



HAL
open science

Construire un problème : un premier pas vers l'investigation en sciences. Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contexte français et colombien

Luz Helena Martinez Barrera, C. de Hosson, Nicolas Décamp

► To cite this version:

Luz Helena Martinez Barrera, C. de Hosson, Nicolas Décamp. Construire un problème : un premier pas vers l'investigation en sciences. Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contexte français et colombien. Recherches en éducation, 2015. hal-01663272

HAL Id: hal-01663272

<https://hal.science/hal-01663272v1>

Submitted on 18 Dec 2017

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.

Construire un problème : un premier pas vers l'investigation en sciences. Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contexte français et colombien

Luz Helena Martínez Barrera, Cécile de Hosson, Nicolas Décamp¹

Résumé

L'enseignement des sciences expérimentales a subi des changements importants sur le plan des orientations pédagogiques prescrites. Ces changements reflètent l'évolution d'un cadre international dont l'une des caractéristiques est de mettre en avant des démarches plus ouvertes fondées sur « l'investigation ». Les programmes français et colombien, sujet de cette recherche, attendent des enseignants d'une part de concevoir des problèmes pouvant conduire à la mise en place de démarches expérimentales ouvertes et, d'autre part, de motiver les élèves à participer davantage aux processus de construction du savoir. Dans cette recherche, on s'intéresse aux conditions qui favorisent la construction d'un problème scientifique. Nous avons conçu une action de formation continue d'enseignants du primaire sans formation initiale scientifique qui visait à favoriser ce processus de construction. Nous avons fait le choix d'une thématique non familière des curricula scientifiques de l'école primaire : le rebond des boules. Le cadre de la « problématisation », appliqué à l'analyse des interactions langagières des enseignants engagés dans l'activité de construction d'un problème, permet de comprendre les éléments qui bloquent ou favorisent l'émergence de problèmes pouvant donner naissance à de l'investigation fondée sur de l'expérimentation et à la construction de connaissances associées au phénomène de rebond (influence de paramètres physiques, construction de grandeurs caractéristiques, etc.).

L'enseignement fondé sur l'investigation² s'est installé en tant qu'approche pédagogique pour l'enseignement des sciences dans la plupart des pays du monde³ (Anderson, 2007 ; Coquidé & al., 2009). L'existence d'un label choisi pour désigner une approche pédagogique pourrait laisser penser qu'il existe une définition consensuelle et « bien calibrée » de ce que cette approche recouvre (Dorier, 2012 ; Grangeat, 2013). On pourrait également s'attendre à ce qu'au label soit associé un processus standardisé, identifié et identifiable, ce qui est loin d'être le cas, l'enseignement fondé sur l'investigation semblant, au contraire, échapper à toute tentative de modélisation (Hayes, 2002 ; Grangeat, 2013)⁴. La diversité des formes prises par l'enseignement fondé sur l'investigation semble faire écho à cette impossible gageure de définition. En effet, lorsqu'elles sont analysées par les chercheurs en éducation, les séances de classe se réclamant de l'investigation présentent une variabilité notable que ce soit dans les fiches pédagogiques disponibles sur certains sites académiques, par exemple (Mathé & al., 2008), ou dans les mises en œuvre effectives (Calmettes, 2009 ; Gyllenpalm & al., 2010 ; Boilevin, 2013).

Si donc chacun des chercheurs, enseignants, formateurs, etc., s'accorde aujourd'hui à considérer et, d'une certaine façon, à assumer, l'enseignement fondé sur l'investigation comme une approche pédagogique à facettes multiples, il n'en demeure pas moins que l'esprit général

¹ Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR), Université de Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité.

² Les curricula scientifiques de nombreux pays des quatre coins du Monde désignent l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation selon des dénominations variées, dénominations dont la littérature de recherche en éducation se fait témoin. Ces dénominations incluent les termes « inquiry », « indagación », « investigation » etc. Dans cet article, nous considérons ces dénominations comme l'expression d'une approche pédagogique générique.

³ American Association for the Advancement of Science (AAAS), National Research Council (NRC), Commission Européenne - Groupe de haut niveau sur l'enseignement scientifique, entre autres.

⁴ « Nailing down inquiry-based learning is a bit like trying to define the human soul » (Hayes 2002).

de cette approche apparaît gouverné par quelques mots, idées, principes relativement stables dans l'espace et dans le temps. Ainsi, l'enseignement par investigation promeut-il un apprentissage plutôt coopératif, reposant sur l'initiative et le questionnement de l'élève, un apprentissage soutenu par des démarches au sein desquelles l'enquête et la mise à l'épreuve expérimentale occupent une place prépondérante (Coquidé & al., 2009). Quelle que soit l'orchestration choisie, ces éléments se retrouvent généralement engagés dans un processus pédagogique se donnant pour but la résolution d'un problème. C'est le cas par exemple en France où la « démarche d'investigation », approche pédagogique de l'enseignement scientifique à l'école primaire, au collège et au lycée, fait de l'« appropriation » d'un problème scientifique le cœur de l'activité attendue des élèves (MEN, 2008, 2010). De l'autre côté de l'Atlantique, en Colombie (comme dans la plupart des pays d'Amérique Latine), l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation⁵ est également promu par les programmes scolaires et avec lui « l'identification » et « la résolution » de problèmes : « *La adquisición de unas metodologías basadas en el cuestionamiento científico, en el reconocimiento de las propias limitaciones, en el juicio crítico y razonado favorece la construcción de nuevas comprensiones, la identificación de problemas y la correspondiente búsqueda de alternativas de soluciones* » (Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Sociales y Ciencias Naturales, MinEdu, 2004, Colombia, p.104)⁶

Accorder au problème et à sa résolution une place didactique et pédagogique centrale renvoie à une double posture épistémologique et cognitive qui pose la construction des connaissances scientifiques en tant qu'acte de construction et de résolution de problèmes (Bachelard, 1938 ; Dewey, 1938) : « *Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique* ». (Bachelard, 1938, p.14).

Pourtant, alors que l'émergence du savoir scientifique apparaît procéder de ce double travail de construction et de résolution de problèmes, l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation semble, lui, privilégier l'étape de résolution : « *La démarche qui consiste à problématiser un objet de savoir pour l'enseigner est, dans la majorité des cas, étrangère à la pratique enseignante ; et ce ne sont pas les "activités", même affublées du qualificatif de "situations-problèmes", qui peuvent aller à l'encontre de cet état de fait* » (Matheron, 2010, p.13). En France, les programmes scolaires valorisent explicitement les étapes d'appropriation et de résolution d'un problème ; l'étape de construction n'apparaît pas particulièrement mise en avant. Engager les élèves dans des activités de construction d'un problème scientifique, au-delà de la seule activité de résolution, se présente comme un enjeu fort d'un enseignement des sciences soucieux de préserver, au sein de la classe, une certaine authenticité de la nature de l'activité scientifique. Cependant, la mise en place effective d'une pratique pédagogique alliant construction et résolution de problèmes reste dépendante des ressources disponibles et, par-delà des ressources, de la formation des enseignants.

