



HAL
open science

Problématisation et perspective curriculaire en SVT : l'exemple du concept de nutrition

Yann Lhoste, Brigitte Peterfalvi

► **To cite this version:**

Yann Lhoste, Brigitte Peterfalvi. Problématisation et perspective curriculaire en SVT : l'exemple du concept de nutrition. Aster, 2009. hal-02466841

HAL Id: hal-02466841

<https://hal.science/hal-02466841>

Submitted on 4 Feb 2020

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.

Problématisation et perspective curriculaire en SVT : l'exemple du concept de nutrition

Yann Lhoste, université de Caen-Basse-Normandie, IUFM, Centre d'études et de recherches en sciences de l'éducation (CERSE, ÉA 965) ; université de Nantes, Centre de recherches en éducation de Nantes (CREN, ÉA2661) ; yann.lhoste@caen.iufm.fr

Brigitte Peterfalvi, UMR STEF, ENS Cachan, INRP, UniverSud Paris ; brigitte.peterfalvi@inrp.fr

Cette contribution cherche à faire converger les problématiques développées autour de la problématisation et une perspective curriculaire. Avec l'appui de travaux antérieurs sur les transformations de la matière, on cherche à préciser les relations entre problématisation, problèmes et obstacles, à des niveaux d'enseignement successifs. Préciser les problèmes et obstacles en jeu dans un domaine spécifié des SVT, celui des transformations de matière dans la nutrition et l'assimilation, permet d'entrer dans cette perspective convergente. Les problèmes susceptibles de se poser aux différents niveaux de scolarité sont mis en relation avec les obstacles qui peuvent s'opposer à leur résolution ou à leur formulation, mais qui, paradoxalement, peuvent pourtant intervenir dans leur émergence. Les relations avec une discipline connexe, la chimie, sont interrogées. Selon les connaissances chimiques mobilisables, présentes ou non dans la « matrice épistémique » des élèves, les formulations des problèmes relatifs aux transformations de la matière en jeu dans l'assimilation sont différentes. Des propositions, comme celle de « problème en réserve », permettent d'envisager la reprise d'un même concept à plusieurs niveaux de la scolarité.

Les travaux sur la problématisation conduits dans le cadre du Séminaire de recherche sur la problématisation du CREN, prolongent la réflexion sur l'utilisation du concept de problème en didactique des disciplines et plus particulièrement en didactique des sciences de la vie et de la Terre (Fabre 1999 ; Orange, 1995 ; Fabre & Orange, 1997), concepts cités par Astolfi, pour « promouvoir la saveur des savoirs » (2008, p. 137) et redonner de l'enjeu aux savoirs scolaires (Fabre, 2007a).

La centration du travail de recherche de cette équipe sur ce que veut dire *problématiser* (ou *construire des problèmes*) pour des élèves engagés dans des activités scientifiques scolaires a conduit à minorer provisoirement le questionnement sur les concepts de *problème*, d'*obstacle* et de leurs traitements didactiques (Peterfalvi, 2005, 2006). Alors que l'idée de *construction du problème* est au cœur de ces élaborations, celle de *formulation du problème* (Host, 1973) tend à disparaître : si bien qu'il est souvent difficile d'identifier précisément le problème dont il est question. Les travaux du CREN se sont intéressés aux problèmes construits par des élèves sur des concepts à différents niveaux de scolarité sans développer un questionnement curriculaire. Notre contribution, qui s'appuie sur une analyse épistémologique du concept de nutrition, vise à remettre en discussion les relations entre problématisation, problème et obstacle dans une perspective curriculaire, afin de donner des pistes pour penser les questions d'apprentissage par problématisation et la reprise différentielle d'un même concept biologique à différents niveaux de scolarité, en relation avec des savoirs issus d'une discipline connexe : la chimie.

Nous commencerons par présenter certains aménagements apportés à la façon de rendre compte du processus de problématisation (Lhoste, 2008). Nous essaierons de montrer ensuite, sur l'exemple du concept de nutrition, comment ces propositions peuvent permettre d'interroger le concept de problématisation dans une perspective curriculaire et de réexaminer des concepts classiques de didactique (niveau/registre de formulation, trame conceptuelle).

I. Nécessités et contraintes : un cadre pour penser la problématisation en SVT

Certaines recherches mobilisant le cadre théorique du CREN pour la problématisation en SVT (Beorchia & Lhoste, 2007 ; Desrues & Lhoste, 2008 ; Éhanno & Lhoste, 2008), nous ont conduits à le réinterroger à partir de certains points critiques et à faire quelques propositions.

I.1. Quelques points critiques par rapport à l'activité de problématisation en SVT

Lorsque l'on s'intéresse à caractériser le produit de l'activité de problématisation, ce cadre conduit à catégoriser les interventions des élèves au cours de débats scientifiques (ou les éléments en jeu dans certaines problématisations historiques, Orange, 2003) dans différents registres (registre empirique/registre des modèles). On peut alors s'interroger sur la façon dont sont catégorisées ces formulations et sur la signification de ces distinctions dans le cas des problématisations scolaires : correspondent-elles ou non à des distinctions existantes pour les élèves, à la différence de ce qui se passe pour les chercheurs ? Orange (2000)

précise d'ailleurs que l'une des fonctions du débat en classe est de permettre ce travail de désyncrétisation (ce qui ne veut pas dire, bien entendu, que cela conduit nécessairement les élèves à une distinction explicite des registres).

Une deuxième remarque concerne le statut de *contrainte* ou *nécessité*. Orange (2000) précise que tous les éléments du registre du modèle n'ont pas automatiquement un caractère de nécessité. Mais on peut noter que, malgré ces précisions, il associe de façon privilégiée le terme de contrainte au registre empirique et celui de nécessité au registre des modèles. Pourtant, parmi les éléments de raisonnement figurant dans les formulations des élèves, il n'y a pas de correspondance directe entre l'appartenance d'une proposition à tel ou tel registre (empirique ou des modèles) et son statut épistémique de contrainte ou nécessité. Pour lever le flou sur la distinction entre contrainte et nécessité, nous proposons de considérer comme *nécessité* un construit nouveau sur la base d'un raisonnement actuel, alors qu'une *contrainte* serait un déjà-là convoqué dans un tel raisonnement. Ainsi une nécessité relève de l'apodictique et vient contraindre les solutions possibles. Cela nécessite la mise en œuvre d'un raisonnement qui a une prétention à une certaine généralité.

Dans nos analyses, nous préciserons les formes de raisonnement qui pourraient être menées en fonction des éléments mobilisables, pour les élèves de tel ou tel niveau, en relation avec le processus de problématisation et l'arrière-plan cognitif (quels sont les savoirs qui doivent être mobilisables pour que de tels raisonnements puissent être conduits ?). Par exemple, les contraintes retenues pour une problématisation donnée peuvent être le résultat d'une problématisation préalable (dans le cadre d'un changement de contexte problématique). Ces articulations nous semblent déterminantes pour attribuer le statut de contrainte ou de nécessité aux propositions des élèves ou des scientifiques.

L'identification des raisonnements qui permettent de construire les contraintes et nécessités, dans le sens que nous venons de préciser, peut nous permettre de comprendre la façon dont différents types d'obstacles interviennent dans le processus de problématisation (en empêchant l'identification du problème, par la mise en œuvre de raisonnements non pertinents dans le champ scientifique...).

Ces différents points nous conduisent à faire des propositions qui seront mises à l'épreuve d'une analyse épistémologique du concept de nutrition.

1.2. La dynamique de la problématisation : des deux dédoublements...

Afin de préciser les distinctions que nous faisons entre registre empirique/registre des modèles et contraintes/nécessités, nous nous appuyons sur les philosophes du problème (Fabre, 2007, 2009) qui nous aident à pointer les caractéristiques déterminantes du processus de problématisation. Bachelard et Dewey décrivent, chacun à leur manière, le processus de construction du problème comme un double dédoublement.

Le premier dédoublement est décrit par Dewey comme la transformation d'une situation indéterminée en une situation unifiée par l'enquête. Cela nécessite deux types d'opérations, « *l'une a un objet idéal ou conceptuel. Cet objet représente des moyens et des fins possibles de solution* » [...] « *L'autre est faite d'activités impliquant les techniques et les organes de l'observation* » (1967/1993, p. 183). Bachelard le décrit comme un dédoublement des faits et de la théorie. Ce qui est déterminant, c'est que les idées explicatives et les faits, les théories et les faits sont toujours en liens, les faits ne sont pas indépendants de la théorie et réciproquement, « *pas de rationalité à vide, pas d'empirisme décousu* » (Bachelard, 1949/1998, p. 3). De plus, il n'y a rien de donné ni chez Dewey ni chez Bachelard. Tout est construit, les faits comme les théories. Dewey donne des indications sur ces liens puisque l'idée « *provoque et dirige de nouvelles observations qui fournissent une nouvelle matière factuelle* » (1967/1993, p. 183-184) et « *l'accumulation de ces faits suggère des hypothèses : c'est la dialectique des indices et des preuves* » (Fabre, 2006, p. 96). La question qui se pose est de savoir comment est contrôlée l'enquête, qu'est-ce qui norme les relations entre faits et idées ?

