

“RÉEL DE TERRAIN”, “RÉEL DE LABORATOIRE” ET CONSTRUCTION DE PROBLÈMES EN SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

**Christian Orange
Françoise Beorchia
Paulette Ducrocq
Denise Orange**

Nous présentons ici une partie des résultats d'une recherche, menée en association avec l'INRP, qui tente de croiser, sur des études de cas, l'approche de la construction de problèmes avec la particularité qu'ont certains domaines des Sciences de la Vie et de la Terre de se référer à la fois à des travaux de terrain et à des travaux de laboratoire. Cela nous conduit à mettre en avant la variété des relations entre registres empiriques et explications, qui ne peut se traduire par une démarche expérimentale stéréotypée, et l'importance des savoirs pratiques dans la lecture des faits. Il s'ensuit un certain nombre d'interrogations sur la place et le rôle des investigations empiriques dans l'enseignement et l'apprentissage de la biologie et de la géologie.

recherches
sur les "problèmes
de modélisation"

Depuis quelques années notre équipe travaille sur les relations entre la construction de problèmes par les élèves et les apprentissages en Sciences de la Vie et de la Terre (SVT). Plus exactement, les problèmes qui nous intéressent sont ceux qui correspondent à des recherches d'explications de phénomènes ou de faits empiriques ; autrement dit, des problèmes de mise en concordance de faits et de modèles explicatifs, que nous appellerons, pour simplifier, "problèmes de modélisation".

Utilisant une distinction entre registre du modèle et registre empirique introduite par J.-L. Martinand (1992, 1994) et que nous avons discutée par ailleurs (Orange C., 1994, 1997), nous pouvons décrire la construction de problèmes comme l'identification et la mise en tension de ces deux registres (1). La confrontation au réel, directe ou non, y joue donc un rôle essentiel. C'est ce que nous avons voulu étudier dans la recherche, menée en association avec l'INRP (2),

- (1) Nous avons distingué d'autres registres, en particulier celui que nous avons appelé registre explicatif (Orange C., 1997) ; pour cette étude on peut les réunir au registre des modèles.
- (2) Notre recherche a été menée dans le cadre de la recherche nationale "La pratique expérimentale dans la classe", dirigée par Claudine Larcher. Elle a associé l'INRP, l'IUFM de l'académie de Caen et l'IUFM des Pays de la Loire.

dont nous allons présenter ici quelques résultats, après en avoir précisé le cadre général.

1. REGISTRE EMPIRIQUE ET CONSTRUCTION DE PROBLÈMES EN SVT

1.1. La notion de construction de problème

construire les problèmes est plus important que les résoudre

Nous appuyant sur les analyses de Bachelard (1938), mais aussi de Deleuze (1968) et Meyer (1986), nous partons de l'idée que l'entrée dans les savoirs scientifiques a plus à voir avec la construction des problèmes qu'avec leur résolution, qui n'est qu'un épisode terminal et, d'une certaine façon, accessoire (Fabre M., 1993). Cette construction de problèmes par les élèves, qui se développe et s'exprime en particulier dans les débats scientifiques en classe, est un processus complexe. Elle correspond au passage d'un problème qui se pose à des modèles explicatifs hypothétiques, complètement explicités et raisonnés.

Dans l'état actuel de notre compréhension de ce processus, nous pouvons le décrire comme une identification progressive par les élèves de contraintes empiriques (c'est-à-dire ce dont il va falloir rendre compte) et la construction conjointe de nécessités explicatives (conditions pour que le modèle soit théoriquement acceptable) par l'exploration critique des possibles (Fabre M. & Orange C., 1997 ; Orange C., 1998). Les contraintes empiriques ont donc une importance particulière dans la construction des problèmes en sciences de la nature, même si elles n'interviennent jamais seules.

articuler des éléments du registre empirique dans un projet explicatif

Prenons l'exemple de la formation de l'arène granitique ; construire le problème demande d'identifier et d'articuler un certain nombre d'éléments du registre empirique dans un projet explicatif : le fait que certains minéraux du granite se retrouvent dans l'arène ; le fait que celle-ci contient des minéraux nouveaux (argiles) ; la perte de la cohérence de la roche ; le développement plus important du phénomène le long des diaclases... Combinées avec des repères théoriques (notion de champ de stabilité des associations minérales...) et mobilisées par des pistes explicatives possibles, ces contraintes empiriques conduisent à des nécessités auxquelles doit se soumettre tout modèle de la formation de l'arène granitique : insuffisance des explications mécaniques, intervention de l'eau, déstabilisation privilégiée de certains minéraux... Développer tout cela, c'est-à-dire construire le problème, c'est à la fois moins et plus que le résoudre. Moins parce que plusieurs modèles peuvent respecter les contraintes et les nécessités identifiées : on n'aboutit donc pas directement à une solution. Plus parce

que, une fois une solution adoptée, on risque d'oublier une bonne partie de ces raisons qui lui donnent tout son sens.

1.2. Les thèses développées dans cette recherche

Penser les relations entre registre empirique et construction de problèmes scientifiques de cette façon nous a conduits, au cours de cette recherche, à dépasser un schéma figé de l'activité scientifique que l'on rencontre parfois et qui remplace, avec plus ou moins de précautions (Develay, 1989 ; Antheaume *et al.*, 1995), le vieil OHERIC (Astolfi *et al.*, 1978) par un PHERIC : le problème (P) y est présenté comme point de départ de l'investigation scientifique (3). Une telle simplification est discutable pour plusieurs raisons que nous présentons dès maintenant de façon à clarifier quelques unes des thèses qui seront discutées à partir des études de cas qui suivent.