La recherche que nous présentons ici se donne pour finalité d'alimenter de telles formations : elle doit permettre, à terme, de fournir à des enseignants confrontés à une modalité d'enseignement type « *inquiry* » ou « investigation » des points d'appui de nature méthodologique et épistémologique afin qu'ils approchent l'activité scientifique en tant qu'activités de construction et de résolution de problèmes avec leurs élèves. Il s'agit, par exemple, de leur faire prendre conscience qu'il existe, pour un même phénomène, pour une même situation, des problèmes différents par nature (Beorchia, 2005) ; ou encore, de les sensibiliser au fait que tous les problèmes, énoncés à partir d'une situation donnée, ne conduisent pas nécessairement à la construction d'une connaissance scientifique par l'intermédiaire d'expériences. Cet article rend compte des premiers résultats de cette recherche. Est étudiée ici la façon dont des enseignants de primaire, sans formation scientifique universitaire, conduisent une activité de

⁵ *Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación* ECBI

⁶ « L'acquisition de méthodologies fondées sur le questionnement scientifique, sur l'identification de limites d'application, sur le jugement critique, favorise la construction de nouvelles compréhensions, l'identification de problèmes et la recherche de solutions possibles » (notre traduction).

« problématisation » dans ses étapes de construction et de résolution (Fabre & Orange, 1997 ; Fabre, 2009) : *« Il n'y a pas problématisation si ne sont pas instaurés un auto-contrôle de la pensée, une dialectique entre données et conditions du problème. Ce qui nécessite de concevoir une logique de la recherche, centrée sur la construction du problème et pas seulement sur sa résolution »* (Fabre, 2009).

Nous allons donc placer les enseignants en situation de construction d'un problème. Pour cela, nous avons choisi d'investir une situation certes familière mais qui n'est traditionnellement pas étudiée dans les cursus scolaires : le rebond des balles.

1. Le rebond des balles, un phénomène problématisable : problématique et questions de recherche

Le phénomène du rebond a déjà été exploité dans le contexte de la recherche en didactique des sciences. Dans une étude conduite auprès d'élèves de fin de cycle secondaire (lycée), Langlois et ses collaborateurs (1995) ont montré qu'il s'agit d'un phénomène qui se laisse approcher diversement selon le degré d'ouverture de la consigne que l'on présente aux élèves. Plus spécifiquement, ils ont examiné la résolution des problèmes par les élèves pour deux énoncés différents (portant sur le même phénomène) : le premier orientait explicitement l'étude du rebond vers l'étude des propriétés des balles et engageait les élèves vers une analyse énergétique du choc ; le second, plus ouvert, invitait les élèves à étudier la « capacité d'une balle à rebondir » en examinant le premier rebond pour ensuite prédire le comportement d'autres balles de matériaux différents.

Dans le prolongement de ce travail, nous avons choisi d'investir le domaine de la construction des problèmes du côté enseignant, en poussant davantage encore l'ouverture de l'énoncé pour lui donner la forme suivante : « vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des boules, que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? » Contrairement aux énoncés précédents, celui-ci ne précise ni le traitement physique à appliquer (énergétique, par exemple) ni les observables (propriétés des matériaux, variables, etc.). Le phénomène du rebond devient ainsi une situation « indéterminée » au sens de Dewey (1938) mais sujette à enquête dont la nature est scientifique, dont on espère qu'elle va devenir, sous l'activité des enseignants, « déterminée » et « problématique », une situation dont on espère également qu'elle donnera naissance à de la connaissance scientifique.

La posture que nous choisissons d'adopter emprunte au processus d'« enquête » tel que porté par Dewey (1938) : *« L'enquête est la transformation contrôlée ou dirigée d'une situation indéterminée en une situation qui est déterminée en ses distinctions et relations constitutives qu'elle convertit les éléments de la situation originelle en un tout unifié »* (Dewey, 1938, p.169). Lorsque Dewey parle de situation, il l'envisage comme une rencontre entre un organisme (ici, les enseignants en formation) et son milieu. Selon lui, il y a problème lorsqu'un déséquilibre se fait jour dans la situation et que l'organisme ne peut y remédier immédiatement. En fait, la situation est indéterminée tant que le sujet la subit, elle devient problématique dès qu'il entreprend de la redresser, de la réorganiser (Fabre, 2009), dès qu'elle prend sens. Ce processus peut s'entendre comme une évolution progressive au cours de laquelle des problèmes différents émergent et se succèdent.

La recherche que nous présentons se donne pour but de caractériser l'activité de problématisation engagée par des enseignants à partir d'un énoncé ouvert portant sur un phénomène familier et non scolaire. Dans sa dimension prospective, cette recherche vise à nourrir l'élaboration d'un module de formation robuste, qui puisse être une réponse aux recommandations institutionnelles à l'échelle internationale. La mise en évidence de régularités au sein des deux populations d'enseignants permettra de traiter l'ensemble des groupes d'enseignants, français et colombiens, de manière indifférenciée. À l'inverse, la mise en évidence d'écart, de différences, nous conduira à formuler une nouvelle problématique engageant d'une

part, la recherche de causes possibles et, d'autre part, l'identification des adaptations nécessaires⁷. Plus particulièrement, il s'agit de savoir : quels sont les éléments moteurs de l'activité d'enseignants engagés dans la construction de problèmes ? Comment les enseignants lèvent-ils l'indétermination d'une situation ouverte pour en faire une situation problématique ?

2. Méthodologie de recherche

■ **L'activité de problématisation : un cadre pour l'installation et l'étude d'interactions conduisant à la construction d'un problème**

Nous adoptons le cadre théorique de l'activité de problématisation tel que défini par l'équipe du CREN, en particulier à la suite des travaux d'Orange en sciences de la vie et de la Terre (Orange, 2003 ; Lhoste, 2008 ; Crépin-Obert, 2010) afin d'analyser les éléments, tels qu'interactions entre pairs, confrontations expérimentales, etc., qui permettent la construction d'un problème associé au phénomène du rebond. Cette théorie d'inspiration bachelardienne considère la construction du savoir scientifique comme le produit d'un ensemble d'énoncés considérés comme nécessaires par les acteurs de la construction du savoir. Pour que ces énoncés soient reconnus comme des « nécessités » dans le cadre de l'activité de problématisation, il faut qu'ils articulent à la fois des énoncés portant sur des faits empiriques, constatés expérimentalement ou convoqués artificiellement par la pensée (registre empirique) et des énoncés de nature théorique (registre théorique ou des modèles). L'activité de problématisation renvoie à l'ensemble des processus à l'œuvre dans la construction de ces nécessités et plus généralement, à l'ensemble des processus à l'œuvre dans la construction d'énoncés divers et provisoires (des éléments de solution possibles) : « *Connaître c'est moins buter contre un réel que valider un possible en le rendant nécessaire. Dès lors, la genèse du possible importe autant que la démonstration du nécessaire* » (Canguilhem, 1965, p.58).

Au cours de ce processus, un tri partiel est opéré entre ces possibles à l'occasion de moments d'objection qui peuvent prendre la forme d'échanges contradictoires, d'échecs expérimentaux, de difficultés de natures diverses, etc. Ces moments d'objection jouent un rôle de pivot dans la dynamique de problématisation, l'enquête pouvant soit cesser (certaines objections peuvent ne donner lieu à aucune évolution), soit se poursuivre. Dans ce dernier cas, la dynamique de problématisation peut 1) déboucher sur une nouvelle question qui va venir enrichir l'éventail de possibles, 2) voir le nombre des possibles réduit aux seules options susceptibles de résoudre le problème ; les nécessités permettant d'effectuer un choix parmi les solutions *a priori* possibles. D'une façon générale, l'analyse des interactions, conduite dans le cadre de la problématisation, consiste en l'examen des confrontations entre des éléments de solution possibles et leurs objections. Sont recherchées ici les objections (ou groupe d'objections) qui favorisent la création de nécessités liées au phénomène du rebond lors d'interactions entre des enseignants en formation continue.