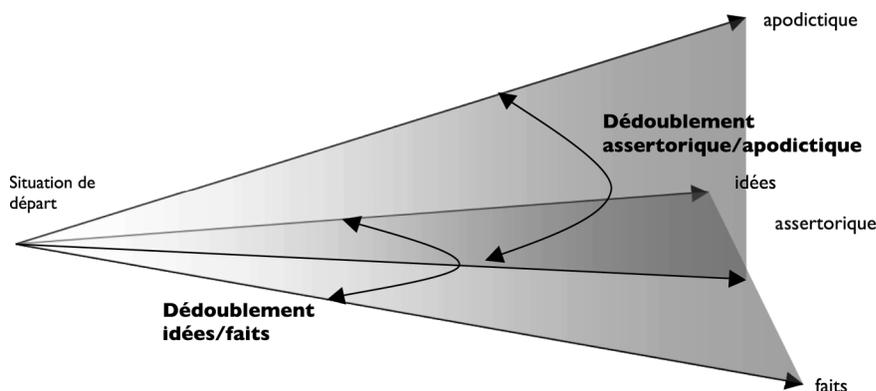
La nécessité d'un contrôle de l'enquête correspond au second dédoublement. C'est ce que Bachelard appelle la « *surveillance intellectuelle de soi* », c'est-à-dire la division de la pensée qui agit et se juge elle-même en train d'agir : « *toute pensée scientifique se dédouble en pensée assertorique et pensée apodictique, entre une pensée consciente du fait de penser et pensée consciente de la normativité de penser* » (*ibid.*, p. 25), ainsi, « *le sujet promu à cette surexistence de deux sujets voit s'installer en soi la dialectique du sujet contrôlant et du sujet contrôlé* » (Bachelard, 1949/1998, p. 60). Ce second dédoublement fait apparaître d'un côté ce qui relève de l'assertorique, ce qui est ainsi (les faits et les idées et les liens entre ces faits et ces théories) et sur un autre plan, ce qui relève de l'apodictique et qui fonde les idées en nécessité. C'est bien la spécificité de l'approche de Bachelard de considérer que « *la science n'a pas d'objet hors de sa propre activité ; qu'elle est en elle-même, dans sa pratique, productrice de ses propres normes et du critère de son existence* » (Lecourt, 2002, p. 10).

Nous représentons ces deux dédoublements sur la figure 1. Le premier dédoublement se place dans le plan horizontal et correspond au champ de l'assertorique : c'est la pensée consciente de penser (il n'y a pas de pensée dans un syncrétisme fait/idée intégral). Le second dédoublement, qui mobilise la pensée consciente de la normativité de penser, dans le plan vertical : il peut permettre de fonder le caractère nécessaire de certaines idées. Dans la représentation des espaces de contraintes proposée par Orange (2000), et largement réutilisées ensuite dans l'équipe du CREN¹, le premier dédoublement – entre registre empirique (RE) et registre du modèle (RM) – apparaît de façon spatialisée (RE en haut ; RM en bas). Le second dédoublement y est représenté d'une façon moins évidente en dépit

¹ Dont un exemple est fourni en annexe 1.

des indications données par les flèches et la mention « *nécessité de* » devant certaines des formulations. L'usage de ces espaces fait apparaître régulièrement, non seulement des *nécessités sur les modèles*, mais aussi des *contraintes théoriques* (dans les cases qui sont fortement grisées)², éléments théoriques dont le statut épistémologique se distingue des nécessités. Il s'agit d'éléments théoriques admis comme tels sans discussion et sur lesquels on s'appuie dans le processus de problématisation. En général, ces *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 (Lhoste, 2005 ; Beorchia & Lhoste, 2007, p. 45-48)³. Ces contraintes théoriques sont des *a priori* partagés. Il arrive qu'elles correspondent à des idées qui font obstacle à la construction de connaissances visées. Il est également possible que certaines contraintes théoriques soient à l'origine de l'émergence du problème.

Figure 1. Les deux dédoublements de la problématisation à partir d'une situation de départ (dans le temps de l'heuristique)



1.3. ...aux « espaces contraintes et nécessités »

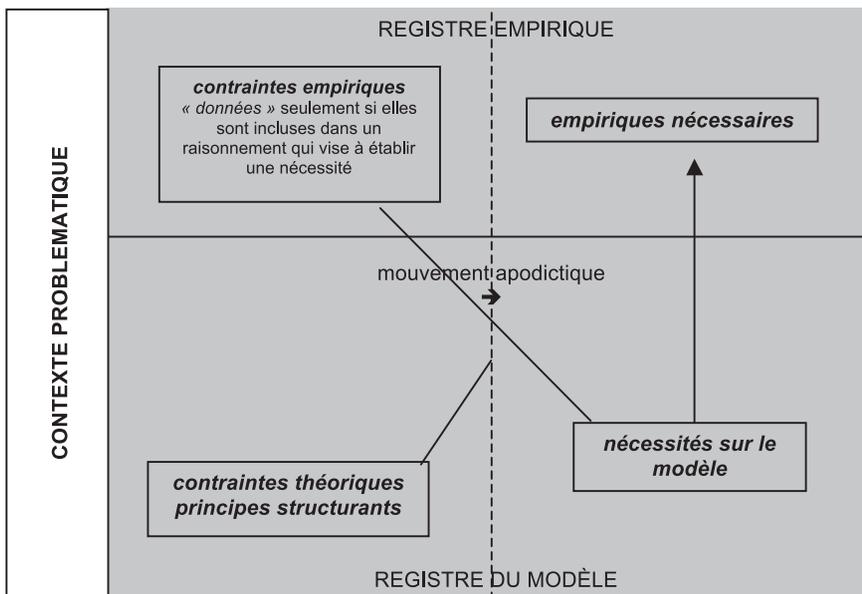
Pour analyser les propositions des élèves selon ce double dédoublement, nous proposons d'introduire un espace « *contraintes et nécessités* » (figure 2) (Lhoste, 2008), qui reprend, en le modifiant, les « *espaces de contraintes* » d'Orange (2000). Dans cette nouvelle représentation, nous conservons la séparation entre registre empirique et registre du modèle, qui rend compte du premier dédoublement, à laquelle nous ajoutons une seconde séparation qui veut traduire le second. Il s'agit

2 Cette catégorie *contrainte théorique* est introduite par Orange dès ses premiers travaux, mais sans être systématiquement questionnée.

3 Ces contraintes théoriques peuvent prendre la forme de « *principes structurants* » dans certaines problématiques historiques, comme l'ont montré Orange-Ravachol & Beorchia (2007), avec les deux exemples du principe de l'actualisme en géologie et celui de l'unité de fonctionnement des cellules nerveuses pour la construction du concept d'intégration nerveuse.

donc pour chaque registre de distinguer les contraintes dans la partie de gauche et les nécessités dans la partie droite. Cet aspect de l'espace « contraintes et nécessités » met davantage l'accent sur les raisonnements (ou argumentations) auxquels les élèves procèdent dans le processus de problématisation (représentés par des traits). Il permet également de faire figurer les contraintes théoriques, mobilisées plus ou moins implicitement, qui peuvent correspondre à des obstacles et qui sont, en général, en relation avec le contexte problématique.

Figure 2. Une présentation modifiée des « espaces de contraintes » : les « espaces contraintes et nécessités » (statut épistémologique au regard des raisonnements menés)



Ce qui figure dans la case *contraintes empiriques* correspond au niveau *registre empirique* des « espaces de contraintes » (comme celui présenté en annexe I). Ce qui figure dans la case *nécessités sur le modèle* correspond à ce qui était représenté sur le niveau *registre des modèles*. Les deux cases supplémentaires permettent de placer des formulations qui n'avaient pas de place précise dans la représentation antérieure :

- les *contraintes théoriques*, identifiées dans les travaux d'Orange, n'étaient pas séparées, d'un point de vue topologique, des *nécessités sur le modèle* ;
- les *nécessités empiriques* que nous proposons d'introduire.

Nous nous sommes tout d'abord demandés si la case *nécessité empirique* était une case vide. Il s'avère que non : bien des objets empiriques ont été trouvés, impliqués par des nécessités sur les modèles construites au sein d'un questionnement. Ainsi, du point de vue épistémologique, cette case peut avoir la signification

des « êtres de raison » évoqués par Jacob (1995) ; c'est-à-dire – comme celui-ci l'indique pour les gènes – « des structures imaginaires requises pour rendre compte des faits connus. Personne n'en avait jamais vu. On ne pouvait ni les purifier, ni les mettre en bouteille » (1995)⁴. Morange (2005, p. 55), à la suite des historiens des sciences, parle de « boîte noire »⁵ pour qualifier ces exemples d'éléments empiriques non-encore découverts dont on rend l'existence nécessaire, dans un cadre théorique donné. Darden (2002) indique que ce mécanisme d'ouverture de boîtes noires, préalablement proposées pour rendre compte d'un phénomène biologique et établir une chaîne causale complète, est une stratégie classique de découverte scientifique. Mais la signification de cette rubrique peut aussi être vue d'une autre manière : étant donné un fait empirique avéré, on peut s'interroger sur le fait qu'il aurait pu en être autrement. Par exemple, il existe un système de distribution des nutriments par le sang. Pourrait-il en être autrement ? Existe-t-il d'autres systèmes possibles ?

1.4. Contexte problématique, registre explicatif et matrice épistémique

Les philosophes du problème précisent que le processus de problématisation ne flotte pas dans les airs, mais qu'il est à mettre en relation avec un contexte problématique qui détermine pour partie les inférences qui peuvent être faites et les raisonnements produits. D'un point de vue didactique, ce contexte problématique peut être interprété de plusieurs façons.

Dans un premier sens, le contexte problématique est lié aux événements contextuels (avoir auparavant procédé à telle ou telle démarche, être confronté à un événement nouveau comme, par exemple, la nécessité d'agir par rapport aux problèmes écologiques actuels). Dans ce sens, cette idée est intéressante pour distinguer différents registres de formulations conceptuels. Ainsi, on change de contexte problématique si on s'intéresse à un régime amaigrissant ou si on s'intéresse au métabolisme des glucides en général.

Dans un second sens, plus large, le contexte problématique pourrait correspondre à l'ensemble des ressources disponibles (conceptuelles, sémiotiques, langagières...) qui permettent d'entrer dans le processus de problématisation et de l'orienter de différentes façons :

- instanciation d'éléments du contexte problématique dans le raisonnement des élèves sous la forme de *contraintes théoriques* ;
- instanciation dans le processus de problématisation de types de raisonnements non adéquats (comme le raisonnement linéaire causal).

4 Les êtres de raison (nécessaires) deviennent des empiriques seulement quand on parvient à les retrouver d'une façon ou d'une autre dans le réel.

5 Les boîtes noires des historiens des sciences sont distinctes des boîtes noires de Latour (1989) : dans un cas, on attribue une fonction à une sous-partie du système sans chercher à comprendre si cette sous-partie existe ou non, dans le second cas, c'est un élément bien connu qui n'est plus remis en question dans une autre enquête concernant un système qui le contient ou avec lequel il interagit.

