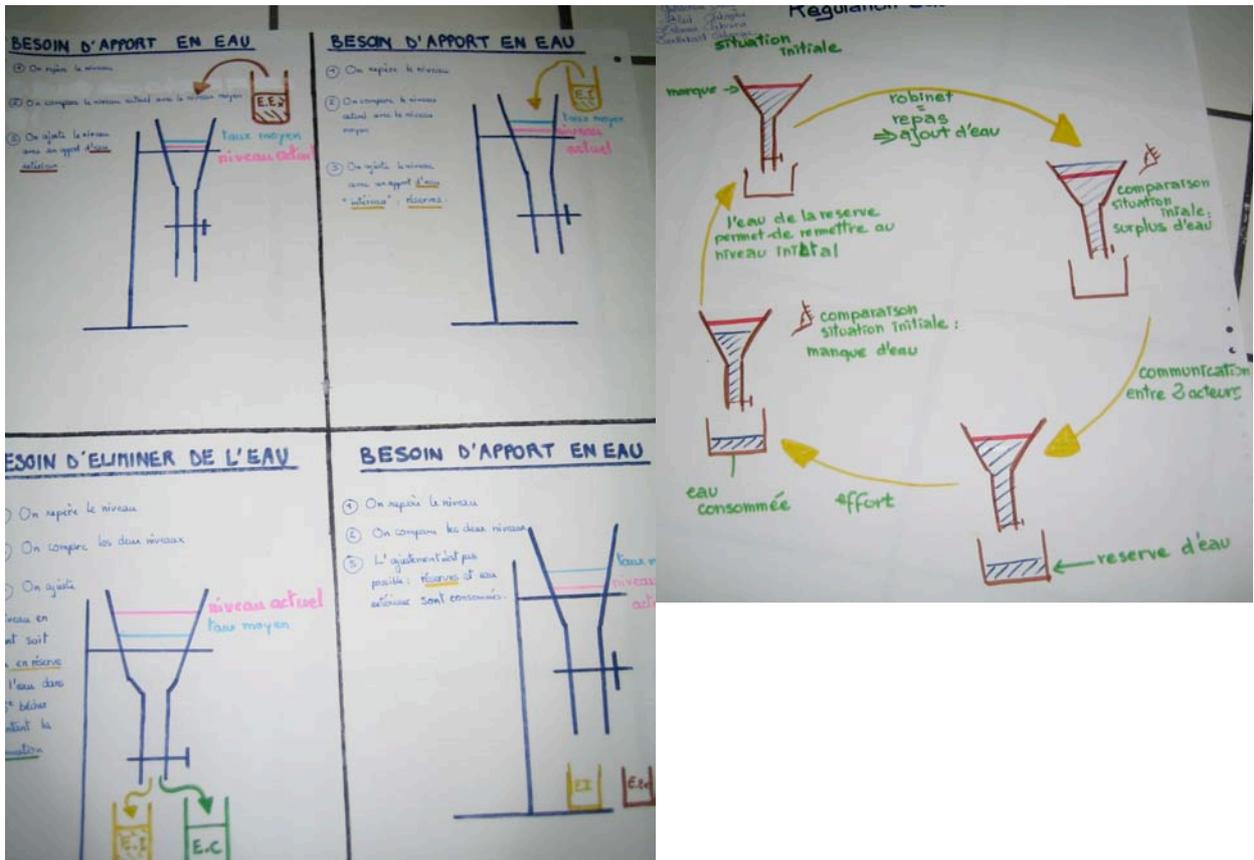
L'élève A fait une marque (avec un marqueur ou un scotch) sur l'entonnoir et le remplit d'eau jusqu'au niveau ainsi défini.
 L'élève B ouvre et ferme à intervalles irréguliers et avec un débit variable le robinet d'écoulement d'eau (sous l'entonnoir)
 L'élève C lit le niveau d'eau dans l'entonnoir et transmet l'information à l'élève D.
 L'élève D indique à l'élève E la correction à appliquer pour revenir au niveau de la marque initiale.
 L'élève E exécute la correction en suivant les consignes de l'élève D.