■ **Présentation de la session de formation**

Notre formation (d'une durée de deux heures) peut s'entendre comme une « situation didactique » au sens de Brousseau (1987), c'est-à-dire comme la mise en relation de quatre éléments : le milieu, les enseignants formés, les connaissances associées au rebond et le formateur. En effet, nous nous attendons à ce que les problèmes et les connaissances associées soient construits par la logique de la situation suite à un processus d'interactions entre ces éléments, chacun d'eux ayant une part plus ou moins importante dans l'établissement d'un contrat didactique. Ces éléments se définissent comme suit :

⁷ Dans sa quête d'identification de conceptions, la recherche en didactique des sciences a souvent reposé sur la recherche de régularités engageant des études (inter)transculturelles (Fawaz & Viennot, 1986 ; Caldas & Saltiel, 1995 ; Vosniadou & Brewer, 1990 ; Goh, 1993). Ici, nous recherchons des régularités (et des écarts) dans les processus mis en œuvre par des enseignants français et colombiens pour construire des problèmes à partir d'une même situation ouverte

- *Le milieu*

Il change au cours de la formation. Dans une première étape (milieu 1), le rapport entre milieu et enseignant trouve son origine dans la présentation d'un énoncé ouvert : « vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles, que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? » Les enseignants sont placés en situation de travail collectif par petits groupes ($4 \leq N \leq 6$). Ils sont d'abord invités à réfléchir à tout ce qui peut être associé au rebond de balles à travers l'élaboration d'une carte conceptuelle (Novack, 1990 ; Mason, 1992). Cette carte doit permettre la formulation de problèmes susceptibles d'être résolus expérimentalement (à ce stade, les possibles ne sont pas contraints par le matériel disponible qui reste inconnu des enseignants). Les objections attendues ici doivent trouver leur origine dans les interactions sociales (Lhoste, 2008). Dans une seconde étape, nous procédons à la mise en contact des enseignants avec le matériel disponible (milieu 2) : balles de masse, de taille, d'élasticité différentes, instruments de mesure (balances électroniques, mètres-rubans, chronomètres, matériel d'enregistrement vidéo). Nous leur demandons de choisir un problème parmi les problèmes énoncés au sein du milieu 1, et de le résoudre au moyen du matériel qu'ils jugent approprié. Le milieu 2 que nous avons créé vise à orienter les enseignants formés vers :

- la création de situations potentiellement contre-intuitives (ou a minima inattendues) favorisée par les balles disponibles : des balles plastiques qui ne rebondissent pas ou qui rebondissent très peu, des billes métalliques qui rebondissent mieux que des balles plastiques, des balles de formes et de masses identiques qui ne rebondissent pas de la même façon, etc. Nous attendons de ces situations qu'elles permettent l'expression de nouvelles objections (en plus des objections issues des échanges entre pairs) ;
- un choix des grandeurs physiques à traiter : le matériel a été choisi de façon à entraîner les enseignants dans des procédures de mesure de grandeurs physiques simples telles que la masse, la hauteur de rebond, le nombre de rebonds, etc. Ce matériel ne permet pas de mesurer des grandeurs telles que l'élasticité des balles ou les vitesses (initiale, avant/après un rebond). Par défaut, cela constitue une contrainte forte.

- *Les enseignants (en tant que formés)*

Il s'agit d'enseignants de primaire en formation continue issus de deux contextes culturels différents (la France et la Colombie) mais tous encouragés à pratiquer un enseignement des sciences fondé sur l'investigation⁸. Aucun des enseignants formés n'a étudié la physique en premier cycle universitaire. Nous supposons toutefois qu'ils connaissent les grandeurs simples de la mécanique (masse, vitesse, longueur, etc.) et qu'ils ne possèdent pas de connaissances scientifiques particulières sur le rebond puisqu'il s'agit d'un thème extérieur aux programmes scolaires français et colombiens. Puisqu'ils sont soumis à une consigne ouverte, ils doivent tendre vers des accords collectifs sur le problème à résoudre (milieu 1), le choix du matériel disponible, sur les mesures expérimentales à réaliser, sur les procédures à suivre, sur l'analyse du phénomène, etc. (milieu 2). Ils décident de la forme que prend leur démarche et du moment où elle s'arrête.

- *Les connaissances*

Le phénomène du rebond peut se laisser approcher de diverses manières selon que l'on s'intéresse à l'objet lui-même ou à son mouvement ; selon que l'on s'intéresse aux causes du rebond ou aux grandeurs qui se conservent ou qui changent au cours du rebond. Lorsque le rebond est étudié dans un enseignement de mécanique, le phénomène est souvent étudié du point de vue de l'énergie. Un rebond consécutif à un choc élastique tend à ramener la boule à sa hauteur de lâché initial ; dans ce cas, l'énergie (mécanique) de la balle au moment du lâché est conservée (au cours du mouvement). Il n'existe pas de balles parfaitement élastiques (c'est-à-dire rebondissant à une hauteur exactement identique à celle du lâché). En général, une balle lâchée sans vitesse initiale rebondit à une hauteur inférieure à celle du lâché car une partie de l'énergie mécanique de la balle se transforme au moment du choc (elle peut, par exemple, être

⁸ Cette recherche s'inscrit au sein d'une collaboration franco-colombienne entre les universités Paris Diderot (Paris, France) et Los Andes (Bogotá, Colombie) ayant pour objet le développement de ressources pour la formation des enseignants de primaire en sciences physiques.

dissipée sous la forme de chaleur ou varier à cause de déformations irréversibles) ; cette diminution de hauteur suit une progression régulière (géométrique) tout au long des rebonds successifs d'une balle. Lorsqu'une balle rebondit, le rapport de deux hauteurs successives est constant et égal au carré d'une grandeur que l'on appelle le « coefficient de restitution »⁹. Si l'on se focalise sur l'objet « balle », le coefficient de restitution rend compte de l'élasticité de la balle (c'est-à-dire sa capacité à reprendre sa forme initiale). Une balle qui rebondit « bien » est une balle très élastique : elle reprend très bien sa forme initiale. Mener une étude sur le rebond peut conduire à étudier le comportement de la balle au cours du choc (changement de température, changement de forme), à examiner l'influence des conditions initiales de lâché (hauteur, vitesse, température extérieure, etc.), l'influence des propriétés de la balle (masse, élasticité) sur la qualité du rebond (ce qui nécessite de se donner des critères empiriques permettant de définir un « bon » rebond), à regarder l'évolution de la vitesse de la balle, des hauteurs successives, tout au long du mouvement, etc. La situation proposée et la question posée étant extrêmement ouverte, notre but n'est pas ici d'amener les enseignants à une seule réponse ou bien de valider leurs réponses. Nous ciblons l'exploration des connaissances dans leur état initial en tant que « constats » et les connaissances éventuellement acquises comme conséquences des différents problèmes construits.

- *Le formateur*

L'intervention du formateur (identique pour les groupes français et colombiens) cible un accompagnement des processus, différenciés par les intérêts des groupes, cela, en partant d'une consigne commune (l'énoncé de départ) et en veillant à ce qu'un (seul) problème soit choisi et traité expérimentalement. Le formateur doit être préparé à suivre les déclinaisons des problèmes proposés au sein de chacun des groupes. Il s'abstient de tout jugement sur le choix du thème ou du matériel, ainsi que sur les explications égrenées au fil des échanges. En revanche, il peut poser des questions sur des procédures, sur des résultats, sur l'avis des participants des groupes, etc. Il assure une petite phase de restitution en fin de formation, en fonction des thèmes traités par l'ensemble de groupes.