Ce contexte peut subir des modifications au cours de la problématisation :

- modification au niveau des concepts mobilisés par l'explicitation exigée au cours du débat ;
- réorganisation du savoir de l'élève par la construction de nécessités qui peuvent venir s'inscrire dans le réseau de ce que les élèves savent déjà.

C'est dans ce sens, qu'Orange (1994) avait introduit un troisième registre dans son schéma de la modélisation, le « *registre explicatif* », même s'il est devenu depuis davantage une caractérisation du mode d'explication – mécanisme, vitalisme... – qu'un ensemble des ressources mobilisables. Afin de distinguer ces significations possibles du *contexte problématique*, qui permettent de traiter des questions didactiques différentes, nous proposons de les associer à trois termes différents. Le terme de *contexte problématique* peut être conservé pour le premier sens, celui de *registre explicatif* convient bien pour le troisième.

Quant au deuxième sens associé au contexte problématique, il est plus large que celui du *registre explicatif*. Le registre explicatif est centré sur le produit de l'activité de problématisation, il ne permet pas de concevoir une évolution, ni de rendre compte des modifications consubstantielles au processus de problématisation. De plus, comme les registres explicatifs sont généralement incommensurables entre eux, cela rend l'utilisation de ce concept difficile pour penser les apprentissages. Nous sommes allés chercher le concept de « *matrice cognitive* » introduit par Martinand (2000, p. 129), dans son schéma de la modélisation, comme une réponse au « *registre explicatif* » d'Orange.

L'idée de *matrice* semble intéressante car elle permet de penser aussi les ressources potentiellement mobilisables par les élèves (les élèves savent intuitivement – quand ils s'adressent les uns aux autres – ce que les autres sont susceptibles de comprendre) et pas nécessairement déjà mobilisées dans la formulation présente. Emprunter le concept de *matrice* pourrait permettre de prendre en compte les concepts avec lesquels les élèves pensent. Cela permet de concevoir une évolution (l'apprentissage) et l'intégration de nouveaux concepts à la faveur du processus de problématisation.

Cependant le terme *cognitif* pose problème, car l'instance que nous cherchons à caractériser doit prendre en compte les processus intellectuels en tant qu'ils sont indépendants du sujet qui pense et des contenus spécifiques. Dans ce sens, cette matrice est plus épistémique que cognitive, le terme cognitif renvoyant trop au sujet alors que le savoir dépasse le sujet, même si, ce qui nous intéresse, ce sont les conditions d'appropriation d'un savoir donné par des élèves dans des situations d'enseignement-apprentissage.

Nous proposons de reprendre à Martinand l'idée de *matrice*, qui se rapproche de celle de « *cadre épistémique* » introduite par Piaget et Garcia (1983, p. 275), mais s'en distingue dans la mesure où un « *cadre* » évoque un ensemble structuré,

correspondant à une certaine logique, alors qu'une « *matrice* » peut renfermer des éléments hétéroclites non encore mis en relation. C'est bien avec des éléments dans ce type de configuration aussi que se font les apprentissages, même si cette « *matrice* » renferme aussi des « *cadres* » structurés. Pour prendre en compte tous ces éléments, on pourrait parler de « *matrice épistémique* ».

2. Analyse épistémologique d'un savoir scolaire : le concept de nutrition, deux familles de problèmes

Sur le thème de la nutrition, on peut repérer deux familles de problèmes récurrents qui se présentent sous des formes et des formulations différentes selon les niveaux d'enseignement.

Les premiers tournent autour de problèmes d'absorption et de distribution : les aliments ou nutriments doivent quitter, d'une façon ou d'une autre, le tube digestif pour atteindre les différentes parties de l'organisme. Les seconds concernent le problème de l'assimilation : comment les êtres vivants peuvent-ils produire leur propre matière à partir de ce qu'ils prélèvent dans le milieu extérieur ? Ces deux questions sont présentes dans les programmes de l'école primaire, du collège et du lycée.

Comme nous l'avons précisé, dans les travaux récents sur la problématisation, il est souvent difficile d'identifier le problème en jeu dans les problématizations scolaires. Nous pensons que l'on peut parler de problème à partir du moment où, dans les explications d'un phénomène (biologique ou géologique), la mise en relation (en articulation, en tension...) d'éléments de savoir ne va pas de soi, semble contradictoire ou paradoxale. De là naît quelque chose de l'ordre de l'énigme, un appel à poursuivre l'effort d'explication : un problème. Sur le plan psychologique, cela correspond à un conflit ; sur le plan épistémique, à un problème. La « *position du problème* » (Fabre, 1999 ; Beorchia, 2004) correspond à cette phase de repérage de ce qu'il y a à résoudre. La formulation du problème, dans cette phase, pourrait correspondre à la formulation de ces incompatibilités et de l'intention de les réduire. La problématisation, dans les phases ultérieures, conduit à reformuler le problème de façon de plus en plus précise, au fur et à mesure que les contraintes sont explicitées et qu'on en infère des possibles et des nécessaires.

C'est à partir de ces questions que nous allons conduire notre analyse du concept de nutrition. Nous chercherons à formuler plus précisément ces problèmes et à les articuler aux obstacles avec lesquels ils interfèrent. On regardera comment certaines nécessités peuvent apparaître dans ces problèmes à différents niveaux d'enseignement, ce qui nous conduira à identifier des feuillets qui correspondent à des formulations différentes des nécessités autour de mêmes problèmes fondamentaux. On pourra voir aussi des bifurcations vers des problèmes d'autre nature, dans certains enchaînements problématiques.

Pour cela, nous nous appuyerons :

– sur l'exemple d'une nécessité régulièrement construite dans les débats sur le thème de la nutrition : celle de transformation. Comme l'a montré Orange (2005, à partir de Canguilhem, 1969)⁶, la nécessité de transformation peut renvoyer aux deux problèmes différents que nous avons évoqués : celui de l'absorption/distribution des nutriments aux organes, celui de l'assimilation ;

– sur un corpus conséquent de travaux de recherche consacrés à ce sujet qui ont développé des analyses épistémologiques fouillées (Orange, 1994a ; Ducros, 1996 ; Goix, 1996 ; Peterfalvi, 2001) que nous ne pouvons reprendre dans le détail.

2.1. La nécessité de transformation dans des problèmes de distribution

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à la place de la nécessité de transformation dans des problèmes d'absorption/distribution, du point de vue supposé d'élèves de fin de primaire ou début du collège, pour lesquels des études ont montré qu'ils conçoivent les conduits biologiques (vaisseaux sanguins, tube digestif) comme des tuyaux continus à paroi imperméable (Giordan & De Vecchi, 1987 ; Clément, 1991). Si la question de l'approvisionnement en nutriments d'un organe éloigné du tube digestif se pose, l'étanchéité du tube digestif engendre une impossibilité de répondre de façon immédiate et évidente, et donc un problème, puisqu'il n'y a pas d'autre voie pour atteindre les organes.

L'« *espace contraintes et nécessités* » de la figure 3 représente ce premier niveau de formulation du problème de distribution.

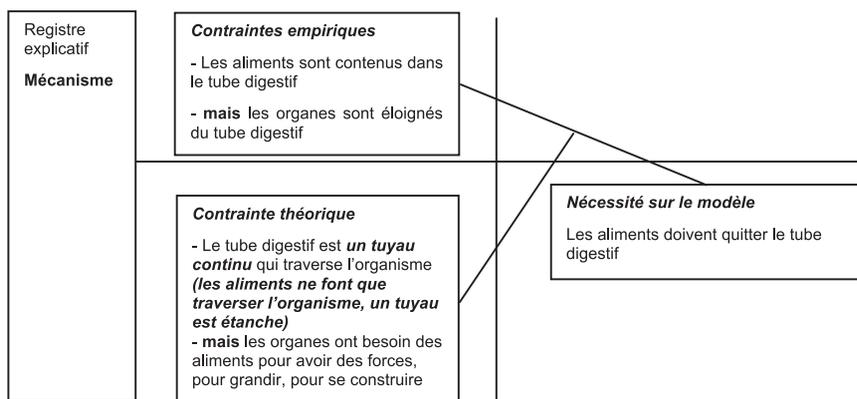
Dans la figuration proposée, les deux contraintes empiriques (les aliments sont contenus dans le tube digestif ; les organes sont éloignés du tube digestif) et la contrainte théorique (les organes ont besoin de quelque chose pour avoir des forces) fondent la nécessité sur le modèle ; la première contrainte théorique va à l'encontre de cet ensemble d'idées puisque le tube digestif est un tuyau continu imperméable.

L'obstacle « *tuyau continu à paroi imperméable* », responsable de la difficulté à concevoir « *des conduits biologiques dont la paroi est perméable, et dont la fonction essentielle est liée à cette perméabilité* » (Clément, 1991, p. 53), est identifié de longue date en didactique de la biologie. On peut y voir une projection de l'expérience quotidienne : les tuyaux utilisés habituellement sont étanches (ou alors c'est un

6 « *La transformation des aliments dans le tube digestif est évidente : cela se voit. Mais ce n'est pas suffisant pour en faire un savoir scientifique : ce pourrait être un épiphénomène, une conséquence sans signification biologique du changement de milieu de cette nourriture ingérée. Ce constat d'une transformation renvoie alors à deux questions critiques : comment cette transformation est-elle possible ? Et surtout : pourrait-il en être autrement ? Cette seconde question a reçu depuis longtemps (au moins depuis Galien, II^e siècle) une réponse : pour que la nourriture puisse passer dans le système sanguin, elle doit être transformée, ce qui donne une fonction à cette transformation. (...) les transformations chimiques prennent leur totale signification non pas dans cette évidence empirique, mais dans la nécessité, pour que l'assimilation soit possible, de former les mêmes nutriments à partir d'aliments variés* » (Orange, 2005, p. 76-77).

défaut). Mais cet obstacle correspond aussi à l'actualisation d'obstacles plus généraux comme le primat de la perception, avec une conception du microscopique à l'image du macroscopique⁷.