Décrire l'expérience et en donner une représentation schématique

Chaque groupe doit réaliser sur une affiche un schéma qui rend compte des activités physiques et intellectuelles réalisées au cours de cette expérience. Les affiches sont ensuite présentées devant la classe et une liste des opérations réalisées est établie (figure 2).

Figure 2. Exemples de productions d'élèves



Le professeur donne alors la correspondance (figure 3) entre les éléments du dispositif utilisé et les composantes du modèle cybernétique.

Figure 3. Correspondance rôle de l'élève et modèle cybernétique

Grandeur régulée	hauteur d'eau dans l'entonnoir
Élève A	organe de commandement
Élève B	organe qui parasite
Élève C	organe de mesure
Élève D	régulateur
Élève E	organe de correction
<i>Transmission des informations</i>	
De A à D	sur la valeur désirée
De C à D	sur la valeur actuelle
De D à E	sur la valeur de correction

■ 4.4. Utiliser un modèle pour apprendre

La séance précédente aboutit aux questions suivantes :

- Peut-on appliquer ce modèle au cas de la glycémie ?
- Dans le cas de la glycémie existe-t-il un capteur, un effecteur, un comparateur...

La deuxième séance est consacrée à l'exploitation de données empiriques.

- *Première étape (une heure)*

Au cours de la première heure de la séance, les élèves sont divisés en cinq groupes. Chaque groupe dispose d'une série de documents¹⁴⁴ qu'il doit étudier pour répondre aux questions suivantes : *existe-t-il, dans le cas de la glycémie, un comparateur, un capteur, un effecteur, une circulation d'information, une réserve ?*

Les documents donnés étant différents d'un groupe à un autre, chaque groupe a la possibilité d'étudier un ou deux éléments, seulement, de la régulation glycémique.

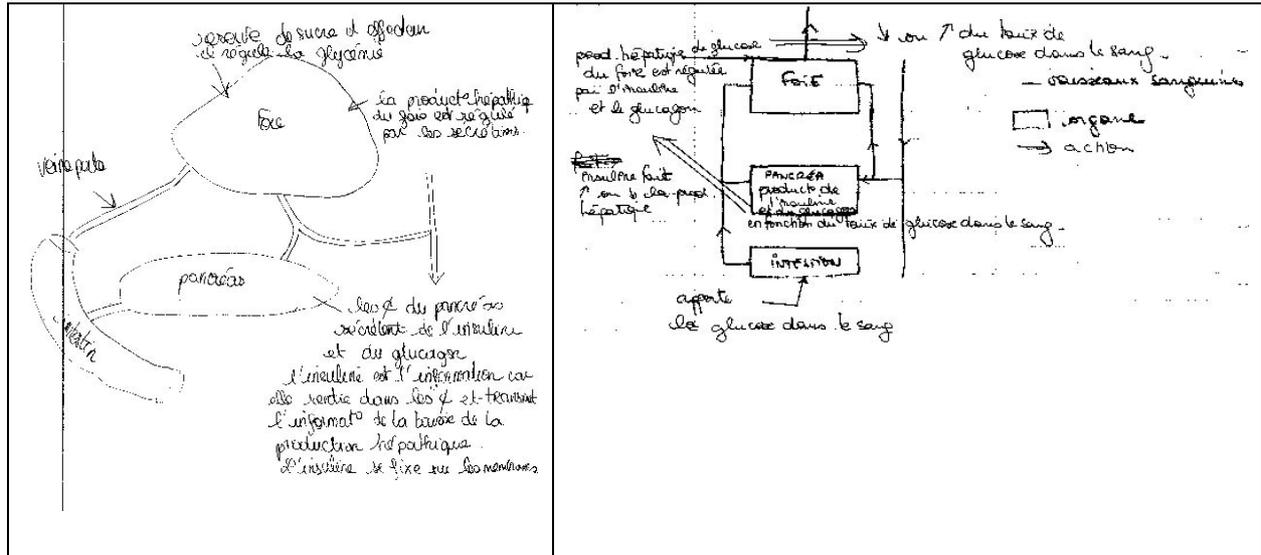
- *Deuxième étape (une heure)*

Les élèves doivent se répartir de nouveau pour former de nouveaux groupes. Chaque nouveau groupe doit contenir au moins un élève des premiers groupes. Ainsi, chaque groupe a la possibilité de discuter de tous les documents présentés par le professeur. Chaque élève a pour mission d'expliquer à ses camarades du groupe le résultat des analyses des documents faites pendant la première heure. L'enseignant, en posant des questions, stimule les débats des élèves et les pousse à expliciter leurs arguments pendant les discussions.