- **Méthodologie de recueil et d'analyse des données**

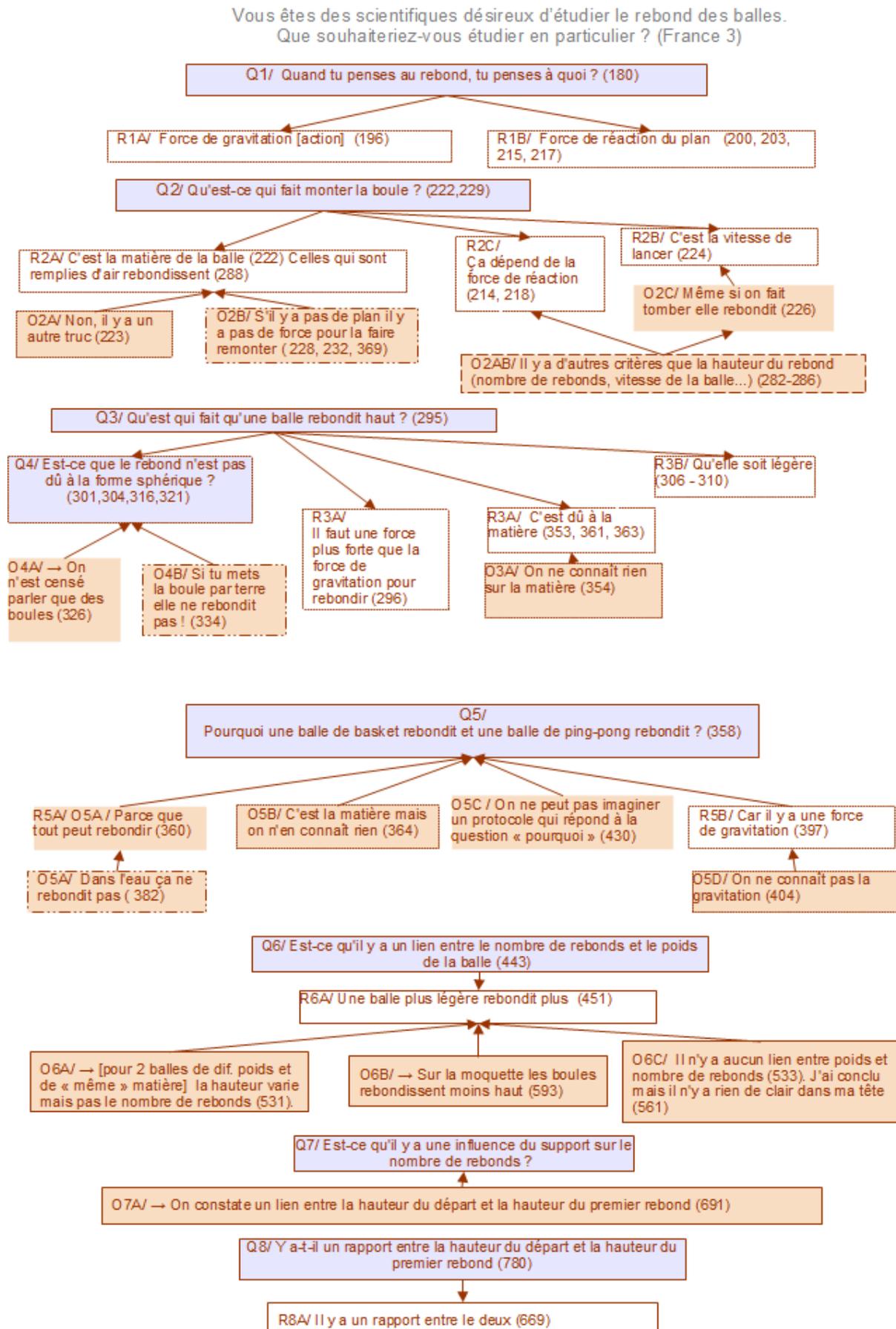
Les interactions verbales entre enseignants de chaque groupe de travail (huit au total) ont été enregistrées sous un format audio, puis intégralement retranscrites. Pour analyser ce corpus, nous avons eu recours aux outils de l'analyse de contenu tels que définis par Bardin (1977/1991). Nous avons cherché à identifier les éléments suivants : des questions posées, des réponses, des procédures suivies, des objections. Ces éléments, différents par nature, ont constitué les unités de signification que nous avons retenues pour fractionner le discours des enseignants lors des interactions au sein de groupes. Conformément au cadre de la problématisation, nous cherchons dans un premier temps à caractériser la dynamique générale des interactions au sein desquelles les problèmes émergent, l'outil « macrostructure » est utilisé pour rendre compte de cette dynamique. Cette caractérisation nous sert d'appui pour le repérage et l'analyse des nécessités élaborées par les enseignants, l'outil « espaces de contraintes » est alors mobilisé.

- *Les macrostructures*

Une fois repérés, les éléments signifiants du discours des enseignants ont été réorganisés de façon à former des « macrostructures » (Fabre & Orange, 1997), c'est-à-dire des reconstructions du discours incluant les éléments issus de l'analyse de contenu (questions, réponses, objections explicitement déclarées par les enseignants au cours des interactions de groupe). Ce schéma représente l'évolution des possibles au cours du temps, il tend à caractériser la façon dont les situations se « déterminent » progressivement. Cette reconstruction du discours reprend la modélisation symbolique de Crépin-Obert (2010) : Questions Qn (□), Réponses Rn ou Nécessités Nn (□), Objections On (□)

⁹ Le coefficient de restitution est égal au rapport de la vitesse juste après le choc sur la vitesse juste avant le choc. En cas de choc élastique, le coefficient de restitution est égal à 1 ; en cas de choc totalement inélastique, il est égal à 0.

Schéma 1 - Macrostructure illustrant la démarche du groupe d'enseignants français « France 3 »



Toutes les unités de signification retenues pour construire les macrostructures et portant sur un même thème sont identifiées par un même code symbolique : la bordure de cases. Le schéma 1 correspond à cette reconstruction, il représente les échanges de l'un des groupes d'enseignants français (France 3). D'un point de vue méthodologique, l'extrait de verbatim suivant illustre la façon dont nous avons construit une partie la macrostructure du schéma 1 à partir des unités de signification associées (Qn, Rn, On) :

- 222 : *Qu'est-ce qui la fait remonter ? [Q2] Comme ça [posée]... elle ne va jamais rebondir*
223 : *Non, il y a un autre truc [O2A]*
224 : *Et c'est la vitesse aussi ! La vitesse de lancer [R2B], d'accord parce que tu lances à une certaine vitesse...*
226 : *Oui, même si tu la fais tomber, elle rebondit [O2C] / un peu moins fort... mais*
228 : *S'il n'y a pas de plan, il n'y a rien pour la faire remonter [O2B] [...]*
243 : *Tu as mis le doigt sur un truc // Il y a une différence entre si je lance avec une certaine / si j'imprime une certaine vitesse à ma main et si je la laisse seulement [inaudible] [R2B]*
244 : *Oui, mais on est d'accord, on peut étudier ça, tu comprends ?*
245 : *La dépendance de la vitesse*
253 : *Je pense qu'on doit faire le lien entre hauteur du rebond, en gros, et vitesse [R2B], quel est le lien ? [...]*
282 : *Il faudrait poser la question de quel est le rapport entre la force de lancement et la hauteur du rebond ou le nombre de rebonds ou quelque chose comme ça. Il y a le nombre de rebonds, il y a la vitesse du rebond...*
286 : *Oui, il y a plein de choses là... [O2AB] [...]*
295 : *Il faut poser une question, là / qu'est-ce qui fait qu'une balle rebondit haut [Q3] ? Qu'il y a une force plus forte que la force de gravitation [R3A].*
306 : *C'est aussi parce qu'elle est légère, tu la jettes sur un plan et elle ne va pas rebondir [R3B]*
337 : *C'est la matière [R3A]*
338 : *Le poids, le poids [...] [R3B]*
354 : *La matière c'est sûr que là il y a peu de choses / on ne connaît rien sur la matière / on ne va pas pouvoir répondre à une question sur la matière [O3A]*