Figure 3. Un premier niveau de formulation du problème de la distribution pour des élèves de cycle 3 et de début de collège. Espace « contraintes et nécessités »⁸



Il est important de noter que cet obstacle, s'il est explicité, est à l'origine du problème en tant que tel et ne s'y oppose pas, contrairement à d'autres situations. C'est de l'idée qu'il porte que naît le paradoxe, donc le problème. C'est une condition de son émergence. En empêchant une résolution simple et rapide de ce paradoxe, il permet de rendre le problème saillant, mais il constitue, en même temps, une « *anticondition* » à sa résolution (Peterfalvi, 2005). Il aura donc à être déconstruit. On devra construire une nouvelle nécessité, inverse de cette contrainte préalable : le tube digestif ne peut pas être continu ou étanche. Ces ensembles d'idées, qui font partie des contraintes théoriques (admises comme telles *a priori*), ont un statut particulier (pour cette raison, nous les faisons figurer en italique gras dans notre espace). Le résultat de la problématisation est de les renverser. Bien que non discutées *a priori*, elles ont vocation à être remises en question.

Au sein de ce problème, la nécessité de transformation peut-être considérée comme une condition de possibilité de l'absorption/distribution. Tentons de formaliser cette nécessité de transformation dans un problème de distribution au sein d'un espace « contraintes et nécessités » (figure 4), toujours du point de vue d'élèves de cycle 3 ou de début de collège.

7 Envisager des structures biologiques (ou autres) qui ont simultanément deux fonctions qui peuvent paraître contradictoires est également en rupture avec la pensée commune.

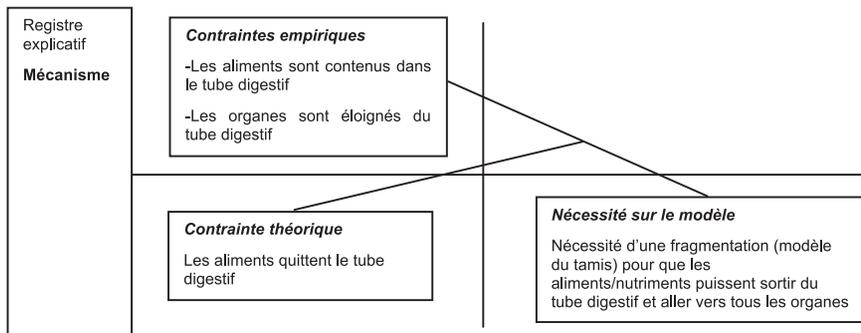
8 Dans les espaces « contraintes et nécessités » que nous allons présenter, nous faisons apparaître un registre explicatif en tant qu'ensemble structuré homogène que nous prenons en compte puisque nous nous situons dans le cadre d'un raisonnement cohérent. Nous pensons pouvoir introduire la matrice épistémique dans les études de cas que nous envisageons pour nos recherches ultérieures.

En fonction du contexte problématique, « *les aliments quittent le tube digestif* » peut être considéré comme une *nécessité sur le modèle* (c'est le cas dans le problème précédent) ou comme une *contrainte théorique* si l'on considère cette nécessité comme établie et désormais non discutée. Il y a là une succession de trois nécessités qui changent au fur et à mesure de statut, de nécessité construite dans un problème à une contrainte pour un autre problème :

- problème 1 : nécessité de distribution ;
- problème 2 : contrainte de distribution, nécessité d'absorption ;
- problème 3 : contrainte d'absorption, nécessité de transformation.

C'est parce que la distribution est nécessaire que le problème de l'absorption peut se poser. Ainsi, la nécessité de transformation est incluse dans un processus de problématisation autour de la distribution des aliments.

Figure 4. La nécessité de transformation dans un problème de distribution. Espace « contraintes et nécessités » de niveau I (cycle 3 – début de collège)



C'est un modèle mécanique, celui du tamis, qui peut permettre de construire le problème⁹. Ce modèle, qui nécessite une transformation mécanique (une fragmentation), vient renforcer l'évidence empirique du broyage des aliments par les dents. Il évite de penser à une digestion de nature chimique, puisqu'il suffit à résoudre le problème tel qu'il se présente à ce stade d'élaboration. En ce sens, il peut faire obstacle car il permet de conserver intacts les obstacles fondamentaux du primat de la perception et de la conception du microscopique à l'image du macroscopique, mais c'est une condition pour trouver une solution à ce niveau d'élaboration du problème : ce modèle est provisoirement satisfaisant pour penser le départ des aliments vers les organes.

Toutefois, il ne permet pas de rendre compte du caractère fonctionnel du départ des aliments du tube digestif (et du tri), par rapport à la nutrition : comment

⁹ Résoudre le problème pourrait consister à préciser la forme de ces trous, leurs dimensions, la constitution chimique de leurs parois, leur mode de fonctionnement : comment sélectionnent-ils le « bon » ?

la partition « grand/petit » impliquée dans ce modèle s'articule avec la partition « bon/mauvais », repérée dans des débats à l'école primaire pour fonder la nécessité de tri (Orange, 2004) ? On entrevoit bien là sinon une sorte de discordance, du moins une lacune dans l'explication. D'où l'émergence possible d'un nouveau problème.

C'est parce que cette question de la transformation sera mise en relation avec un autre problème, celui de l'assimilation que l'on pourra passer à un deuxième niveau d'élaboration du problème. Nous ne développerons pas les niveaux d'élaboration plus élevés de cette nécessité de transformation liée aux problèmes d'absorption, pour consacrer davantage d'espace aux problèmes liés à l'assimilation, pour lesquels la nécessité de transformation intervient de façon plus directe. Cela nous permettra de regarder de façon précise comment une même famille de problèmes peut apparaître différemment selon les niveaux scolaires et les connaissances disponibles : cela pose la question du traitement de la nutrition dans les petites classes et de la non-accessibilité des élèves de ces classes à ce problème en termes physico-chimiques.

2.2. La nécessité de transformation dans des problèmes d'assimilation

Le problème d'assimilation peut être formulé, pour des élèves du cycle 3 ou de début de collège, de la façon suivante « *comment le lapin, pour grandir et produire sa propre matière, produit-il du lapin à partir d'herbe ?* ».

À partir de ce que l'on connaît des représentations des élèves sur cette question d'assimilation (Goix, 1996, 1997 ; Zarca, 2001), nous allons tenter de construire et de distinguer différents niveaux d'élaboration possibles de ce problème et les examiner d'un point de vue curriculaire. Il y a une relation d'ordre entre ces différents niveaux d'élaboration, même s'il est difficile de les référer très précisément à des programmes scolaires. Le premier feuillet pourrait être accessible, dans une certaine mesure, au niveau de l'école primaire, en cycle 3 ou à celui du début du collège.

• Un premier niveau d'élaboration du problème d'assimilation

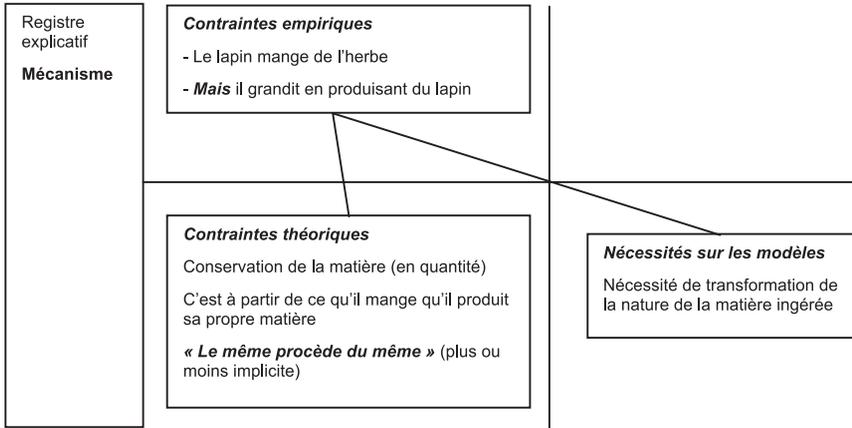
La figure 5 présente la nécessité de transformation dans l'espace « contraintes et nécessités » de ce premier niveau d'élaboration du problème d'assimilation.

Regardons tout d'abord ce qui figure dans les cases de gauche, celles qui sont de l'ordre des préalables non discutés, mais sur lesquels s'appuie la construction du problème.

1) Le fait que le lapin mange de l'herbe est connu et partagé à ce niveau scolaire. On n'en discute pas, mais on peut mobiliser cette idée.

2) Le fait que quand le lapin grandit, il produise du lapin est accessible aussi et constitue presque une lapalissade.

Figure 5. La nécessité de transformation dans un problème d'assimilation. Espaces « contraintes et nécessités » niveau I (cycle 3, 6^e)



3) L'idée que « c'est à partir de ce qu'il mange qu'il produit sa matière » l'est nettement moins. Cette idée suppose :

- une certaine idée de conservation de matière (en quantité) ;
- que soit surmonté un obstacle lié au vitalisme qui consiste à penser que le vivant croît par nature sans nécessité d'ajout de matière (cela constituerait une spécificité de la matière du vivant ; Orange, 1994a ; Goix, 1997, p. 151). Or, cette idée peut-être présente pour cette tranche d'âge, même si elle n'est évidemment pas partagée par tous les élèves (Goix, 1996).

Il nous semble pourtant que la coprésence de ces deux idées représente une condition pour que le problème puisse être posé dans le sens d'un problème d'assimilation et non de distribution. En effet, si l'idée que « *si on mange cela sert à quelque chose* »¹⁰ (même sans idée de conservation), ce n'est pas nécessairement lié à la croissance vue comme une production de sa propre matière (les hommes adultes mangent et ne grandissent pas) : cela peut simplement servir pour que les organes aient des forces, de l'énergie. Dans ce cas, le problème construit renvoie au problème d'absorption/distribution, mais pas à celui d'assimilation : « *comment faire pour apporter aux organes (c'est-à-dire partout, dans tous les organes), à partir de ce que l'on mange, ce dont ils ont besoin pour avoir des forces, de l'énergie...* ». Il convient de souligner que, même dans ces formulations, il y a des problèmes de transformation de la matière (aliments => énergie...), mais beaucoup plus difficiles à traiter rationnellement.