À la fin de la séance, chaque élève doit produire un compte-rendu individuel faisant la synthèse de l'étude de tous les documents, sous forme d'un schéma ou d'un texte (figure 4).

¹⁴⁴ Il s'agit de documents présentant des observations cliniques et des résultats expérimentaux portant sur le rôle des différents organes (foie, pancréas, tissu musculaire, tissu adipeux) intervenant dans la régulation de la glycémie stockée et sur les hormones régulatrices. Ces documents sont extraits de manuels de première S.

Figure 4. Exemples de schémas de synthèse produits par des élèves



■ 4.5. Bilan

Cette stratégie est basée sur la comparaison entre des données obtenues expérimentalement et les résultats théoriques fournis par le modèle, obligeant à des allers-retours entre le champ empirique et un ensemble d'hypothèses sur le système de régulation étudié.

Cette façon de procéder présente plusieurs intérêts :

- elle permet d'établir une distance entre l'explication et l'objet biologique en faisant apparaître le caractère construit du modèle et ses limites ;
- elle s'applique à différents exemples de régulation ;
- elle permet d'envisager l'approche expérimentale comme une des composantes du travail du chercheur (et non l'unique) et de montrer comment elle se combine avec l'utilisation de modèles.

5. Un exemple de débat en Première S

Analyse du débat au sein d'un groupe d'élèves de première S de la classe de Marcelle Goix (Lycée Pape Clément, Pessac, Gironde).

■ 5.1. Intérêt du débat scientifique dans la classe

- Le débat constitue l'occasion pour les élèves de formuler des arguments et d'explicitier leurs fondements.
- Construction d'un modèle dans/par l'interaction.
- La négociation de significations.
- La construction de preuves.
- La construction du problème.

■ 5.2. Passer du modèle analogique à un modèle formel

- *Identification des différents éléments du système*

Les élèves passent d'un document à l'autre sans parvenir à statuer quelle fonction chaque document permet d'illustrer. Pour sortir de cette impasse, ils redéfinissent les différentes fonctions, en se référant au modèle de la régulation du niveau d'eau. Ils dissocient les fonctions et les personnes qui les ont effectuées même s'ils continuent à personnifier les éléments de la régulation :

26 Camille : C'est des perturbateurs / des perturbateurs parce que ça a changé le...
27 Cécile : ça explique après.
28 Benoît : Ah ! oui / ça a rien changé de tout.
29 Camille : ben si ! ça // ça a rien augmenté la taille.
30 Benoît : ça ne perturbe rien de tout / ça augmenté la taille.
31 Cécile : Voilà ! si c'est la glycémie / c'est peut être que ça augmenté dans le sang.
32 Camille : Voilà ! la concentration a augmenté.
33 Cécile : donc perturbateur.
34 Camille : voilà ce que disent eux.
35 Cécile : Oui.
36 Camille : On s'en fout ou on passe aux comparateurs de valeurs.
58 Virginie : Dans notre groupe c'était / hum / Aurélie / Aurélie / elle était quoi ?
59 Camille : Aurélie / Heu...
60 Benoît : Partout / Tu disais que tu ouvrais le robinet...heu.
61 Camille : C'est elle qui ouvrait le robinet.
77 Camille : Voilà / Lui il voit tandis que l'autre il fait une comparaison /
78 Cécile : Tu vois / le comparateur c'est le cerveau du groupe /
79 Virginie : Et l'effecteur /
80 Virginie : L'effecteur c'est celui qui fait les actions /

- *Les interactions entre les fonctions de la régulation,*

Par exemple : nécessité d'une relation entre la réserve et l'effecteur.

177 Virginie : *Mais c'est parce que l'effecteur avait besoin de la réserve /*
188 Virginie : *parce qu'en fait la réserve ça va avec l'effecteur parce que l'effecteur pour / heu / pour stabiliser l'eau il avait besoin de réserve*

- *Des expériences à analyser*

La figure 5 présente des exemples de documents fournis aux élèves.