Dans cet extrait¹⁰, les enseignants s'intéressent aux raisons qui, selon eux, font qu'une balle « remonte » via la question [Q2]. La vitesse de lancer [R2B] est énoncée à la suite d'une objection [O2A] de nature empirique : l'existence d'un plan n'est pas suffisante puisqu'une balle posée sur un plan ne rebondit pas. Est alors convoqué le fait qu'un rebond peut se produire même sans vitesse initiale ; il s'agit d'une nouvelle objection [O2C] qui conduit les enseignants à s'intéresser à l'influence de la vitesse sur le rebond. Le nombre des grandeurs devant être considérées (hauteur, vitesse, nombre de rebonds) apparaît alors trop important, ce que traduit l'objection [O2AB] : « oui, il y a plein de choses, là ». À la suite de cette objection, l'étude du rebond est associée à l'étude de la hauteur après le choc à travers la question [Q3] : « qu'est-ce qui fait qu'une balle rebondit plus haut ? » Trois possibles sont alors énoncés : « une force plus forte que la force de gravitation » [R3A], la masse de la balle¹¹ [R3B] et sa matière [R3C]. La matière en tant que possible est écartée de l'enquête suite à l'objection [O3A] : « on ne connaît rien sur la matière ».

La reconstruction et l'encodage des interactions sous forme de macrostructures permettent d'accéder à une dynamique d'évolution des questions formulées, de caractériser la façon dont elles évoluent au fil des réponses et des objections qu'elles rencontrent. L'association de plusieurs éléments (questions, réponses, objections) renvoyant à un même intérêt (symbolisé par une même bordure de case) forme la méso structure d'un « problème » singulier. Au-delà des problèmes et de leurs dynamiques au sein des interactions, le cadre de la problématisation valorise les nécessités en tant qu'éléments fondamentaux de la construction du savoir scientifique. Si la macrostructure fait apparaître des moments où ces nécessités sont invoquées

¹⁰ A ce moment de leurs échanges (prise de parole n°222) les enseignants ne disposent pas du matériel expérimental.

¹¹ Tout au long des échanges enregistrés, les enseignants désignent par « poids » la grandeur « masse », dans l'extrait de verbatim présenté, le « poids » du physicien est appelé « force de gravitation ».

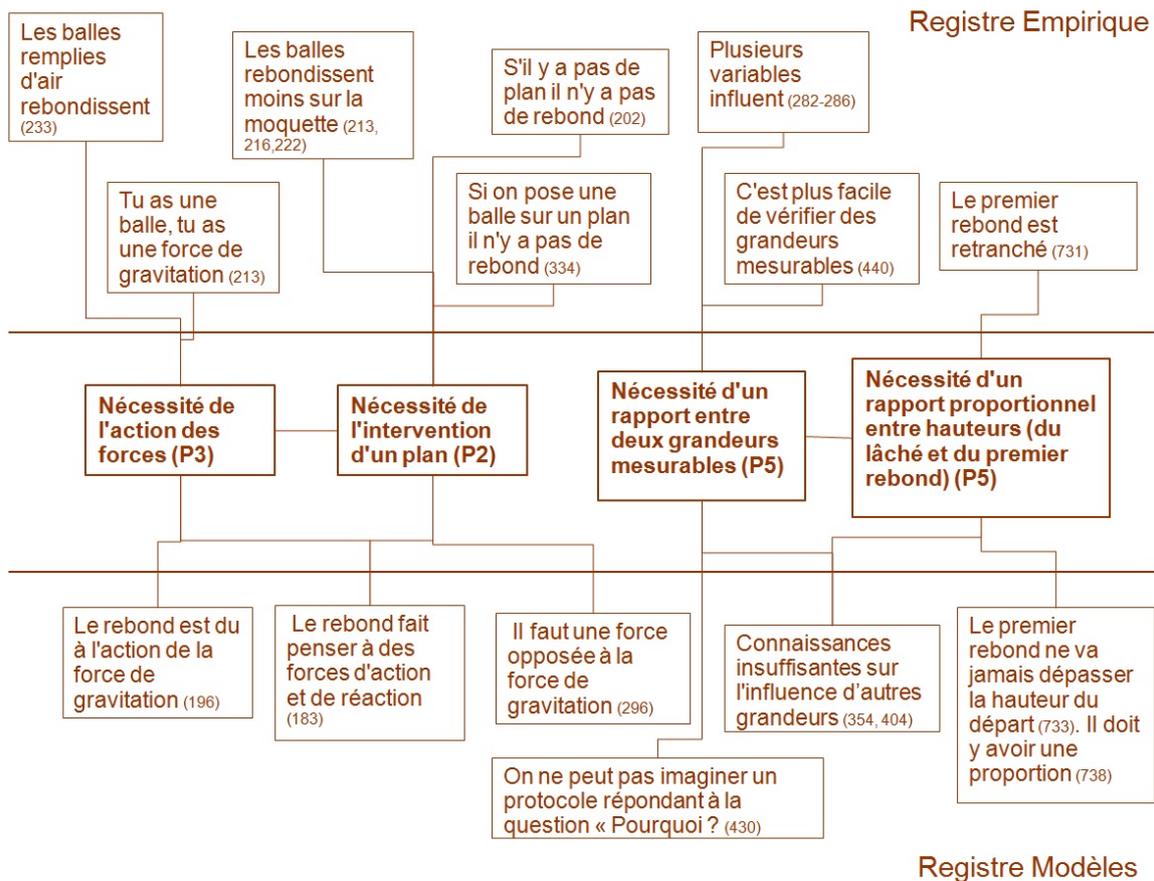
(affinement ou changement de question par exemple), c'est l'« espace de contraintes » qui nous permet de les caractériser (Orange, 2003).

• *L'espace des contraintes*

Cet outil vise la description de l'évolution des possibles à partir d'un état initial de caractère plutôt « assertorique » (conformé par des constats-contraintes), vers un état « apodictique » (exprimé par des nécessités construites) (Bachelard, 1949/1966). Le schéma 2 représente l'espace de contraintes qui accompagne la macrostructure du schéma 1. Il organise les éléments, mobilisés par les enseignants, qui contraignent la dynamique de construction des problèmes ; ces éléments (contraintes) relèvent de deux registres empiriques et théoriques. Cet espace permet de lire les nécessités à la lumière des contraintes qui les forgent, et d'estimer ainsi le degré d'intervention des conditions prévues dans les milieux 1 et 2.

L'articulation entre ces deux outils conduit *in fine* à dégager des nécessités contraignant des éléments de solution possibles. Précisons que les macrostructures rendent compte d'une dynamique d'apparition de problème, dynamique dont on ne peut pas juger de la nature scientifique ; en mettant en lien le registre empirique et le registre théorique pour la création de nécessités, l'espace de contraintes permet lui d'accéder à cette scientificité de construction réalisée.