¹⁰ Idée partagée par les élèves dès le primaire à partir de laquelle ils peuvent s'engager dans des questions autour de la nutrition.

4) L'idée que « *le même procède du même* » dont Goix a souligné la persistance (1997, p. 24), à la suite de Canguilhem, est de l'ordre du théorique et va contre l'idée de transformation : c'est une façon de valoriser une conservation en nature.

Regardons maintenant la case qui correspond aux *nécessités* susceptibles d'être construites. Si les différentes *contraintes* sont admises¹¹ (le lapin mange de l'herbe ; il grandit en produisant du lapin ; c'est à partir de ce qu'il mange qu'il produit sa propre matière) et que, par ailleurs, intervient l'idée implicite que « *le même procède du même* », les deux propositions de la case du haut deviennent incompatibles (d'où le « *mais* » qui les sépare). On est face à un paradoxe, un problème peut être posé : si le lapin mange autre chose que du lapin (surtout de l'herbe qui ne contient ni os, ni poil), comment se fait-il qu'il produise du lapin, ce qui est *a priori* impossible, si « *le même procède du même* ».

La nécessité de transformation, c'est un moyen de sortir du paradoxe et de construire ce problème. Mais il existe un risque d'arrêt de la pensée dans la construction-résolution de ce problème : il réside en la mobilisation de l'idée de transmutation, entendue comme une transformation possible sans contrainte, ni condition, qui empêche, en la résolvant d'emblée, toute explication de la transformation. Elle écrase le problème, comme dans la physiologie de Galien, où la nourriture se transforme en sang dans le foie et « *les différentes parties du corps transforment, par contact, le sang en une matière identique à celle dont elles sont composées* » (Pichot, 1993, p. 176). C'est l'obstacle symétrique à celui qui consiste à penser que le « *même procède du même* », où l'identité des substances est conservée envers et contre tout.

Il convient de noter que l'obstacle « *le même procède du même* » est lié de deux façons différentes à ce niveau d'élaboration du problème : c'est parce qu'il est là que le problème se pose. Sinon, aucune incompatibilité, rien à chercher. Mais le problème d'assimilation ne peut être construit et résolu (à ce niveau) que par une proposition qui dépasse cet obstacle (il y a une nécessité de transformation de matière, il ne peut en être autrement). D'où un retour sur cette contrainte préalablement admise, mais remise en question par les raisonnements qu'elle a elle-même suscités. C'est un cas de figure similaire à celui noté à propos des problèmes de distribution-absorption¹² : la contradiction peut générer le problème.

Comme pour le problème relatif à la distribution/absorption au degré d'élaboration I, nous avons laissé la case du haut vide : en effet, ce niveau de construction du problème n'aboutit à aucune nécessité précise sur le plan empirique. Elle ne dit rien de précis sur la nature de la transformation nécessaire.

11 En dehors de toute situation de classe, nous pensons que l'ensemble de ces contraintes pourraient être construites. C'est, il nous semble, une condition pour que ce problème-là se pose (d'autres problèmes peuvent être construits, notamment ceux d'absorption/distribution).

12 Pour s'engager dans la construction de ce problème, il faut envisager de remettre en cause la continuité et/ou l'imperméabilité du tube digestif.

On peut s'interroger sur la pertinence de s'engager dans le questionnement sur la nature de la transformation, au niveau de l'école primaire ou du début du collège, puisqu'on peut juger qu'il est impossible d'aller plus loin à ce niveau scolaire : pour cela, en effet, on peut penser qu'il est indispensable d'entrer dans le domaine de la chimie. Cependant, sans entrer dans la chimie, cette transformation peut être pensée avec un modèle discontinu de la matière avec un seul niveau particulière, à la condition que les particules d'une même substance ne soient pas identiques entre elles¹³ (on explicitera page 93 pourquoi c'est, de notre point de vue, une condition).

En effet, nous pouvons considérer deux niveaux d'hétérogénéité entre particules, dès lors qu'on se situe dans un modèle particulière, le second niveau permettant l'entrée dans une pensée chimique.

1) Un premier niveau d'hétérogénéité, correspondant à un seul niveau particulière, permet de concevoir la matière comme composée de parties plus élémentaires, mais différentes entre elles, et qui peuvent, après avoir été séparées, être recomposées : on est dans un problème de mélange, avec un seul niveau particulière. Cela peut concerner les différents nutriments qui composent les aliments et même les différentes « molécules simples » qui composent les macromolécules alimentaires. En effet, si l'on regarde les formulations données dans les manuels scolaires à propos de la digestion, malgré une insistance sur le caractère chimique de la digestion – par opposition à une conception comme fragmentation – on s'aperçoit que la plupart du temps, c'est une pseudo-chimie qui y est à l'œuvre : on y parle très peu des hydrolyses, la chimie de la digestion y est souvent ramenée à l'action des sucs digestifs sur les aliments. En fait, la vision de macromolécules découpées en unités plus petites par les enzymes digestives, notamment pour les protéines (figurées comme un collier de perles différentes entre elles, séparées puis recomposées autrement [Sauvageot-Skibine, 1991 ; Brabet, 2008]), n'est-elle pas équivalente à un modèle à un seul niveau particulière, avec un seul niveau d'hétérogénéité ? Notons que cela se présente très différemment s'il est question de protéines ou de glucides : les colliers de glucose ou maltose représentés pour rendre compte de la structure de l'amidon sont composés de « particules » identiques entre elles. Une décomposition – recombinaison redonnerait dans ce cas nécessairement la même chose.

2) Un second niveau d'hétérogénéité, correspondant à deux niveaux particuliers (non seulement entre molécules différentes, mais aussi entre atomes différents), permet d'entrer réellement dans la chimie. Les dégradations du catabolisme et les synthèses de l'anabolisme nécessitent non seulement des réarrangements entre molécules (telles qu'on pourrait les envisager dans un modèle à un seul

¹³ On reprend par cette voie le travail de la recherche INRP *Recherche sur les objectifs-obstacles et les situations d'apprentissage* (ROOSA, Peterfalvi, 1992), dont certains articles des numéros 24 et 25 de la revue *Aster* sont issus (*Aster*, 1997a, 1997b).

niveau d'hétérogénéité), mais également des réarrangements entre atomes, à l'intérieur de molécules. Ce sont eux qui rendent nécessaires la prise en compte des dimensions énergétiques liées aux lois de la thermochimie.

On pourrait dire que le fait d'employer un modèle à un seul niveau particulière, avec un seul niveau d'hétérogénéité est une sorte de ruse ou compromis, qui permet de conserver quelque chose de l'idée que « le même procède du même » (des particules se conservent) tout en allant vers quelque chose qui ressemblerait à une transformation : la transformation en question serait alors un nouveau mélange. Mais un tel modèle ne permet pas vraiment de rendre compte de l'apparition de substances nouvelles et spécifiques. Les conservations, dans cette optique, sont surévaluées par rapport aux transformations.

La transformation avec un modèle discontinu de la matière avec un seul niveau particulière peut se traduire concrètement par des formulations en termes de séparation (par des transformations uniquement mécaniques) des différents constituants d'un mélange que constitueraient la nourriture (en termes de protéides, lipides, glucides, eau et sels minéraux, ou simplement en pastilles de plusieurs couleurs) dont une recombinaison différente pourrait permettre de constituer une nouvelle matière (Burger, 1995 ; Goix, 1997). Si la matière herbe est constituée de plusieurs matières plus élémentaires, on peut concevoir que la matière lapin, constituée autrement (dans des proportions différentes, par exemple) des mêmes matières élémentaires, puisse en provenir, sans introduire les concepts de la chimie.

Nous avons précisé que l'on peut envisager une transformation avec un modèle discontinu de la matière avec un seul niveau particulière, à la condition que les particules d'une même substance ne soient pas identiques entre elles. En effet, cette condition suppose une rupture avec l'idée que la plus petite partie d'une substance est homologue à cette substance et présente les mêmes propriétés, puisque cette substance est représentée par des particules différentes entre elles et qui ne peuvent donc pas avoir toutes les mêmes propriétés que la substance en question. Cette rupture est très importante¹⁴, parce qu'elle fait entrer dans le monde des modèles : le très petit explicatif acquiert un statut différent, ce n'est plus de l'empirique à une échelle réduite, comme dans l'atomisme enfantin. Un tel modèle particulière est proche de celui qu'on peut utiliser pour rendre compte des transformations physiques de la matière (comme le modèle de Bernouilli), comme les changements d'état et les mélanges mais, à la différence de celui-ci, il introduit une hétérogénéité entre particules d'une même substance.

Des amorces de construction d'un tel modèle, dès le cycle 3, sont sans doute possibles à propos de la nutrition et ont été tentées : les tableaux de composition des aliments dans le commerce vont dans ce sens. On peut également trouver

¹⁴ Un modèle particulière à un seul niveau se heurte à l'obstacle qui fait concevoir le microscopique à l'image du macroscopique, lié à l'expérience sensible.

une telle amorce dans les propositions des élèves séparant dans la nourriture le « bon » et le « mauvais » qui permet d'expliquer que le « mauvais » est rejeté.

Il y a donc deux issues à ce premier niveau de formulation du problème : une solution en termes de transformations faciles sans condition qui annihile le problème, et une solution, du type de celle que nous venons d'évoquer, qui utilise une recomposition de la matière, avec une conservation de parties élémentaires. Quoi qu'il en soit, on reste sur une « semi solution », puisqu'on peut ainsi difficilement rendre compte de la spécificité des nouvelles matières apparues, mais cela n'est sans doute pas sans intérêt : la construction d'un tel problème, basique pourrait-on dire, peut être gardée en mémoire et constitue une structure d'accueil pour les feuillets suivants d'élaboration du problème, susceptibles d'être abordés au niveau du collège, puis du lycée. Par ailleurs, le fait que le type de solution qu'il apporte soit seulement une semi-solution peut être vu de deux façons différentes : une telle solution peut renforcer un obstacle à la compréhension des transformations chimiques, en les assimilant à des mélanges, obstacle repéré régulièrement dans des travaux antérieurs ; mais, à condition qu'on devienne conscient qu'elle n'explique pas tout, une telle solution peut être à l'origine de nouveaux problèmes. Cela pourrait constituer un problème « en réserve ».