- Le problème ne vient pas de rien ; et si les idées ont de l'importance, les problèmes ne peuvent exister qu'à partir d'une certaine maîtrise du champ empirique par les élèves. Cette maîtrise nécessaire n'est pas uniquement d'ordre conceptuel, elle est aussi pratique. Dire cela ne revient pas à redonner la prépondérance aux "faits réels" sur les conceptions. En effet le registre empirique est construit et non donné : dans l'exemple de l'arène granitique, la distinction ou la non-distinction, théorique, entre réaction chimique et action mécanique organise les contraintes empiriques retenues comme pertinentes.

- La construction du problème ne peut se cantonner au début du travail scientifique : elle en est une part essentielle et se développe dans le temps, en interaction permanente avec les études empiriques. Dans la partie de l'activité scientifique que François Jacob nomme la "*science de nuit*", "*les hypothèses restent sous forme de pressentiments vagues, de sensations brumeuses*" (Jacob, 1987, p. 330) et il y a souvent nécessité d'investigations empiriques exploratoires, pour voir. On est dans cet espace qui sépare le P et le H de PHERIC et qui est, du fait qu'il ne répond pas à une logique simple, souvent négligé dans l'enseignement. Il faut donc penser co-développement des contraintes empiriques et des problèmes. Dans ce cadre, le recours à l'expérience, par exemple, ne se définit pas comme un moment d'une démarche ou d'une méthode : ce sont ses fonctions dans la construction du problème qui lui donnent sens.

- Ainsi, l'expérience n'a pas uniquement pour fonction de sélectionner négativement les hypothèses et les modèles, comme le voudrait une vision purement réfutationniste : elle informe et nourrit les idées lors de la construction des

la maîtrise
du champ
empirique
demande des
connaissances
pratiques

l'expérience
ne sert pas
uniquement
à réfuter les
hypothèses

(3) Il s'agit là d'une simplification des thèses de K. Popper.

problèmes. Cela a été signalé depuis longtemps par Duhem (1914) et rappelé par Gohau (1984). Elle vient enrichir les contraintes empiriques, ce qui peut avoir comme conséquence de rendre non viables certains modèles (réfutation) ; mais aussi de développer de nouvelles nécessités ou de nouveaux possibles pour les modèles. Nous avons déjà exploré, par ailleurs, la traduction didactique de ce large rôle de l'expérience (Orange C., 1997, p. 162-173 ; Orange D., 1996).

les S.V.T. sont
des sciences
expérimentales
et de terrain

• Enfin, et c'est là une particularité des SVT par rapport aux autres sciences de la nature, le "réel" ne se limite pas aux expériences de laboratoire : il faut y ajouter le travail de terrain. Or des études épistémologiques récentes ont mis en avant les fonctionnements différents des sciences de laboratoire et des sciences de terrain (Gould, 1991 ; Stengers, 1993 ; voir aussi Orange C. et D., 1995). Il n'est donc pas possible, dans un bon nombre de domaines de la biologie et de la géologie, de voir le rapport à l'empirique uniquement au travers d'expériences ; il faut prendre en compte à la fois le "réel de terrain" et le "réel de laboratoire" (4).

Ce dernier point a été un des fils conducteurs de la recherche dont nous présentons ici les principaux résultats. Nous avons essayé de comprendre comment le "réel de terrain" et le "réel de laboratoire" pouvaient s'articuler dans le travail d'un chercheur et dans celui d'un élève construisant un modèle explicatif.

2. LABORATOIRE ET TERRAIN DANS L'ACTIVITÉ D'UN CHERCHEUR

le géologue,
le terrain et
le laboratoire

Afin de tenter de comprendre comment un chercheur utilise la double référence (terrain et laboratoire) que nous venons de pointer pour construire les problèmes et les modèles, nous nous sommes longuement entretenus avec Christian Chopin, directeur de recherche au CNRS et chercheur en pétrologie et minéralogie. Nous avons particulièrement insisté, dans nos demandes d'explicitation, sur les relations entre les deux "réels" qu'il utilise dans ses recherches. Au cours de cette discussion de plusieurs heures, des notes ont été prises qui ont donné lieu à une synthèse et un enregistrement audio a été effectué et retranscrit (5). C'est à partir de ces données, et des

(4) En distinguant "réel de terrain" et "réel de laboratoire", nous voulons dire qu'il y a deux formes de relations au réel que le biologiste et le géologue combinent. Il ne s'agit ni de chosifier le réel, ni donc de le couper en deux, mais simplement de mettre en avant que ces scientifiques ont deux traditions empiriques à concilier. D'autre part, quand nous parlons de laboratoire, par souci de simplification, nous voulons dire "laboratoire de géologie ou biologie expérimentale".

(5) Retranscription de trente pages. Les documents primaires de cette recherche sont disponibles dans le rapport de recherche de l'équipe (Orange C., dir., 1998)

articles publiés par le chercheur que nous avons travaillé, en tentant de clarifier les relations entre le registre des modèles et les deux registres empiriques convoqués. Dans le texte qui suit, les citations sont extraites de la retranscription.

2.1. Les problèmes de modélisation étudiés

Les recherches de Christian Chopin portent sur le métamorphisme très haute pression des massifs cristallins internes des Alpes. On peut dire, globalement, qu'il s'agit d'étudier l'histoire des roches de ces massifs et d'en retirer des indications sur l'histoire des Alpes d'une part et sur le fonctionnement d'un certain type de métamorphisme d'autre part.

Les données de terrain (roches avec leur localisation, lames minces dont on peut analyser la composition, la texture ; que l'on peut dater...) et les données de laboratoire expérimental (expériences de synthèse et de stabilité des minéraux en fonction des conditions pression-température ; datation absolue...) sont mises en relation avec des références théoriques qui appartiennent aussi bien à la chimie des milieux solides qu'à la géologie historique et même à la tectonique globale. Ces recherches visent l'élaboration de trois niveaux de constructions théoriques qui ont le statut de modèles et qui sont en quelque sorte emboîtés, donc souvent travaillés ensemble :

élaboration
de trois niveaux
de constructions
théoriques

- des modèles chimiques qui tentent de rendre compte de l'équilibre et des réactions entre les différentes phases présentes dans une roche ;
- des modèles historiques, articulés sur les premiers et qui décrivent l'histoire métamorphique des roches ;
- des modèles historiques qui racontent l'histoire métamorphique et tectonique de la région étudiée, en relation ou non avec la tectonique globale.