Schéma 2 - Espace des Contraintes pour le groupe d'enseignants « France 3 »



3. Résultats

À chacun des huit groupes d'enseignants correspond une macrostructure et un espace de contraintes particulier. L'analyse des huit macrostructures nous permet d'identifier les types de problèmes abordés par les différents groupes lors de la formation au sein des milieux 1 et 2. L'identification de la nature des objets sur lesquels portent les questions posées au fil des interactions, et les possibles {réponses R_n , d'autres Questions $Q(n')$ } associés nous permet de produire une typologie de ces problèmes. Pour un problème d'un type donné, l'ensemble {questions/possibles} porte sur un objet et/ou un intérêt et/ou une procédure de même nature. Au total, nous avons pu repérer cinq types de problèmes différents ; ils sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous. À ce stade de l'analyse, on ignore si les problèmes sont construits ou non ; c'est l'espace des contraintes qui nous permet d'obtenir cette information, puisque c'est cet outil qui identifie les nécessités associées aux problèmes abordés par les enseignants.

*Tableau 1 - Typologie des problèmes repérés
pour l'ensemble des groupes d'enseignants français et colombiens*

P1	Influence des grandeurs constantes pour une boule donnée et propres à cette boule telles que la masse (souvent appelée poids par les enseignants), la matière, l'élasticité, la dureté
P2	Étude du choc
P3	Influence des grandeurs variables pour une boule donnée (telles que la force, la vitesse de lancé, la hauteur de lâché, la surface sur laquelle la boule rebondit) ou constante pour une boule donnée mais non propre à la boule (force de gravitation)
P4	Choix d'un attribut pour caractériser la qualité du rebond (nombre de rebonds, durée, hauteur du rebond)
P5	Établissement d'un rapport entre deux grandeurs (vitesse de lancé et nombre de rebonds, masse et nombre de rebonds, masse et hauteur du rebond, hauteur du lâché et hauteur du rebond, etc.)

Compte tenu des spécificités des deux milieux didactiques successifs au sein desquels se sont déployées les activités des enseignants, nous avons procédé à une analyse des dynamiques de problématisation pour chacun des milieux 1 et 2. Les résultats sont présentés pour les groupes français (France n) et colombiens (Colombie n).

■ Milieu 1

Le tableau 2 ci-après nous permet de comparer le nombre et le type de problèmes que nous avons identifiés pour chacun de groupes grâce aux macrostructures (c'est-à-dire problèmes abordés par les enseignants mais non nécessairement construits, révélés par les macrostructures) et le nombre et le type de problèmes construits (c'est-à-dire problèmes associés à une ou plusieurs nécessités, révélés par les espaces des contraintes).

On observe tout d'abord que sur les vingt-deux problèmes abordés par les enseignants, quatorze d'entre eux (64%) deviennent des problèmes construits. Autrement dit, huit problèmes (parmi les vingt-deux énoncés) ne sont associés à aucune nécessité. Cela conduit, par exemple, le groupe (France 5) à ne construire aucun des problèmes P1 et P3 sur lesquels portaient leurs questions, leurs réponses et leurs objections ; du point de vue de la construction d'un problème pour l'étude du rebond, leurs échanges au sein du milieu 1 se sont révélés infructueux. Plus spécifiquement, l'ensemble des huit groupes aborde l'étude du rebond par un problème de type P1 et sept

d'entre eux y associent un problème de type P3. Cependant, seule la moitié de ces problèmes énoncés par les enseignants deviennent des problèmes construits. À l'inverse, le problème P2 (bien que peu présent au sein des macrostructures) semble se prêter davantage au jeu de la construction. Ces constats suggèrent qu'une situation ouverte, même si elle suscite l'intérêt des enseignants, n'est pas nécessairement propice à la production de nécessités et donc à la construction de problèmes à résoudre.

Tableau 2 - Description du milieu 1 à travers des problèmes posés (macrostructures) et les problèmes construits (espaces de contraintes et nécessités)

Groupe	Macrostructures Problèmes identifiés	Espaces de contraintes Problèmes construits
Colombie 1	P1 – P3	P3
Colombie 2	P1 – P3 P4 P2	P3 P2
Colombie 3	P1 P3	P1 P3
France 1	P1 – P3	P1
France 2	P1 – P3 P2 P4	P1 – P3 P2 P4
France 3	P3 P1 – P2 – P5	P3 P2 – P5
France 4	P1 – P3	P1
France 5	P1 – P3	
Total	22	14

Les contraintes les plus présentes au sein du milieu 1 sont celles associées au nombre de variables que les enseignants suivis considèrent comme trop nombreuses (6/10 contraintes repérées). Ces contraintes interviennent le plus souvent lorsque les enseignants discutent de l'influence des grandeurs variables pour une balle donnée ou constante mais non propre à la balle (problème de type P3) ; elles permettent la création de nécessités (par exemple « la hauteur du lâché est plus précise à déterminer ») et une ouverture vers de nouveaux possibles (par exemple « comment mesurer l'influence de la force de lancer sur la hauteur du premier rebond ? ») qui implique ici le passage d'un problème de type P3 à un problème de type P5.

■ Milieu 2

L'activité des enseignants au sein du milieu 2 est initiée dans la plupart des cas (6/8) par une question portant sur l'influence des différentes grandeurs sur le rebond. On trouve par exemple des questions telles que « est-ce que la composition de la balle influe sur le rebond ? » (France 4), « la hauteur du lâcher influe-t-elle sur le rebond ? » (Colombie 2), « les différentes surfaces vont-elles faire varier le rebond d'une balle ? » (France 5).

Nous procédons à une analyse des macrostructures et des espaces des contraintes associées à chacun des groupes en suivant une procédure identique à celle réalisée pour le milieu 1. Le tableau 3 ci-après présente les types de problèmes construits (révélsés par les espaces de contraintes) par les enseignants suivis à partir des problèmes énoncés (révélsés par les macrostructures) au sein du milieu 2.

La recherche de l'établissement d'un rapport entre deux grandeurs (problème de type P5) est énoncée par l'ensemble des groupes ayant accédé au milieu 2 (sept parmi les huit groupes analysés). Étant donné que ce problème n'avait pas été abordé par les groupes au sein du milieu 1 (seul un groupe y travaille), on peut supposer que la production d'un problème de type P5 est induite par le milieu 2. Ensuite, aucun problème de type P2 n'est posé au sein du milieu 2. L'étude du choc (présente au sein du milieu 1) paraît avoir servi d'appui (ou d'intermédiaire nécessaire) à la construction de problèmes d'autres types et traitables expérimentalement. En outre, il semble que le milieu 2 ne soit pas plus propice que le milieu 1 à l'apparition de problèmes de type P4, liés aux choix de critères pour définir la qualité d'un rebond.

Tableau 3 - Description du milieu 2 à travers des problèmes posés (macrostructures) et les problèmes construits (espaces de contraintes et nécessités)

Groupe	Macrostructures Problèmes identifiés	Espaces de contraintes Problèmes construits
Colombie 1	P1 P5	P1
Colombie 2	P5	P5
Colombie 3		
France 1	P1 – P3 P4 P5	P1 P4
France 2	P3 – P1 P5	P5
France 3	P5	P5
France 4	P3 P1 P5	P1 P5
France 5	P1 P4 P5	P1 P4 P5
Total	17	11

Si l'on examine le passage entre problèmes énoncés et problèmes construits, on constate que 65% des problèmes posés ont été construits. Comme pour le milieu 1, le fait que le problème soit posé n'implique pas qu'il a été construit et le passage d'une catégorie à l'autre s'effectue dans les mêmes proportions. Toutefois, les problèmes construits au sein du milieu 2 sont assez différents de ceux construits au sein du milieu 1 : ici ce sont les problèmes de types P5 qui sont construits (par cinq des huit groupes analysés) alors que les problèmes de ce type étaient très peu présents dans le milieu 1 (un sur huit). Par ailleurs, les problèmes de type P4 deviennent dans tous les cas des problèmes construits (dans le milieu 1, c'était le cas pour P2).