Figure 5. Exemples de documents fournis aux élèves

Vascularisation du foie

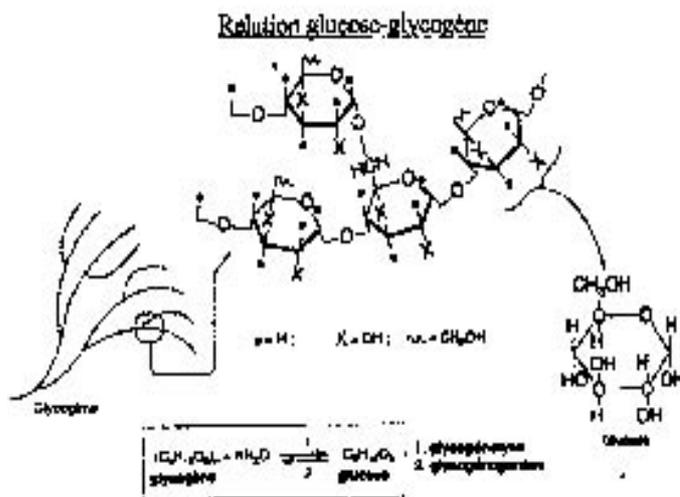
Labels: Veine cave inférieure, Veine sus-hépatique, Foie, Veine porte hépatique, Intestin (duodénum), Retour veineux du pancréas, Artère aorte, Artère hépatique, Irrigation artérielle du pancréas, Pancréas, Canal pancréatique.

Glycémie	jeûne
Veine porte (1)	0
Veines sus-hépatiques (2)	0.85

Variations de la glycémie de part et d'autre du foie

Glycémie	Après 30 mn	Après 60 mn	Après 180 mn
Veine porte	2.85	1.05	0.20
Veines sus-hépatiques	1.25	1.1	0.95

Observation au microscope électronique à transmission		d'hépatocytes
Avant un repas	Après un repas	



Un épisode de co-construction

Au début, les élèves proposent plusieurs interprétations, en établissant des relations entre les données empiriques et le modèle. Ils tentent préciser la signification de chaque fonction du système de la régulation ce qui les conduit à attribuer à l'intestin des fonctions différentes (*effecteur, réserve, perturbateur*). Ensuite, ils redéfinissent les éléments du modèle en le faisant fonctionner sur l'exemple.

- 97 Cécile : *Non / l'intestin c'est l'effecteur.*
 98 Camille : *Non / Euh non.*
 99 Cécile : *puisque c'est lui qui fait augmenter...*
 100 Virginie : *L'intestin c'est la réserve.*
 101 Camille : *oui / c'est la réserve.*
 102 Benoît : *mais non !*
 103 Camille : *Non / l'intestin je ne crois pas.*
 104 Benoît : *l'intestin c'est par là ou arrivent les aliments extérieurs / C'est l'effecteur / c'est lui qui augmente // augmente // le taux de glucose.*
 105 Virginie : *non / l'effecteur // (R) // je ne suis pas sûr (R).*
- 106 Alexis : *Le perturbateur / c'est toujours d'ingérer ou de pas ingérer / Euh !...*
 107 Camille : *Oui / c'est vrai.*
 108 Cécile : *Oui le perturbateur / C'est le repas et Euh...*
 109 Alexis : *Et le sport / donc après ça va dans l'intestin.*

La construction de preuves

- 110 Camille : *Mais le foie c'est bizarre // ah ! c'est à dire que la veine sus-hépatique il y en a et il y en a pas c'est à dire qu'il y en est resté dans le foie.*
 111 Virginie : *Oui / c'est la réserve.*
 112 Camille : *c'est à dire que c'est la réserve.*
 113 Benoît : *Voilà!*
 114 Camille : *On peut mettre réserve.*

Les élèves reprennent l'analyse du document et sélectionnent des éléments permettant d'attribuer une fonction au foie, en se référant au registre des modèles. Ils parviennent à trouver une donnée empirique pertinente par rapport au modèle : la variation de la concentration du glucose entrant et sortant du foie. Toutefois le rôle de réserve du foie ne sera véritablement admis que lorsque les élèves auront compris la signification des variations du taux de glycogène dans le foie.