2.2. La mise en relation des registres

Pour construire les problèmes qu'il étudie et proposer des modèles explicatifs, Christian Chopin articule les deux registres empiriques (terrain et laboratoire) et le registre des modèles. Mais cela se fait selon un mode public et un mode privé.

la construction
du problème

- Le mode public de mise en relation des différents registres correspond à ce qui, au bout du compte, est apparent dans les travaux du chercheur (publications).

mode public...

Par exemple, si *"dans une roche qui a souvent conservé ces associations de minéraux de très haute température, il y a un minéral inconnu jusqu'à présent alors qu'il a une... composition chimique assez simple... L'hypothèse c'est que ce soient les conditions de pression et de température inhabituelles qui l'aient stabilisé... d'où l'idée de manips, synthétiser ce minéral... et puis déterminer son champ de stabilité"*.

La mise en relation de données de terrain avec des informations déjà disponibles et des indications chimiques conduit à un problème et à une idée explicative qui oriente le travail de laboratoire.

Dans d'autres cas, la lecture du terrain se fait à l'aide de données expérimentales déjà disponibles (domaines de stabilité d'un minéral, par exemple) ; le modèle construit alors ne nécessite pas de mise à l'épreuve expérimentale. Dans d'autres cas encore le laboratoire est utilisé pour préciser les contraintes dont l'importance pour le modèle est reconnue : limite d'un domaine de stabilité, datation absolue, composition des minéraux (6).

Il apparaît donc une grande variété de démarches dans ce mode public de mise en relation de différents registres. Mais cela débouche à chaque fois sur la construction explicite du problème et de modèles possibles.

... et mode privé

• Le mode privé des relations entre les registres se dévoile quand le chercheur précise l'intérêt d'être à la fois chercheur de terrain et chercheur de laboratoire. Il y a d'abord les cas où l'habitude du travail expérimental guide inconsciemment, ou presque, la lecture du terrain. Au sujet de la découverte de la coésite (forme de très haute pression de la silice) dans les roches du massif de Dora Maira, Christian Chopin note : *"Je pense... que d'être passé dans un labo d'expérimentation avant de regarder ces roches au microscope, ça m'a sûrement aidé à imaginer ce que je voyais au microscope dans les lames minces de ces échantillons..."*. La pratique du laboratoire l'aide à se représenter les réactions entre les phases.

la pratique
du laboratoire
aide la lecture
du terrain...

L'influence peut fonctionner en sens inverse : l'habitude du terrain permet alors un regard critique sur les résultats expérimentaux. Lors de l'étude expérimentale du domaine de stabilité d'un minéral, par exemple, *"le fait d'avoir étudié des roches avant va sûrement donner une approche très critique"*. Le système expérimental est plus confortable : *"c'est sûr que là, on s'affranchit beaucoup de problèmes de temps, d'évolutions, de changements de température, de réactions incomplètes"*. Mais il produit des artefacts. La connaissance du terrain apporte une dimension critique essentielle.

... et
réciproquement

Ce type de rapports, souvent inconscient, entre travail de terrain et travail de laboratoire, constitue une part importante de l'expertise du géologue. Il intervient dans la construction des problèmes par un fourmillement d'idées, essentiel, mais qui disparaît à la publication. C'est *"la science de nuit"* dont parle F. Jacob et dont aucune descrip-

(6) Remarque : la détermination de la composition d'un minéral à la microsonde ne semble pas vraiment considérée, par le chercheur, comme une investigation expérimentale.

tion stéréotypée de l'activité scientifique ne peut rendre compte. Cela montre aussi que, dans la mise en tension des différents registres, interviennent, à côté des savoirs conceptuels, des connaissances beaucoup moins facilement explicables. C'est ce que nous allons préciser maintenant.

2.3. Les connaissances en jeu dans les investigations expérimentales

Les expériences conduites par Christian Chopin au laboratoire sont des expériences portant sur les domaines de stabilité des minéraux du métamorphisme. Il utilise pour cela des "fours" (autoclaves) de différents types qui permettent de contrôler, dans une certaine mesure, les conditions de pression et de température. Nous allons tenter de préciser ce qu'est ce travail expérimental, les problèmes qu'on y rencontre et les connaissances qu'il mobilise.

La discussion relève deux types de difficultés dans ce travail expérimental.

- Il y a d'abord les difficultés techniques d'utilisation des fours. Ce type de problèmes justifie la présence de techniciens et même, dans certains laboratoires, d'ingénieurs. Leur maîtrise demande un gros investissement en temps, et un apprentissage technique et pratique important. On est là dans ce que certains sociologues des sciences (voir, par exemple Clarke et Fujimura, 1996) ont appelé le travail artisanal de la science. *"Il y a un côté les mains dans le cambouis ; passer du temps pour que la machine marche, pour pouvoir commencer à faire une expérience"*, dit Christian Chopin.

- L'autre type de difficultés expérimentales relève de la connaissance et de la maîtrise des systèmes expérimentaux étudiés. Il y a tout un ensemble de méthodes et même de trucs pour contrôler le dépassement des phénomènes de métastabilité. Ce genre de "manips" demande également la connaissance pratique des phénomènes de croissance cristalline.

Au total, c'est toute une expérience à acquérir, ce qui se traduit par le fait qu'au début, on fait de nombreuses expériences inutiles. Derrière les problèmes explicatifs que travaille le chercheur, apparaissent un grand nombre de problèmes pratiques.