La participation des contraintes au sein du milieu 2, concernant l'apparition et la construction des problèmes, révèle une tendance : pour quatre des huit groupes suivis les résultats expérimentaux obtenus par les enseignants viennent contredire ce qui était attendu. Lorsque cette contrainte agit dans la dynamique d'un problème de type P1, on constate qu'elle participe à la création de nécessités (par exemple « il y a une influence de la matière sur le rebond de balles », France 2) ici à l'origine du passage d'un problème de type P1 à un problème de type P5.

L'intervention de contraintes dans la construction des problèmes (c'est-à-dire pour la création de nécessités) se présente dans le milieu 2 d'une façon plutôt hétérogène, comme le montre le tableau 4 ci-après.

On notera enfin, que les dynamiques d'énonciation et de construction des problèmes ne paraissent pas spécifiques à l'origine culturelle des enseignants suivis.

Tableau 4 - Contraintes à l'origine de la construction des problèmes dans les milieux 1 et 2

<i>Contraintes sous-tendant la construction de...</i>	<i>problèmes dans le milieu 1</i>	<i>problèmes dans le milieu 2</i>
<i>Les variables à considérer sont trop nombreuses</i>	P2, P3, P5	P1, P4, P5
<i>Les connaissances disponibles des enseignants sont insuffisantes</i>	P1, P5	
<i>Les résultats expérimentaux contredisent ce qui était attendu</i>		P5, P1
<i>Les grandeurs physiques ne peuvent pas être mesurées avec le matériel disponible</i>	P1, P3	P5, P4

Conclusion

En complément des recherches engageant la théorie de l'activité de problématisation, l'étude que nous avons conduite prend appui sur une situation qui n'a pas été choisie pour son caractère inattendu susceptible de révéler certaines conceptions, ou orchestrée pour remettre en cause des raisonnements opératoires mais non conformes à ceux de la physique établie. Cette situation, indéterminée au départ (il s'agit d'un phénomène familier absent de l'École) a été choisie sur la base de l'hypothèse suivante : le rebond des balles permet l'expression de plusieurs types de problèmes scientifiques. Inspirés par l'approche des problèmes telle que promue par Dewey, nous avons également supposé que le caractère familier de la situation rendrait la formulation des problèmes possible, y compris par des enseignants n'ayant pas étudié les sciences au-delà des classes secondaires. L'usage de la théorie de l'activité de problématisation nous a permis de mettre ces hypothèses à l'épreuve et de caractériser, au-delà des processus que nous venons de révéler, différents types de problèmes que nous pouvons mettre en regard des « possibles » du physicien. Les résultats que nous énonçons ici concernent de manière indifférenciée, enseignants colombiens et français. En effet, les comportements observés (choix des questions, nature des objections, procédures expérimentales mises en œuvre, etc.) permettent de traiter l'ensemble des enseignants formés au sein d'un même corpus.

On remarquera tout d'abord que les aspects énergétiques et thermodynamiques de la situation proposée (l'échauffement des balles par exemple) ont été très rarement considérés ; de même, la comparaison balle « dure » / balle « molle » (Viard, 2003) n'a pas suscité un grand intérêt des enseignants formés. L'intérêt s'est plutôt porté sur les facteurs qui, selon les enseignants, favorisent un « bon rebond » : vitesse de lancer, force exercée par le lanceur, nature du support du choc, masse et élasticité de la balle ; le « bon » rebond étant caractérisé le plus souvent par le nombre maximal de rebonds, la hauteur du rebond après le premier choc, la durée pour un nombre total de rebonds. Le tri entre ces facteurs s'est opéré à la suite de contraintes d'ordre divers (contraintes révélées par les objections) :

- cognitives (ou liées aux connaissances disponibles des enseignants) : il pouvait s'agir par exemple de ramener l'étude du rebond à l'influence d'une grandeur sur une autre chaque fois que le nombre de grandeurs à prendre en compte était considéré comme trop important ; il pouvait également s'agir d'un changement d'intérêt lorsque les enseignants eux-mêmes se rendaient compte que leurs connaissances étaient insuffisantes (soit d'un point de vue méthodologique : « on ne sait pas répondre aux questions "pourquoi" », soit d'un point de vue savant : « on ne connaît rien sur la matière ») ;
- expérimentales (au sein du milieu 2) : d'une part, les instruments de mesure disponibles limitaient les enseignants dans le choix des grandeurs possiblement mesurables (les forces,

les accélérations, les vitesses sont, de fait, absentes des expériences réalisées) ; d'autre part, les balles mises à disposition pouvaient se comporter de manière inattendue (les enseignants avaient par exemple à leur disposition des balles de même masse et de même volume et ne rebondissant pas de la même façon).

Dans les résultats obtenus par les enseignants (qu'ils soient français ou colombiens), il est enfin remarquable de noter que ce qui est finalement systématiquement recherché (via une heuristique ad hoc) est une loi, une relation entre deux variables, obtenue de manière phénoménologique. Le fait que les enseignants aient orienté leur activité vers la recherche de relations entre des grandeurs mesurables ou observables est certainement à interpréter à la lumière des connaissances déjà disponibles. On pourrait dire, en fait, que la construction d'une connaissance peut émerger d'une situation indéterminée à condition que cette connaissance soit le résultat d'une activité cognitive de résolution d'un problème engageant d'autres connaissances situées à l'intérieur de la zone proximale de développement (ZPD) des enseignants suivis, ou très proche de celle-ci (Vygotsky, 1995 ; Drevillon, 1988) ; c'est le cas par exemple du coefficient de restitution construit en tant que rapport (constant) des hauteurs successives. À l'inverse, on constate que si le savoir se trouve en dehors de la ZPD, c'est-à-dire trop éloigné de l'espace cognitif permettant le traitement de données renvoyant à des connaissances déjà disponibles, alors le problème énoncé reste sans réponse, l'enquête s'arrête sans qu'aucune connaissance n'ait pu être construite ; c'est le cas par exemple de l'élasticité¹². On s'aperçoit enfin que si le problème construit par les enseignants fait face à un obstacle alors les enseignants seuls ne peuvent pas le surpasser et il convient qu'ils soient guidés ; c'est le cas par exemple lorsqu'ils cherchent une relation de dépendance entre masse d'une balle et nombre de rebonds ; la relation n'existant pas, l'énoncé « le rebond ne dépend pas de la masse des balles » n'est pas considéré par les enseignants suivis comme une connaissance construite, et le problème est délaissé. Ce dernier point tendrait à montrer que les démarches pédagogiques d'apprentissage par franchissement d'obstacle (la DI telle que présentée dans les programmes de collège, voir Mathé & al., 2008) méritent d'être particulièrement accompagnées pour être fécondes.