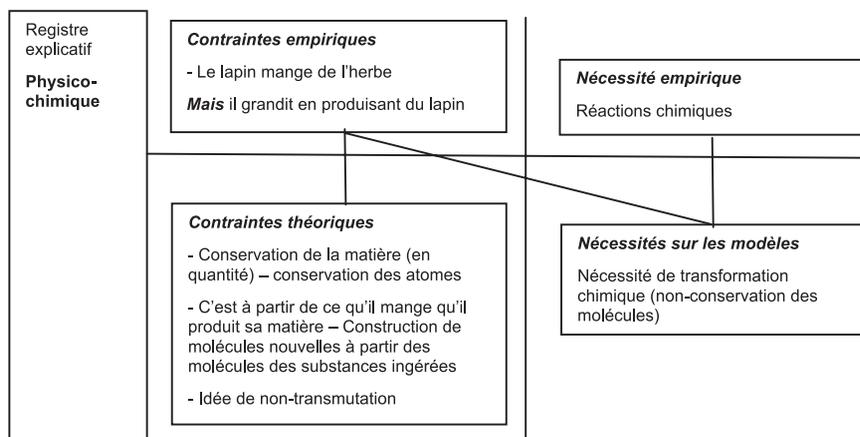
• Un deuxième niveau d'élaboration du problème d'assimilation

Dans le premier niveau de formulation du problème, la nature de la transformation n'est pas interrogée. La distinction entre ce deuxième niveau d'élaboration du problème et le premier réside dans le passage d'un modèle de la matière homogène (ou d'un modèle particulière de la matière hétérogène à un seul niveau) à un modèle de la matière discontinu et hétérogène à deux niveaux. Ce passage nécessite des transformations dans la matrice épistémique.

Ainsi, pour pouvoir formuler le deuxième niveau d'élaboration du problème, de nouveaux éléments vont devoir intervenir dans notre espace « contraintes et nécessités ». La figure 6 présente un deuxième niveau d'élaboration de ce même problème.

Fondamentalement, le sens du problème n'est pas différent du précédent. Mais c'est d'une autre élaboration, dans un autre champ disciplinaire (celui de la chimie en l'occurrence) et dans un problème autre que celui de la nutrition, que l'idée de non-transmutation peut être construite. Elle peut alors devenir une condition de possibilité de la position-formulation de ce deuxième niveau d'élaboration du problème d'assimilation. Le problème provient du fait que le lapin doit fabriquer sa propre matière à partir de substances qui sont différentes de la sienne. Cela devient paradoxal si on croise cette idée avec celle de non-transmutation puisque l'herbe ne peut plus se transformer, sans condition, en substance lapin. Or, la non-transmutation n'appelle pas directement les transformations chimiques comme nous l'avons vu avec des modèles intermédiaires à un seul niveau d'hétérogénéité.

Figure 6. La nécessité de transformation dans un problème d'assimilation.
Espaces « contraintes et nécessités » niveau 2 (5^e, 2^{de})



La formulation que nous en donnons ici peut sembler assez proche de celle du premier feuillet. Mais à la différence de la première formulation, on sait qu'une solution sera jugée acceptable à la condition qu'elle soit formulée en termes chimiques. La solution, provisoirement disponible, d'une transformation mécanique ne convient plus¹⁵. Pour que ce deuxième niveau d'élaboration du problème soit possible, il est nécessaire de disposer d'un modèle de la matière discontinu et hétérogène, avec un système atomes – molécules, élaboré en dehors de ce problème. La nécessité de « transformation de nature » élaborée dans le premier feuillet peut, dans ces conditions, être conçue en termes de « nécessité de transformation chimique ».

Lors du passage du premier niveau de formulation du problème au deuxième, le premier n'existe plus dans ces termes, mais il n'a pas pour autant disparu. Il est toujours présent (idée de structure d'accueil) à la base d'un cadre problématique et permet de donner une signification au deuxième problème (qu'on pourrait formuler ainsi : comment le lapin peut-il élaborer sa propre matière à partir de matières différentes, puisque les transmutations sont impossibles et qu'une simple recombinaison de particules simples ne permet pas de rendre compte des spécificités). Le *problème basique* structure les nouveaux problèmes qui se sont greffés dessus. C'est bien un feuilletage et les différents problèmes ne peuvent être pensés indépendamment les uns des autres sans entraîner des pertes de sens. Ceci a nécessairement des conséquences didactiques si l'on réfléchit en termes curriculaires.

¹⁵ Notons que la modélisation de l'action des enzymes sur les aliments, présentée régulièrement sous forme de petits ciseaux qui découpent les molécules alimentaires (Sauvageot-Skibine, 1991) n'aide pas à identifier le problème et peut constituer un obstacle à la compréhension des relations entre digestion et nutrition.

Plusieurs obstacles peuvent intervenir ici, non pour permettre l'émergence du problème comme on l'a vu à propos de l'étanchéité du tube digestif, mais pour empêcher son identification à ce deuxième niveau. Ainsi, si l'on considère que tout peut se transformer en tout sans contrainte (idée de transmutation) et que l'on conçoit le microscopique à l'image du macroscopique alors la transformation de l'herbe peut suffire à la faire changer de nature. Ces obstacles viennent masquer le problème. Si rien n'est dérangeant, comment peut-on se lancer dans une activité de problématisation ?

Si on regarde les cases de droite, la « nécessité sur le modèle » construite (ainsi que la « nécessité empirique » correspondante) reste d'une formulation très générale : il y a nécessairement des transformations chimiques. Elle ne permet pas de spécifier le type de réactions chimiques impliquées dans la transformation des aliments en nutriments, d'autant plus que les réactions chimiques disponibles au niveau du collège et du début du lycée (celles de la chimie minérale) ne sont pas celles impliquées dans ces réactions. Du point de vue des liens entre l'activité de construction de problème et le travail expérimental, cela permet seulement de délimiter ce que l'on doit rechercher lors d'un travail d'investigation¹⁶ et d'éliminer certaines réponses (comme celle d'une transformation mécanique) : où les aliments subissent-ils des transformations chimiques ? quelles sont les réactions chimiques concernées ? quels sont les réactifs et les produits de ces réactions chimiques ? En fait, la considération de ces deux niveaux d'hétérogénéité dans un modèle atome-molécule devient vraiment indispensable dès lors qu'on veut spécifier les réactions en jeu et les substances formées. Sinon, les modèles à un seul niveau d'hétérogénéité, avec une conception des substances comme mélanges et une conservation des particules peuvent donner l'illusion de suffire.

Il est difficile de concevoir que la nécessité des deux niveaux d'hétérogénéité à propos des problèmes d'assimilation soit construite dans le cadre du cours de SVT seulement. Cela implique que les concepts chimiques soient aussi construits ailleurs, dans le cours de chimie, pour pouvoir être mobilisés comme outil en SVT dans une dialectique outil/objet¹⁷. Car, ce que nous disons là n'implique pas nécessairement que ce modèle de la matière discontinu et à deux niveaux d'hétérogénéité soit appris *avant*, dans le cours de physique-chimie. Cela pourrait être traité aussi *simultanément* en chimie et en SVT, les questions de biologie venant donner du sens à ce qui est appris en chimie. Cela permet d'envisager les relations entre les disciplines, mais il n'est pas possible de développer ici davantage ce sujet.

16 On ne sait pas encore exactement ce que l'on cherche, mais on a une idée précise de la forme de la réponse : la réponse est une réaction chimique.

17 L'ordre évoqué ici est inversé par rapport aux propositions de Douady, (Douady, 1984), mais. « ce n'est pas choquant si le processus est vraiment dialectique », (Astolfi et Peterfalvi 1993, p. 120).

• **Des niveaux supérieurs d'élaboration du problème d'assimilation (terminale S)**

D'autres niveaux d'élaboration de ce problème pourront être proposés lorsque de nouveaux éléments mobilisant d'autres champs disciplinaires (biochimie, thermodynamique) seront disponibles et viendront questionner les solutions du deuxième problème, permettant de faire apparaître de nouveaux problèmes (écart entre la cinétique observée dans les transformations chimiques de la digestion et les cinétiques des réactions chimiques sans catalyseur...). De nouvelles nécessités sur les modèles pourront être construites, mais surtout, en fonction des savoirs disponibles, les nécessités empiriques seront beaucoup plus précises. Cela permettra de mettre en œuvre des plans expérimentaux précis.

Il peut également y avoir des enchaînements problématiques qui se traduisent par des bifurcations vers des problèmes d'autres types. Ainsi, à un niveau supérieur d'élaboration du problème d'assimilation (au niveau biochimique), on peut construire de nouveaux problèmes comme ceux liés au métabolisme intermédiaire par exemple.

Mais il n'est pas sûr qu'il faille attendre ce niveau d'élaboration pour trouver des bifurcations vers d'autres ordres de problèmes : les questions d'hygiène alimentaire interviennent dès le niveau de l'école élémentaire par exemple. Reste à voir comment elles peuvent se constituer en problème, qui puisse être traité à ce niveau.