2.4. Les connaissances en jeu dans les investigations de terrain

Le travail de terrain, au sens large, c'est bien sûr la récolte des échantillons (travail sur le terrain), mais aussi leur étude au laboratoire, en particulier grâce aux lames minces. La question du choix des échantillons apparaît souvent dans la discussion. Christian Chopin note qu'il est impressionné

l'importance des connaissances pratiques dans les investigations expérimentales

par la diminution de la quantité de cailloux qu'il rapporte à chaque campagne depuis le début de sa carrière. Entre la première année de thèse (il y a 20 ans) et la deuxième, on passe de 500 à 250 ; maintenant *"quand je ramasse 30 échantillons, j'ai de quoi m'occuper en général pour l'année et même plus"*. C'est en fait le nombre d'échantillons inintéressants qui diminue fortement au cours des ans.

le flair...

Une autre illustration de l'importance du choix des échantillons est donnée au sujet d'un travail en commun, sur le terrain, avec des tectoniciens : *"c'était drôle parce que... le long d'une même route, on ne s'arrêtait jamais devant les mêmes choses"*. Le choix est fortement lié à l'objet d'étude des chercheurs et à leur expertise. Intervient ce que Christian Chopin appelle le flair : on peut expliquer ce que l'on veut trouver, mais on ne peut pas expliquer complètement comment on le trouve. Il y a beaucoup de minéraux qu'on ne voit pas à l'œil nu. *"Alors le flair c'est quand même une bonne partie d'expérience ; c'est d'avoir vu des cailloux... de les avoir vus ensuite en lame mince ; savoir que tel minéral s'y trouve ou peut s'y trouver."*

... et l'art
du géologue
de terrain

Pour ce qui est du travail sur les lames minces, il ne se limite pas aux simples reconnaissances de minéraux. Il faut faire une analyse texturale pour essayer de comprendre les rapports qui existent entre les minéraux (les phases) en présence. Et cette interprétation de la texture, *"c'est vraiment un art"*. L'expertise texturale *"peut s'acquérir seulement sur le tas, à partir d'observations sur le terrain... et (au microscope)"*.

Autre point remarquable de cette étude des lames minces, c'est que le chercheur y voit du mouvement, une cinématique chimique, quand tout est évidemment figé. Il raconte certaines de ses observations de la coésite : *"on la voit... se transformer en quartz"*. Il traduit donc des observations dans l'espace de la lame mince en histoire. À d'autres moments, c'est le regroupement de données de plusieurs lames qui permet ce passage de l'espace au temps : *"en étudiant plusieurs roches du même coin en lames minces je voyais presque la réaction progresser..."*.

Si c'est le projet explicatif qui guide le chercheur, celui-ci mobilise dans les investigations de terrain une expertise, une aptitude à voir et à se représenter les phénomènes qui correspondent en grande partie à des connaissances peu explicables et donc peu enseignables.

2.5. Conclusion

L'analyse de la discussion avec Christian Chopin montre bien l'importance du terrain et du laboratoire dans les recherches géologiques de ce type (pétrologie du métamorphisme). Elle confirme la diversité des relations qui se jouent, dans un projet scientifique, entre les données empi-

PHERIC
ne répond plus

riques et les modèles. Il n'y a pas une méthode scientifique unique se traduisant par une succession figée d'étapes, où l'investigation empirique, par exemple, ne servirait qu'à mettre à l'épreuve des hypothèses clairement formulées, mais une mise en relation de méthodes diverses pour aboutir à la construction et à la résolution des problèmes scientifiques. La double référence empirique, terrain/laboratoire, ne fait qu'accentuer cela. Beaucoup de choses se jouent en fait entre le P (problème) et le H (hypothèse) d'une simpliste démarche PHERIC, où interviennent "l'art", l'imagination, les essais divers.

terrain et
laboratoire
n'interviennent
pas
symétriquement

Si "réel de terrain" et "réel de laboratoire" participent au développement des problèmes scientifiques, ils n'interviennent pas totalement symétriquement. D'une part, parce que les relations entre expériences et terrain sont dominées par des rapports au temps différents (Gould, 1991 ; Stengers, 1993) : l'expérience est le domaine où temps et histoire sont mis de côté pour aller vers des données thermodynamiques générales, applicables à différents systèmes ; le terrain traîne avec lui toute son histoire. D'autre part, c'est le terrain qui représente l'objet d'étude principal ; l'expérience met en jeu un matériel annexe que les modèles et le cadre théorique permettent de rattacher à cet objet d'étude.

Enfin on voit que les connaissances en jeu dans de telles investigations ne se limitent pas à des savoirs conceptuels mais intègrent ce qu'on peut appeler des connaissances pratiques (Delbos et Jorion, 1990 ; Barbier, 1996 ; Vergnaud, 1995), fruits de l'expérience du chercheur et non totalement communicables ou transmissibles. Maîtriser les expériences de laboratoire et savoir lire le terrain demande un apprentissage de plusieurs années ! Il ne faut pas l'oublier quand on pense à la transposition à la classe de ce type d'investigations.

3. "RÉEL DE TERRAIN" ET "RÉEL DE LABORATOIRE" DANS L'APPRENTISSAGE DE LA GÉOLOGIE AU LYCÉE

Dans leur apprentissage de la géologie, les élèves sont, eux aussi, confrontés aux deux formes du réel (terrain et laboratoire) que nous avons distinguées. Comment les appréhendent-ils et les utilisent-ils dans la construction des problèmes ? Quelles difficultés rencontrent-ils ? Nous avons suivi une classe (7) de Première S pendant une partie de son travail en géologie, celle qui s'intéresse à des problèmes pétrologiques.

(7) Classe de D. Orange, lycée Le Brun de Coutances, année 96-97.

une classe de
1^{er} S confrontée
à des problèmes
pétrologiques

Les données recueillies sont de deux types :

- d'une part, les productions des élèves au cours des activités de classe portant sur des problèmes de pétrologie ;
- d'autre part, l'enregistrement de deux groupes d'élèves lors d'une sortie géologique effectuée en fin d'année, après le cours.