Perspectives : problématisation et culture épistémologique des enseignants

Notre travail, pris dans une perspective élargie incluant des éléments de culture épistémologique, nous permet de dresser quelques pistes relatives à une exploration du rapport des enseignants à la nature de la science (Brickhouse, 1990 ; Lederman, 1992 ; Appleton, 2003). Ainsi, si notre recherche n'a pas pour objectif initial de regarder les effets de l'activité de problématisation sur l'« épistémologie spontanée » (Desautels & al., 1993) des enseignants, il n'en demeure pas moins que cette dimension affleure de manière constante tout au long des interactions au sein des groupes. Le fait par exemple qu'une non-dépendance (le rebond ne dépend pas de la masse des balles) ne soit pas retenue par les enseignants comme une connaissance valide (ou valable) ou le fait que la plupart des connaissances construites prennent la forme d'une relation entre deux grandeurs mesurables, pourraient être des indices de la façon dont les enseignants perçoivent l'activité scientifique. Il en va de même pour les procédures suivies, le fait, par exemple, que les questions « pourquoi » se transforment en question « comment » n'est peut-être pas sans conséquence sur l'image que les enseignants ont de l'activité scientifique. C'est d'ailleurs parce que nous avons choisi une démarche qui inclut la construction d'un problème à partir d'une situation indéterminée que ces transformations de « pourquoi » en « comment » sont apparues. De ce point de vue, notre travail élargit l'approche institutionnelle française. En effet, la démarche d'investigation se cristallise (en France) autour de l'« appropriation d'un problème par les élèves » (MEN, 2008, p.4), et ne valorise pas l'activité de construction du problème. En créant une formation directement inspirée de la façon dont Dewey considère l'« inquiry », nous donnons aux enseignants la possibilité d'entrer en contact avec l'idée que la production du savoir en science relève autant de la construction des problèmes que de leur résolution. À ce stade, nous n'avons pas les moyens d'examiner les effets de cette mise en contact mais il sera dans

¹² De ce point de vue, le rôle de l'enseignant (en tant que médiateur du savoir) reste essentiel.

doute fructueux de questionner la pertinence de notre mise en situation sur ce point. Cela pourrait faire de la situation du « rebond » le cœur d'une formation qui n'aurait pas forcément vocation à être reproduite en classe, mais dont l'objet serait de contribuer à la formation de la culture épistémologique des enseignants.

Bibliographie

ANDERSON R. (2007), « Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula », *Handbook of Research in Science Education*, S. Abell & N.G Lederman (éd.), Londres, Laurence Erlbaum Associates Publisher, p.807-830.

APPLETON K. (2003), « How do beginning primary school teachers cope with science? Toward an understanding of science teaching practice », *Research in Science Education*, n°33(1), p.1-25.

BARDIN L. (1977), *L'analyse de contenu*, Paris, Presses Universitaires de France.

BACHELARD G. (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.

BACHELARD G. (1966), *Le rationalisme appliqué*, Paris, Presses Universitaires de France.

BEORCHIA F. (2005), « Débat scientifique et engagement des élèves dans la problématisation. Cas d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement en CM2 (10-11 ans) », *Aster*, n°40, p.121-151.

BOILEVIN J.M. (2013), « La place des démarches d'investigation dans les sciences », *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*, M. Grangeat (dir.), Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.

BRICKHOUSE N.W. (1990), « Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice », *Journal of Teacher Education*, n°41(3), p.53-62.

BROUSSEAU G. (1987), *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques*, Bordeaux, Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques.

CALDAS H. & SALTIEL E. (1995), « Le frottement cinétique analyse de raisonnements des étudiants », *Didaskalia*, n°6, p.55-71.

CALMETTES B. (2009), « Milieu didactique et démarche d'investigation en physique Analyses de pratiques ordinaires », Actes du premier colloque international de l'ARCE, Genève, 15 et 16 janvier 2009.

CANGUILHEM G. (1965), *La connaissance de la vie*, Paris, Vrin.

COQUIDE M., FORTIN C. & RUMELHARD G. (2009), « L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites », *Aster*, n°49, p.51-78.

CREPIN-OBERT P. (2010), *Construction de problèmes et obstacles épistémologiques à propos du concept de fossile : étude épistémologique comparative entre des situations de débat à l'école primaire et au collège et des controverses historiques du XVIIe et XIXe siècle*, Thèse de doctorat, Université de Nantes.

DEWEY J. (1938), *Logique. La théorie de l'enquête*, Paris, Presses Universitaires de France.

DESAUTELS J., LAROCHELLE M., GAGNE B. & RUEL F. (1993), « La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique », *Didaskalia*, n°1, p.49-67.

DORIER J.L. (2012), « La démarche d'investigation en classe de mathématiques : quel renouveau pour le questionnement didactique ? », *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*, B. Calmettes (dir.), L'Harmattan, p.63-86.

DREVILLON J. (1988), « Reconnaissance d'une situation-problème et fonctionnement cognitif », *Revue française de pédagogie*, n°82, p.9-14.

FABRE M. (2009), « Qu'est-ce que problématiser ? Genèses d'un paradigme », *Recherches en Éducation*, n°6, p.22-31.

- FABRE M. & ORANGE C. (1997), « Construction des problèmes et franchissements d'obstacles », *Aster*, n°24, p.37- 57.
- FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986), « Image optique et vision », *Bulletin de l'Union de Physiciens*, n°686, p.1125-1146.
- GOH N. (1993), « Some Misconceptions in Chemistry: A Cross-Cultural Comparison, and Implications for Teaching », *Australian Science Teachers Journal*, n°39(3), p.65-68.
- GRANGEAT M. (2013), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
- GYLLENPALM J., WICKMAN P.O. & HOLMGREN S.O. (2010), « Secondary science teachers' selective traditions and examples of inquiry-oriented approaches », *Nordic Studies in Science Education*, n°6(1), p.44-60.
- HAYES M.T. (2002), « Elementary preservice teachers' struggles to define inquiry-based science teaching », *Journal of Science Teacher Education*, n°13(2), p.147-165.
- LANGLOIS F., GREA J. & VIARD J. (1995), « Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos », *Enseñanza de las Ciencias*, n°13(2), p.179-191.
- LEDERMAN N.G. (1992), « Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research », *Journal of Research in Science Teaching*, n°29(4), p.331-359.
- 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, Université de Nantes.
- MATHE S., MEHEUT M. & de HOSSON C. (2008), « Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? » *Didaskalia*, n°32, p.41-76.
- MATHERON Y. (2010), « Démarches d'investigation et Parcours d'Étude et de Recherche en mathématiques: entre injonctions institutionnelles et étude raisonnée des conditions et contraintes de viabilité au sein du système », XVII^e colloque de la CORFEM (Commission de Recherche sur la Formation des Enseignants de Mathématiques), Caen, 17-18 juin.
- MASON C.L. (1992), « Concept mapping: A tool to develop reflective science instruction », *Science Education*, n°76(1), p.51-63.
- NOVAK J.D. (1990), « Concept mapping: A useful tool for science education », *Journal of Research in Science Teaching*, n°27, p.937-949.
- MEN (2008), *Programmes de collège*, Bulletin officiel de l'Éducation nationale spécial n° 6 du 28 août 2008.
- MEN (2010). *Programme de Physique-Chimie en classe de seconde générale et technologique*. Bulletin officiel de l'Éducation nationale, Spécial 4 du 29 avril 2010.
- ORANGE C. (2003), « Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen », *Aster*, n°37, p.83-107.
- VIARD J. (2003), « Peut-on ignorer la cause du rebond ? Une question historique toujours d'actualité », *Enquête sur le concept de causalité*, L. Viennot & C. Debru (dir.), Science Histoire et Société, Paris, Presses Universitaires de France, p.31-55.
- VYGOTSKY L.S. (1985), *Pensée et langage*, traduction de F. Sève, Paris, Messidor.
- VOSNIADOU S. & BREWER W. (1990), *A cross-cultural investigation of children's conceptions about the Earth, the Sun and the Moon: Greek and American data*, Illinois, Center for the study of Reading, University of Illinois at urbana-champaign.