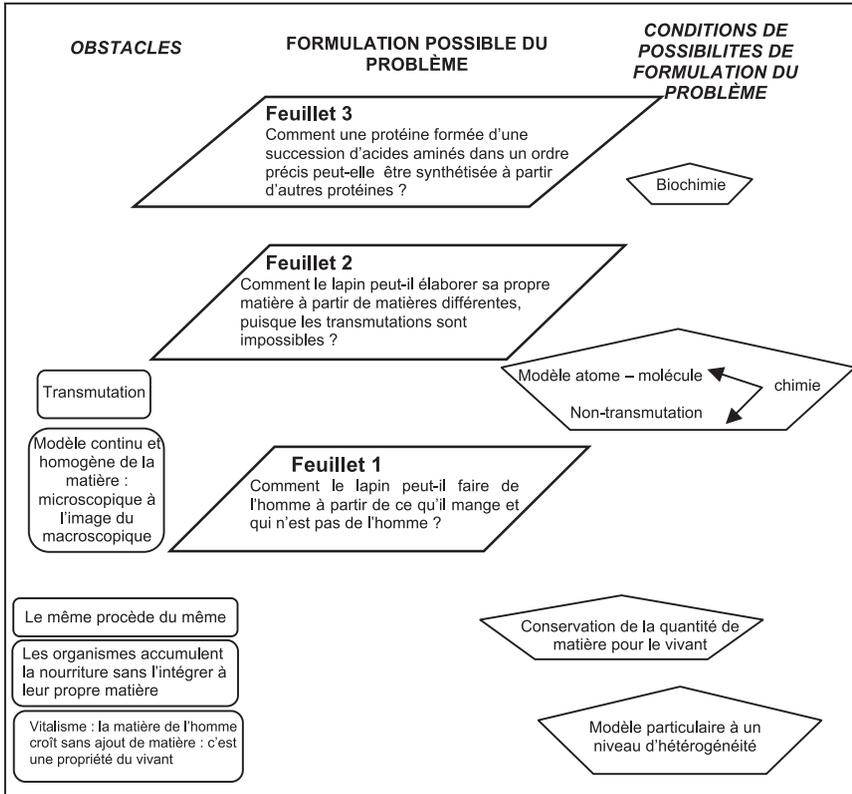
• **La nutrition : un feuilleteage de problèmes**

La figure 7 tente de représenter les différents niveaux d'élaboration du problème de l'assimilation en les articulant avec les obstacles qui interviennent dans leur position-formulation et les conditions de possibilité de position-formulation de ces mêmes problèmes.

Le passage du premier niveau d'élaboration du problème au deuxième correspond à l'abandon d'un modèle homogène et continu de la matière pour un modèle hétérogène, avec l'entrée dans le monde de la chimie. Cependant, à ce stade de la réflexion, nous nous demandons si ce deuxième feuillet ne pourrait pas être dédoublé pour intégrer le modèle discontinu de la matière à un seul niveau d'hétérogénéité, comme nous l'avons discuté plus haut. Cela pourrait renvoyer le passage à deux niveaux d'hétérogénéité au passage du deuxième au troisième feuillet avec l'entrée dans la biochimie¹⁸. Ainsi, il est possible que toute la chimie utilisée avant n'en soit pas vraiment une. Mais le fait de l'introduire peut toutefois remplir une fonction. Cela peut mettre sur la voie, permettre d'envisager que c'est avec la chimie qu'on trouvera des solutions, même si cela n'est pas vraiment

¹⁸ Du point de vue des conditions de possibilité, il faudrait alors déplacer le modèle atome — molécule entre le deuxième et le troisième feuillet, ce qui nécessite des investigations complémentaires.

Figure 7. Les différents niveaux d'élaboration du problème d'assimilation



problématisé à ce niveau, puisque la chimie, en tant que telle, n'est pas vraiment impliquée dans les raisonnements. Cela donne de nouvelles directions de recherche qui devront être mises à l'épreuve.

Par rapport aux obstacles, il convient de préciser que, quel que soit le niveau de position-formulation du problème auquel nous les avons associés, tous peuvent réapparaître plus tard : c'est même une caractéristique essentielle des obstacles (Fabre, 1995 ; Peterfalvi, 2001).

3. Discussion : problématisation et perspectives curriculaires

Cette étude a permis d'identifier plusieurs familles de problèmes par rapport au domaine de la nutrition : des problèmes d'absorption/distribution et des problèmes d'assimilation. Elle nous a également permis de mettre en évidence la possibilité de certains enchaînements problématiques qui sont déterminants pour envisager une analyse curriculaire de la problématisation et les relations entre problématisation, problème et obstacles de ce point de vue.

3.1. Problématisation, problème et obstacles

Nous avons mis en évidence la double fonction des obstacles par rapport à l'activité de problématisation. Dans certains cas, les obstacles peuvent venir entraver le processus de problématisation, c'est lié à leur fonction même d'obstacle, ce sont les « *obstacles facilités* » identifiés par Astolfi et Peterfalvi (1993, p. 113-114) qui donnent l'impression de comprendre. On peut dire que des obstacles permettent l'émergence d'un problème à partir du moment où on peut commencer à entrevoir leur non-cohérence avec d'autres éléments que l'on accepte aussi. Ils le permettent quand ils commencent à perdre leur statut d'obstacle. Mais sans cette idée qui faisait obstacle, et sans cette incohérence perçue, le problème ne serait pas apparu : c'est l'« *obstacle difficulté* » (*ibid.*). Cette explicitation des fonctions des obstacles dans le processus de problématisation nous a permis de proposer, sur le cas des problèmes liés à l'assimilation, différents niveaux d'élaboration de ces problèmes dans une perspective curriculaire (figure 7).

3.2. Problématisation et enchaînements problématiques

Notre étude a permis de mettre en évidence plusieurs types d'enchaînements problématiques.

• Différents niveaux d'élaboration d'un même problème

Certains enchaînements problématiques correspondent à un processus d'abstraction croissante, qui intervient quand on passe d'un niveau d'élaboration du problème à un autre. Le niveau d'élaboration du problème est en lien étroit avec la matrice épistémique et les éléments constitutifs de cette matrice (comme les concepts physico-chimiques disponibles par exemple). Une idée de feuilletage des niveaux d'élaboration des problèmes est présente, où plus le niveau augmente, plus les principes mobilisés sont abstraits. Ainsi, il nous semble que cette idée de niveau d'élaboration des problèmes est à mettre en relation avec les recherches conduites dans l'équipe du CREN sur les « *principes structurants* » dans le champ des SVT¹⁹. Ces différentes considérations posent la question didactique de la façon dont on peut permettre aux élèves de s'approprier ces principes structurants, de les faire fonctionner dans des problématisations scolaires. Ou pour le dire autrement, dans le cadre de notre problématique, ils posent la question des conditions de possibilité didactiques permettant aux élèves l'accès à des niveaux supérieurs d'élaboration des problèmes.

• D'un problème à un autre

Nous avons mis en évidence que certains enchaînements problématiques correspondent à une certaine façon de relier des problèmes entre eux. Ainsi nous

¹⁹ Les principes structurants correspondent à des principes « *qui ont historiquement fondé des domaines de savoirs scientifiques* » (Orange-Ravachol & Beorchia, 2007, p. 1). Ces principes constituent des conditions de possibilité de construction de certains concepts biologiques et géologiques.

avons montré comment la construction du problème de l'assimilation est une condition qui permet le passage du premier niveau d'élaboration du problème de la distribution à un deuxième niveau d'élaboration de ce même problème. Ce type de travail permettrait, peut être, de déterminer des réseaux problématiques qui pourraient rendre compte du caractère systémique des concepts scientifiques et de reprendre les questions relatives aux trames conceptuelles développées dans les recherches en didactique de la biologie (Aster, 1985).

• **Vers d'autres ordres de problèmes**

Enfin, nous avons envisagé, dans l'analyse du problème de l'assimilation, comment la construction de ce problème pouvait permettre de penser les bifurcations vers des problèmes d'ordre différent, mais dont la construction requiert celle des problèmes précédents : par exemple, le problème du catabolisme oxydatif cellulaire qui, pour pouvoir être posé, nécessite la construction du problème de l'assimilation.

Il y a aussi des ouvertures possibles vers une certaine diversité de problèmes. On peut faire référence, par exemple, aux questions en relation avec des pratiques sociales dans le cadre de l'éducation à la santé (régimes alimentaires, carences ou excès alimentaires) ou de l'éducation à l'environnement (questions relatives au recyclage de la matière et à la gestion des déchets) de plus en plus présents dans les curriculums scientifiques sans que leur articulation avec les problèmes biologiques soit explicitée par les instructions officielles. Ainsi, on pourrait envisager l'articulation entre ces problèmes par l'intermédiaire du concept de contexte problématique défini à la section 1.3. Cela permettrait de proposer des « registres de formulation conceptuels » ayant une opérationnalité autre que les « niveaux de formulation » d'un concept présentés dans des travaux classiques de didactique de la biologie.

• **Conclusion**

Ces trois types d'enchaînements problématiques, qu'il conviendra de mettre à l'épreuve sur d'autres champs des SVT et dans le cadre d'études empiriques, pourraient permettre de requestionner les concepts de trames conceptuelles et de niveaux de formulation des savoirs (Astolfi et al., 1997). D'un point de vue didactique, ces avancées ouvrent de nouvelles perspectives de recherche pour penser la problématisation dans une dimension curriculaire.

3.3. Problématisation et perspectives curriculaires

À partir de l'exemple de la nécessité de transformation dans deux problèmes différents, nous avons montré que plusieurs niveaux de formulation d'un même problème peuvent être traités à des niveaux d'enseignement successifs. Ce qui est intéressant ici, c'est que les niveaux d'élaboration élémentaires des problèmes pourraient être déterminants pour les niveaux suivants, même s'ils n'aboutissent

pas immédiatement à des solutions acceptables. En effet, les premiers niveaux contiendraient la signification biologique du problème. Cela pourrait expliquer pourquoi des niveaux de formulation de problème très élaborés, mais non mis en relation avec une élaboration élémentaire, conduiraient à une fragmentation des savoirs.