3.1. Les élèves face à des problèmes de transformations pétrologiques

Il s'agit de deux situations travaillées au cours de séances de travaux pratiques.

• La transformation du granite en arène

Ce travail intervient après l'étude de l'origine magmatique et de la formation en profondeur du granite. Le site de Flamanville est présenté aux élèves à partir d'une diapositive du massif vu depuis le Sud et d'une autre présentant un affleurement avec altération en boules. Puis l'enseignante demande aux élèves, répartis en binômes (14 groupes), de "*rechercher les transformations subies par le granite pour passer de l'état de granite à l'état d'arène*". Chaque binôme dispose pour cela d'un échantillon de granite et d'un peu d'arène granitique. Remarquons que la consigne contient déjà des éléments du modèle, à savoir la parenté granite/arène.

les élèves ont des
difficultés à "lire"
les échantillons
de roches

Quelles contraintes empiriques les élèves identifient-ils et quelles idées explicatives mobilisent-ils ? Si nous nous intéressons d'abord à ce que chaque groupe a cherché à expliquer dans sa production écrite, seuls deux groupes ont fait référence à la présence dans l'arène de constituants nouveaux ("éléments non cristallisés" pour l'un, "dépôts" qui donnent une couleur "marronâtre" pour l'autre) ; cinq autres ne remarquent que la perte d'intégrité de la roche (fragmentation, érosion, usure) ; sept relèvent la modification des propriétés des minéraux (pourrissement, fragilisation, ou changement de couleur). La lecture des contraintes empiriques est donc très orientée par l'idée de dégradation ; on peut y voir l'influence des conceptions des élèves, l'arène représentant les restes d'un granite qui a "pourri".

leurs explications
sont surtout
physiques

Pour ce qui est maintenant des explications données, elles sont essentiellement physiques (12 sur 14) : "*Le granite qui se trouve à la surface est victime de l'érosion ; érosion par la pluie, le vent et même parfois la mer. Ainsi la roche se désagrège en plusieurs particules.*" Dans les deux cas où des constituants nouveaux sont signalés, l'explication donnée est celle d'un apport extérieur (par le vent). Seules deux explications ont recours à des phénomènes chimiques : "*De plus l'arène a une couleur plus orangée que le granite, ce qui nous fait penser qu'elle a été oxydée.*"

Si l'on croise la variable "contraintes empiriques identifiées" et la variable "type d'explication proposée", on obtient le tableau suivant :

		Ce que l'on cherche à expliquer (contraintes empiriques identifiées)			
		Uniquement la perte d'intégrité globale de la roche	Perte d'intégrité de la roche et présence de nouveaux constituants	La modification des propriétés des minéraux de la roche	
Types d'explications	Explications uniquement physiques	5	2	5	12
	Explications physiques et chimiques	0	0	2	2
		5	2	7	14

des explications
très proches
de la pensée
commune

On voit donc que les explications des élèves sont très proches de la pensée commune : la dégradation intuitivement constatée est le plus souvent simplement expliquée par une cause externe simple. Leur lecture du "réel de terrain", représenté ici par les échantillons, est insuffisamment armée pour leur permettre de construire un problème scientifique, ce qui demanderait de dépasser les évidences et de créer une véritable tension entre les idées de départ et les informations recueillies.

• La transformation du schiste en micaschiste

Dans le prolongement du travail sur l'altération en surface du granite, nous avons proposé aux mêmes élèves de Première S une réflexion sur la transformation du schiste en micaschiste. L'entrée dans cette situation s'est faite très brièvement : le professeur dit aux élèves qu'on peut dans une même région trouver du schiste et du micaschiste et que ces deux roches ont à peu près la même composition chimique globale. L'hypothèse d'une parenté est alors donnée comme plausible. Une étude comparée d'échantillons, à l'œil nu et au microscope, permet d'établir précisément les structures et compositions minéralogiques respectives. Les élèves, dotés ainsi de données empiriques et d'éléments du modèle (c'est le schiste qui se transforme en micaschiste) sont conduits à proposer des réponses aux questions suivantes :

- "Quelles transformations a subi le schiste ?
- Quels paramètres, quels processus permettent d'expliquer l'apparition de nouveaux minéraux et la foliation ?

Les 11 binômes disposent d'échantillons de schiste et de micaschiste, auxquels s'ajoutent deux documents-outils : le premier présente la succession des réactions chimiques d'un mélange d'argile et de quartz soumis expérimentalement à des augmentations de température et de pression. Le deuxième est le diagramme Pression/Température de stabilité de quelques minéraux.

En ce qui concerne les transformations pétrologiques constatées, 4 productions sur 11 en restent à la seule transformation globale d'une roche en une autre et n'arrivent pas à dépasser les banalités et les informations données avant l'activité : *"Le micaschiste est probablement une roche métamorphique, c'est-à-dire qu'elle a changé d'état dans certaines conditions de pression et température"*.

les diagrammes abstraits sont plus faciles à lire que les roches concrètes

Les sept autres parviennent à entrer dans un problème pétrologique, en mentionnant des transformations minéralogiques, mais seuls trois le font en référence aux échantillons ; les autres s'appuient uniquement sur les documents expérimentaux (diagrammes). On peut en particulier noter qu'aucune production ne tente d'expliquer, ni même ne constate, la foliation du micaschiste !

Il y a donc, globalement, une meilleure entrée dans le problème que dans le cas précédent (l'origine de l'arène granitique). Il est vrai qu'il n'y a pas ici l'équivalent de l'obstacle que représentait l'idée de dégradation. De plus les élèves ont l'attention attirée, en début d'activité, sur les minéraux. Enfin, ils disposent de documents (diagrammes...) qui les incitent à penser à des transformations minéralogiques. Mais, au total, la prise d'informations sur le terrain (ici représenté par les échantillons) est toujours aussi faible. Les élèves semblent plus à l'aise avec le "réel de laboratoire", donné sous forme d'inscriptions (Latour et Woolgar, 1988) qu'avec le "réel de terrain" représenté par les roches : ce sont les données expérimentales qui sont les plus efficaces dans la construction du problème.