Une série de mises en relation

Relier le changement de taille des granules de glycogène à l'augmentation du taux de glucose dans le sang.

30 - Benoît : *Ça ne perturbe rien de tout, ça a augmenté la taille /*
31 - Cécile : *Voilà / Si c'est la glycémie c'est peut être que ça augmenté dans le sang /*
32 - Camille : *Voilà / La concentration a augmenté //*

Relier le rôle de réserve du foie à la possibilité d'obtenir du glucose à partir du glycogène.

161 - Cécile : *« En fait le contenant de la réserve c'est le foie et le contenu de la réserve c'est le glycogène ».*

Construction d'une nécessité

Fonction de déstockage ou de production de glucose.

152 - Cécile : *Il doit avoir une fonction / le glycogène hein /*
153 - Benoît : *Faire du glucose /*
(...)
155 - Virginie : *Mais c'est la synthèse / Ben oui c'est la réserve // grâce à ça on peut faire de nouveau du glucose en fait (...).*

La construction du problème

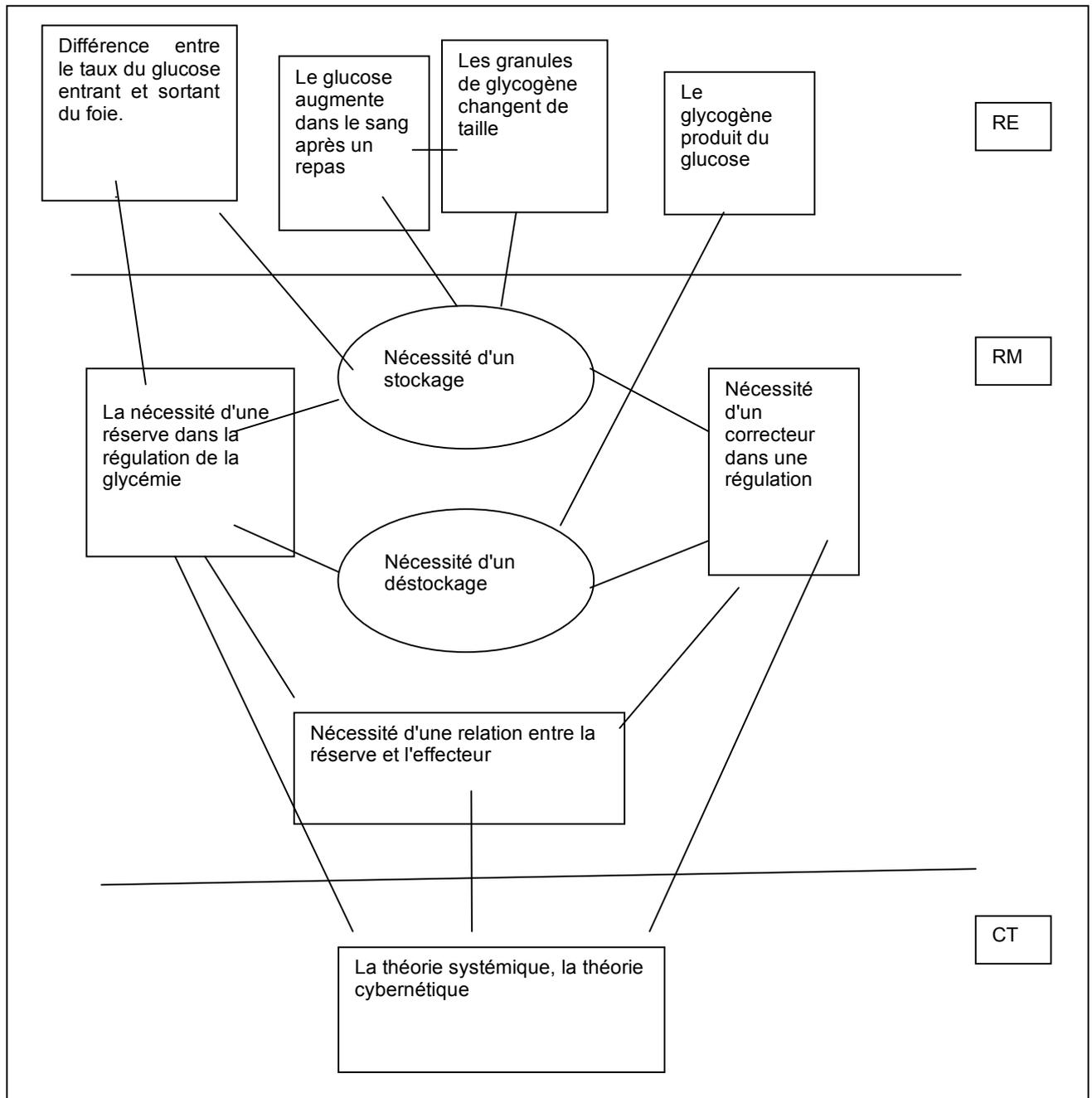
La comparaison entre le taux du glucose entrant et sortant du foie a permis aux élèves de construire la nécessité de la rétention du glucose par le foie. En mettant en tension le registre empirique et le registre des modèles, Virginie a établi l'existence d'une réserve de glucose dans le foie, réserve mobilisable dans la régulation de la glycémie