Cette idée, importante en termes curriculaire, nous conduit à formuler la notion de « problème en réserve ». Ainsi, lors de la construction d'un problème à un niveau d'élaboration donné, certains nouveaux problèmes peuvent apparaître et mériteraient sans doute d'être identifiés comme tels, comme des « creux de savoir » qui devront être traités ailleurs ou ultérieurement. Ainsi, le processus de problématisation devrait non seulement permettre de construire certains problèmes, mais également de formuler des « problèmes en réserve » qui ont un rôle important d'un point de vue épistémologique²⁰. Cette idée rejoint certaines propositions d'Astolfi pour redonner leur saveur aux savoirs : « *pourquoi certaines questions disciplinaires ne resteraient-elles pas ouvertes le temps qu'il faut ? C'est peut-être cette volonté de répondre trop vite "quelque chose" qui ferme le débat de façon non satisfaisante et démobilise bon nombre d'élèves* » (2008, p. 157). En effet, ces « problèmes en réserve » sont peut-être tout aussi importants que ceux qui ont pu être traités (au moins partiellement) à un certain niveau de la scolarité car ils correspondent à des « creux de savoirs » porteurs de sens à venir. Les « problèmes en réserve » ouvrent aussi des possibles didactiques pour échapper à la reprise curriculaire souvent peu différentielle, lorsqu'une même notion est abordée à plusieurs niveaux d'enseignement.

Les « problèmes en réserve » pourraient également contribuer à la constitution de la dimension systémique des savoirs scientifiques²¹ (Vygotski distingue les savoirs quotidiens des savoirs scientifiques en partie sur le caractère organisé en système de ces derniers, 1937/1998, p. 318).

Il nous semble également que l'introduction du concept de matrice épistémique pourrait permettre de penser l'ensemble des ressources potentiellement mobilisables par les élèves et leurs fonctions par rapport au processus de problématisation. L'analyse que nous proposons nous permet d'esquisser un emboîtement du plus large au plus étroit entre différents éléments :

– la matrice épistémique correspondrait à l'ensemble des ressources épistémiques mobilisables (pour un individu, une classe ou un niveau scolaire). Il importe de noter que ces ressources ne sont pas nécessairement coordonnées entre elles et peuvent être constituées de bouts disjoints, pouvant potentiellement être mis ensemble à l'occasion d'une problématisation ;

²⁰ Les boîtes noires des historiens des sciences.

²¹ Vygotski distingue les savoirs quotidiens des savoirs scientifiques en partie sur le caractère organisé en système de ces derniers (1937/1998, p. 318).

– des parties intermédiaires dans ces matrices correspondraient à des « cadres épistémiques » : ensembles de ressources coordonnées, solidaires, mobilisables *a priori* ensemble ;

– le plus étroit mais aussi le plus cohérent serait le registre explicatif, qui correspondrait à une sous-unité dans un cadre épistémique donné, qui pourrait caractériser ce qui est effectivement mobilisé à propos d'un problème spécifié, dans un contexte donné.

L'enrichissement de la matrice épistémique à différents niveaux d'enseignement et ce qu'elle comporte d'obstacles et de concepts (des conditions de possibilité de formulation et construction du problème) est également une piste de travail pour analyser le concept de problématisation d'un point de vue curriculaire. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ASTER (1985). Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. Paris : INRP.
- ASTER, n° 24 (1997). « Obstacle : travail didactique », coordonné par Brigitte Peterfalvi.
- ASTER, n° 25 (1997). « Enseignants et élèves face aux obstacles », coordonné par Brigitte Peterfalvi.
- ASTOLFI J.-P. (2008). *La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre*. Paris : ESF Éditeur.
- ASTOLFI J.-P. & PETERFALVI B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, n° 16, p.103-149.
- ASTOLFI J.-P., DAROT E., GINSBURGER-VOGEL Y. & TOUSSAINT J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Paris : Bruxelles : De Boeck.
- BACHELARD G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- BEORCHIA F. (2004). Débats scientifiques à l'école élémentaire, au collège et chez les PE sur le thème de la communication nerveuse : indicateurs de problèmes perçus et construits ? *Actes du colloque international « Faut-il parler pour apprendre ? »* (actes sur cédérom). Arras, mars 2004.
- BEORCHIA F. & LHOSTE Y. (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherche en éducation*, n° 3, p. 29-50.
- BRABET A. (2008). *Évolution de l'enseignement de la digestion de 1992 à 2007 à travers les manuels scolaires*. Mémoire de Master 2 non publié, UMR STEF ENS Cachan, INRP, UniverSud, Cachan.
- BURGER O. (1995). *Descriptif des séquences menées dans le cadre de ROOSA*. Groupe Paris Biologie. Document interne.
- CANGUILHEM G. (1969). Physiologie animale. In R. Taton (éd.). *Histoire générale des sciences, tome 2, La science moderne*. Paris : PUF, p. 619-647.
- CLÉMENT P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, n° 13, p. 133-155.

- DARDEN L. (2002). Strategies for Discovering Mechanisms: Schema Instantiation, Modular Subassembly, Forward/Backward Chaining. *Philosophy of Science*, n° 69, p. S354-S365.
- DESRUES S. & LHOSTE Y. (2008). Problématisation et argumentation en SVT : un débat scientifique sur la fécondation en 4^e. In Y. Lhoste (dir.). *Problématisation et apprentissage en SVT*. Caen : IUFM : Académie de Caen. Disponible sur Internet : <http://www.caen.iufm.fr/article.php3?id_article=92&var_recherche+=GFA> (consulté le 28 octobre 2009).
- DEWEY J. (1967/1993). *Logique, La théorie de l'enquête*. Paris : PUF.
- DOUADY R. (1984). *Jeux de cadre et dialectique outil-objet dans l'enseignement des mathématiques. Une réalisation dans tout le cursus primaire*. Thèse de doctorat d'état non publiée, université Paris-Diderot-Paris 7. Paris.
- DUCROS B. (1996). *Le concept de circulation sanguine. Productions d'outils didactiques*. Thèse de doctorat non publiée, université Paris-Diderot-Paris 7, Paris.
- ÉHANNO M. & LHOSTE Y. (2008). Débat scientifique et problématisation en classe de seconde sur le thème de la nutrition des végétaux. Quelle problématisation ? Quels obstacles ?. In Y. Lhoste (dir.). *Problématisation et apprentissage en SVT*. Caen : IUFM : académie de Caen. Disponible sur Internet : <http://www.caen.iufm.fr/article.php3?id_article=92&var_recherche+=GFA> (consulté le 28 octobre 2009).
- FABRE M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.
- FABRE M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- FABRE M. (2006). *La philosophie des problèmes de Gilles Deleuze*. Séminaire Problématisation. Document interne, CREN, université de Nantes.
- FABRE M. (2007). Des savoirs scolaires sans problèmes et sans enjeux. La faute à qui ? *Revue française de pédagogie*, n° 161, p. 69-78.
- FABRE M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris : Vrin.
- FABRE M. & ORANGE C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, n° 24, p. 37-57.
- GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*. Lausanne : Delachaux & Niestlé.
- GOIX M. (1996). *Les concepts de croissance et de développement en biologie : obstacles et représentations chez les élèves de collège ; propositions de situations didactiques pouvant faciliter l'apprentissage*. Thèse de doctorat, université Denis-Diderot-Paris 7, Paris.
- GOIX M. (1997). Grandir : oui, mais comment ? *Aster*, n° 24, p. 141-170.
- HOST V. (1973). L'initiation à la méthode scientifique : l'étude de la nature. In L. Legrand. *Pédagogie fonctionnelle pour l'école élémentaire*, t. 2. Paris : Nathan.
- JACOB F. (1995). *L'émergence de la biologie moderne*. Séance publique annuelle des cinq académies. Institut de France, mardi 24 octobre 1995.
- LATOURE B. (1989). *La science en action*. Paris : Éd. La Découverte.
- LECOURT D. (2002). *L'épistémologie historique de Gaston Bachelard*. Paris : Vrin.

- 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. (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 non publiée, université de Nantes, Nantes. Disponible sur Internet : <http://www.cren-nantes.net/spip.php?article85> (consulté le 28 octobre 2009).
- MARTINAND J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. In A. Chabchoub (dir.). *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences*, Actes du cinquième colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, tome I, Tunis, p. 123-135.
- MORANGE M. (2005). *Les secrets du vivant. Contre la pensée unique en biologie*. Paris : Éd. la Découverte.
- ORANGE C. (1994). *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie ; l'exemple de la modélisation compartimentale*. Thèse de doctorat de didactique des disciplines, université de Denis-Diderot-Paris 7, Paris.
- 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. (2003). Un exemple de problématisation en biologie : Claude Bernard et le milieu intérieur. *Actes des troisièmes journées scientifiques de l'ARDIST*, Toulouse, octobre 2003 (communication en plénière), p. 231-237. Disponible sur Internet : <http://www.aix-mrs.iufm.fr/ardist/index.php?quoi=2003> (consulté le 2 avril 2007).
- ORANGE C. (2004). Analyse des savoirs en jeu lors d'interactions verbales : de la connaissance commune aux savoirs scientifiques dans un « débat scientifique » au cycle 3. *Actes du Colloque « Faut-il parler pour apprendre ? »*, Arras, 24, 25 & 26 mars 2004, (actes sur cédérom).
- ORANGE C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, vol. 38, n° 3, p. 69-93.
- ORANGE-RAVACHOL D. & BEORCHIA F. (2007). Principes structurants et savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Actes du Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation*. AREF, Strasbourg, 28-31 août 2007.
- PETERFALVI B. (éd.) (1992). *Recherche ROOSA (Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de la matière)*. Documents n° 1 et n° 2. Paris : INRP (documents internes).
- 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^{es} congrès de l'ACFAS, Chicoutimi, Québec, mai 2005.
- PETERFALVI B. (2006). Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (éd.). *Situations de formation et problématisation*. Bruxelles : De Boeck, p. 91-106.

- PIAGET J. & GARCIA R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- PICHOT A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris : Gallimard.
- SAUVAGEOT-SKIBINE M. (1991). La digestion au collège : transformation physique ou chimique. *Aster*, n° 13, p. 93-110.
- VYGOTSKI L.S. (1937/1998). *Pensée et langage*. Paris : Éd. La dispute.
- ZARCA Y. (2001). *Problématisation du lien nutrition animale – croissance avec des élèves de CM2. Analyse et interprétation des explications fournies par des écoliers sur le rôle des aliments dans la croissance*. Mémoire de DEA non publié, université de Rouen, Rouen.