3.2. Le travail des élèves au cours d'une sortie géologique

La même classe de Première S a effectué une sortie géologique le long de la bordure côtière du massif granitique de Flamanville. Elle s'est déroulée en fin d'année, donc après que le métamorphisme et l'altération granitique aient été travaillés en classe. Au cours de cette sortie nous avons recueilli des informations pour tenter de comprendre les difficultés que les élèves rencontrent, et d'identifier les connaissances nécessaires afin que le terrain leur permette véritablement de construire des problèmes géologiques.

le travail de terrain des élèves

Pour ce travail de terrain, qui a duré environ 90 minutes, les élèves avaient à suivre une fiche de travail précisant 5 sites, avec, à chaque fois, plusieurs questions. Deux groupes (un groupe de deux et un groupe de trois) ont été suivis, chacun par un accompagnateur que les élèves ne connaissaient pas (8). Les enregistrements effectués par les accompagnateurs ont été retranscrits et complétés de remarques issues de leurs notes (9).

• Méthode d'étude et caractérisation du travail des élèves sur le terrain

variété des tâches lors de la sortie géologique

Les retranscriptions permettent de proposer un découpage du travail du groupe sur le terrain en situations (10) qui ont servi d'unités pour l'ensemble de l'étude. Les situations correspondent à des tâches que nous avons classées (voir le tableau, page suivante). Le critère principal retenu pour cette mise en catégories correspond aux registres directement concernés par la tâche, du point de vue de l'expert. Ainsi, un certain nombre de tâches ne se rapportent qu'à des objets du registre empirique (RE) : il s'agit de tâches de reconnaissance, de description, de comparaison. Dire cela ne signifie pas que la réalisation de ces tâches est indépendante des conceptions ou des modèles, mais que celles-ci correspondent simplement à des problèmes d'établissement de faits (Kuhn, 1983), c'est-à-dire des problèmes qui ne sont pas explicitement des problèmes de construction de modèles explicatifs.

L'autre grand groupe de tâches fait intervenir l'explication, c'est-à-dire met en jeu un ou des modèles (registre des modèles : RM), généralement en relation avec le registre empirique. Cela correspond à des problèmes de mise en concordance de faits avec des modèles explicatifs (Kuhn, 1983), ce que nous avons appelé des problèmes de modélisation.

(8) Les résultats présentés ici ne portent que sur le groupe de 2 élèves, les enregistrements de l'autre groupe étant beaucoup moins complets pour des raisons techniques.

(9) Les notes servent, par exemple, à identifier ce que montre ou ce que regarde un élève dont les paroles ont été retranscrites. Les retranscriptions sont disponibles dans le rapport déjà cité.

(10) Nous avons considéré qu'une situation correspond aux conditions dans lesquelles se trouve un groupe d'élèves qui s'est donné ou a pris en charge une tâche définie.

**Catégories des tâches auxquelles se confrontent les élèves
au cours de la sortie (et registres en jeu)**

Catégories de tâches	Registres	Nombre de situations concernées
Préparation d'un échantillon	RE	1
Reconnaissance, identification	RE	8
Description/comparaison	RE	4
Repérage ou choix de faits	RE	3
Recherche d'arguments empiriques pour un modèle	RE-RM	2
Explication d'un phénomène ou d'un fait	RE-RM	6

RE : registre empirique ; RM : registre des modèles

difficultés
des élèves
à prendre
en charge
les tâches
de repérage
et de choix

Parmi les tâches portant essentiellement sur le registre empirique, sans mettre en jeu un problème de modélisation, celles de reconnaissance et d'identification, qui sont relativement de bas niveau, sont très nombreuses. En revanche, la catégorie "repérage ou choix", dont on a vu l'importance dans le travail du géologue de terrain (voir l'analyse de la discussion avec Christian Chopin), est peu présente : sur les trois situations répertoriées, deux concernent le choix du panorama général à dessiner, en début de sortie ; donc les moments où les élèves discutent des choix d'affleurements sur le terrain sont pratiquement inexistants. Cette rareté des situations de choix et de repérage est à opposer aux interventions de l'accompagnateur du groupe : sur 27 interventions ayant directement une signification géologique, 10 sont des indications de lieux ou d'objets à observer ou à dessiner. Il y a donc pour l'expert (l'accompagnateur) de vrais problèmes de repérage et de choix lors de cette sortie, mais les élèves ne les prennent pas en charge spontanément.

Pour étudier la capacité des élèves à construire des problèmes géologiques sur le terrain, on peut prendre l'exemple de deux situations caractéristiques correspondant à des tâches de mise en relation du registre empirique et du registre des modèles. Les citations en italiques sont issues de la retranscription (11).

• Première situation

Elle correspond au travail du groupe (deux élèves, François et Marc) sur deux des questions de la fiche : "Comparez

(11) Retranscription publiée dans le rapport de recherche de l'équipe (Orange C., dir., 1998)

l'arène granitique au granite sain." et "Proposez une explication à la formation de l'arène granitique."