Après s'être mis d'accord sur l'augmentation des granules des hépatocytes après un repas, les élèves interprètent cette donnée empirique en utilisant le modèle pour la relier à l'augmentation du taux de glucose dans le sang..

Une fois la nature et la localisation de glycogène connue, le rôle de réserve du foie est attribué à la possibilité d'obtenir du glucose à partir du glycogène et donc de construire la nécessité d'une fonction de déstockage ou de production de glucose.

La figure 6 représente l'espace de contraintes en jeu dans ce débat en classe de première S.

Figure 6. Espace de contraintes en jeu dans un débat sur la glycémie en classe de première S



6. Conclusions

La spécificité du modèle cybernétique repose sur plusieurs principes :

- il met l'accent non pas sur la constance du milieu intérieur mais sur les processus qui interviennent pour rétablir l'équilibre malgré l'existence de facteurs perturbateurs ;
- il introduit l'idée d'un transfert d'informations entre les éléments du système, informations qui vont contrôler le transfert de matière ;
- il propose un formalisme symbolique qui permet de matérialiser les différentes interactions existant entre les éléments d'un système de régulation et de définir leur fonction, en particulier la rétroaction.

En faisant l'expérience d'une vision systémique du vivant, les élèves sont amenés à prendre conscience des limites de leurs conceptions premières, le plus souvent animistes ou vitalistes

Bibliographie

- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BAYRUBER H. & SCHAEFER G. (1978). *Kybernetische Biologie*. Kiel: IPN.
- BERNARD C. (1878-1879). *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*.
- CANGUILHEM G. (1968). Article « Vie ». *Encyclopaedia Universalis*.
- CANGUILHEM G. (1996). Article « La régulation ». *Encyclopaedia Universalis*.
- FABRE M. & ORANGE C. (1997). Construction de problèmes et franchissements d'obstacle. *Aster*, n°24, p. 43.
- FABRE M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- JACOB F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.
- JEBBARI S. (1994). *Schéma et schématisation : étude de quelques difficultés des élèves en biologie*. Thèse de doctorat, université Paris VII.
- LEMOIGNE J.-L. (1984). *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. Paris : PUF.
- MARTINAND J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum ? In J.-L. Martinand *et al.* *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- ORANGE C. (1994). Les modèles, de la mise en relation au fonctionnement. In J.-L. Martinand *et al.* *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, p. 25-43.
- ORANGE C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF, p.7.
- SCHNEEBERGER P. (1992). *Problèmes et difficultés dans l'enseignement d'un concept transversal : le concept de la régulation*. Thèse de doctorat, université Paris VII.
- SCHNEEBERGER P. (1994). Place des modèles dans l'enseignement du concept de régulation. In Rumelhard G. *La régulation en biologie, Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris : INRP.
- WALLISER B (1977). *Systèmes et modèles : introduction critique à l'analyse des systèmes*. Paris : Seuil.