L'entrée dans cette situation est provoquée par la tentative de répondre à la question sur la comparaison. Un échantillon d'arène en main, François s'interroge immédiatement sur la formation de l'arène : "*C'est quoi l'explication de l'arène?*" Marc donne une réponse théorique (sans étudier l'arène) ne correspondant qu'à une idée générale d'explication : "*C'est quelque chose qui s'en va dans l'eau.*" Cette idée explicative est à la fois compatible avec des éléments du cours et avec les conceptions de départ de la plupart des élèves (voir paragraphe 3.1.) selon lesquelles on passe du granite à l'arène par simple ablation d'un élément. En fait, cette idée explicative, prise dans son sens le plus commun, va guider totalement l'observation de réel : l'observation de l'arène fournit "*le composant qui s'en va*" ... : "*c'est les feldspaths qui partent*" ; alors même que, pour un expert, il est évident que l'arène est pleine de feldspaths. La complète dominance du modèle sur le registre empirique empêche toute construction de problème ; la mise en tension du registre empirique et du registre de modèles n'est que très superficielle.

dominance
du modèle
sur le registre
empirique

Seule l'affirmation d'un autre élève obligera le groupe à remettre en cause son analyse. Le terrain ne joue pratiquement aucun rôle ; tout au plus évoque-t-il et met-il dans l'ambiance : tout aurait pu se passer au lycée !

• Deuxième situation

Elle correspond à la recherche d'explication des filons de microgranite, sous la sollicitation et la relance de l'accompagnateur du groupe. Les élèves sont conduits à adapter le modèle explicatif de la formation du granite à ce nouveau cas. On est donc dans une situation didactique totalement différente de la précédente où les élèves travaillaient seuls. Là, l'accompagnateur intervient pour diriger la réflexion sur un point précis du terrain et pour relancer les questions. Deux points sont à noter dans cette seconde situation :

- les élèves ont difficilement mis en relation le modèle avec le terrain, sur l'insistance de l'accompagnateur ; il y a un tout début de construction de problème ;
- l'explication finale proposée par les élèves est fautive (le microgranite, disent-ils, s'est formé avant le granite) et très marquée par le modèle de mise en place du granite et du métamorphisme de contact dont ils disposent (Marc : "*le granite s'est formé en dernier*") ; les informations prises sur le terrain n'ont pas permis une construction de problème plus pertinente.

Au total, il n'est pas facile pour les élèves de repérer des contraintes empiriques sur le terrain et donc d'y construire des problèmes de modélisation explicative. Ils "s'en sortent", comme cela se voit dans leurs comptes rendus, relevés juste

après la sortie, mais essentiellement par le recours aux savoirs scolaires, propositionnels (Delbos et Jorion, 1990 ; Astolfi, 1992), qu'aucune donnée de terrain ne vient perturber.

3.3. Conclusion

En classe, dans les activités d'apprentissage étudiées, les élèves semblent plus à l'aise avec les données expérimentales abstraites (graphiques...) qu'avec les informations à prendre sur les roches. Le caractère théoriquement élaboré de ces informations expérimentales ne les met pas devant la matérialité de l'expérience, le côté "*mains dans le cambouis*" dont parle Christian Chopin (voir paragraphe 2.3.). D'autre part, dans la sortie géologique qui a eu lieu plusieurs mois après le cours correspondant, les élèves se débrouillent beaucoup mieux avec les modèles explicatifs du cours qu'avec les informations du terrain.

Tout converge donc pour signaler les difficultés des élèves à comprendre le terrain et à l'utiliser pour construire des problèmes géologiques. La maîtrise du terrain demande des connaissances, en particulier de type "pratique", que les élèves ne peuvent ni acquérir en classe, ni construire rapidement au cours de la sortie ; c'est particulièrement vrai pour tout ce qui conduit à faire des choix et à se fixer sur un fait pertinent. Cela explique leur fuite vers les modèles "clés-en-main" et les données "prémâchées". Cela a pour conséquences qu'ils ne peuvent pas assurer la mise en tension des deux registres. Il est donc nécessaire, dans les confrontations au réel de terrain, de penser des aides (outils et/ou médiation par le professeur) qui guident les élèves vers des cas précis, mais qui leur permettent aussi une vraie implication dans des problèmes d'articulation registre des modèles/registre empirique. Tout comme le débat dans la classe est essentiel pour discuter des modèles possibles et identifier certaines contraintes, le débat sur le terrain doit intervenir lui aussi dans la construction des problèmes, tout en aidant les élèves à lire ce terrain.

aider les élèves
sur le terrain

4. INFLUENCE D'UNE SORTIE BIOLOGIQUE SUR LA PROBLÉMATISATION D'ÉLÈVES DE L'ÉCOLE PRIMAIRE

La sortie géologique de la classe de Première S que nous venons d'étudier se situe à la fin du cours. Elle nous a permis d'analyser les difficultés des élèves, sur le terrain, à repérer des contraintes empiriques et à construire des problèmes à partir des connaissances acquises en cours ; ils étaient, en quelque sorte, devant ce que l'on peut appeler, à la suite de Th. Kuhn, des problèmes normaux (Orange C. et D., 1993).

étude du réseau
alimentaire
du littoral

Dans le cas que nous allons présenter maintenant, la sortie est placée en début de séquence. Il s'agit de voir dans quelle mesure les informations collectées dans une sortie interviennent dans la construction en classe de problèmes scientifiques. La classe concernée est une classe de 21 élèves de CM2 d'une ZEP du département de la Manche (12). L'intention de l'enseignante est de travailler sur les réseaux alimentaires à partir d'une étude du littoral.

4.1. Organisation du projet pédagogique ; données recueillies

Ce projet a comporté cinq séances de 1 h30 qu'on peut rapidement décrire.

– Première séance : préparation de la sortie ; définition du travail ; que s'attend-on à voir ? (production individuelle)
– Deuxième séance : sortie sur l'estran rocheux (marée basse) ; les élèves sont en groupes de 5, accompagnés d'un adulte.

5 séances
de 1h30,
la 2^e étant la sortie
sur l'estran
rocheux

– Troisième séance : énumération en collectif des êtres vivants trouvés ; travail par groupes à partir d'une liste restreinte de 10 êtres vivants retenus (crevette, huître, crabe, moule, anémone, poisson, bigorneau, algue, goéland, patelle) : "Qui est mangé par qui et pourquoi ?"

– Quatrième séance : débat en groupe classe autour des affiches produites par les petits groupes.

– Cinquième séance : mise à l'épreuve des propositions issues du débat et qui ont la forme de règles du type : "c'est le plus rapide qui mange le plus lent" ; cette mise à l'épreuve se fait à l'aide de documents.

Toutes les séances ont été enregistrées et/ou filmées. Les productions, individuelles et de groupes, ont été gardées. C'est essentiellement la retranscription de la troisième séance (travail du groupe 5) que nous utilisons ici. Les enregistrements sur le terrain sont peu utilisables car de faible qualité (vent...).

4.2. Les références à la sortie lors du débat d'un des groupes (3^e séance)

la sortie sert de
support au débat

• Lors du débat, les élèves utilisent la sortie de façon assez importante. Dans les discussions du groupe 5, sur la quarantaine d'interventions d'élèves portant sur le registre empirique, plus de la moitié (24/43) se réfèrent clairement à la sortie. Les autres "interventions empiriques" renvoient au vécu des élèves en dehors de l'école.

• La lecture du terrain de la sortie et la construction des problèmes sont fortement sous la dépendance des conceptions. Ainsi, dans une discussion portant sur les relations alimentaires entre crabes et moules, certains élèves montrent un anthropomorphisme fort :

– *“Les petits qu’on a trouvés, c’est peut-être parce que les parents étaient partis leur chercher à manger ?*

– *Non parce que le père il partirait à la chasse et la mère serait avec les enfants pour pas qu’ils se fassent tuer .”*

Dans d’autres cas, ce sont des règles “évidentes” qui sont utilisées, comme l’idée que les gros mangent les petits (à ce sujet, voir Équipe Aster, 1985) :

“Les gros crabes mangent de la moule mais les petits ils se font emprisonner par la moule.”

“Peut-être que le crabe il mange l’anémone et l’anémone il mange le crabe. Si l’anémone est petit et que le crabe est gros.”

• Cependant les éléments rapportés du terrain sont suffisamment riches pour qu’un débat existe : des tensions apparaissent entre les conceptions (prémodèles) et les informations prélevées lors de la sortie qui permettent de construire des problèmes. C’est ce que nous allons développer maintenant.

4.3. Les fonctions de la référence au terrain dans le débat du groupe

La sortie donne au groupe des références empiriques communes qui interviennent de différentes façons dans le débat.

• D’une part, les faits empiriques repérés permettent le développement de prémodèles différents, ce qui conduit le groupe à explorer plusieurs explications possibles. Ainsi, au sujet des petits crabes trouvés dans les moules, trois thèses sont en présence :

– le petit crabe est mangé par la moule ;

– la moule est mangée par le crabe ;

– la moule est mangée uniquement par les gros crabes, les petits se trouvent emprisonnés par hasard.

Pour ce qui est de l’anémone, à qui on a donné à manger un petit crabe et dont on a repéré les tentacules qui “collent”, les discussions portent sur ce qui peut la manger et à quelles conditions ; et sur “qui mange qui” entre le crabe et l’anémone.

Ces prémodèles différents qui veulent expliquer des faits constatés et s’appuient en partie sur des arguments empiriques, sont des conditions essentielles au débat et donc à la construction de problèmes.

• D’autre part, dans le débat qui voit les différentes thèses se développer et s’opposer, les références au terrain et en particulier à la sortie permettent de dégager des contraintes,

elle suscite des explications...

... et permet de fixer des contraintes empiriques

essentiellement empiriques, qui balisent le problème. Cela intervient de différentes façons.

– La sortie sert d'appui pour préciser un fait : *“Il y a quelque chose que l'on a vu hier, c'est l'anémone qui mange le crabe .”* Ce fait, incontesté dans le groupe, fixe un point incontournable du problème.

– Elle fournit des éléments pour développer et discuter des idées :

“- Il peut manger d'abord le corps et après les tentacules.

- D'abord les tentacules parce que le corps il est derrière les tentacules, donc sinon, il se fait coller.” Il faudra maintenant tenir compte de la morphologie de l'anémone pour penser sa prédation.

– Elle permet de développer des arguments contre des considérations théoriques. Par exemple, au sujet de ce qui mange l'anémone, une élève remarque :

“même quand on l'a retirée elle était encore vivante et je ne sais pas comment faire pour la tuer, surtout un poisson”. Ce fait questionne la possibilité qu'un crabe ou un poisson, même gros, puisse manger l'anémone. Il vient gêner la conception selon laquelle les gros mangent les petits et conduit donc à d'autres propositions.

4.4. Le fonctionnement des différents élèves dans le débat

Dans les débats qui se développent dans les groupes (troisième séance), il semble que tous les élèves ne fonctionnent pas de la même façon par rapport au registre empirique et au registre des modèles.

Il y a, bien sûr, des différences dans la quantité d'interventions des uns et des autres, qui peut varier d'un facteur 10.

Mais, si l'on prend deux élèves qui interviennent pratiquement le même nombre de fois dans le débat du groupe 5 (une centaine de fois environ), Julien et Thomas, leurs interventions ne sont pas du même type. Julien s'appuie plus souvent sur le registre empirique (20 fois, dont 13 en référence à la sortie) que Thomas (9, dont 4 pour la sortie). Et cette première impression quantitative est confirmée par l'analyse des propos de l'un et de l'autre. Julien, tout au long du débat, met en avant des éléments du registre empirique qu'il oppose aux thèses de ses camarades. En revanche, il expose rarement ses conceptions explicatives (prémodèles). Inversement, la plupart des interventions de Thomas sont au niveau du registre des modèles, c'est-à-dire sont explicatives (*“c'est parce que l'anémone est vivante que ça colle sinon, ça ne colle pas”*) ou font implicitement référence à une règle liée à une conception (*“ l'anémone peut manger les petits crabes mais je ne pense pas les gros”*).

deux styles
d'implication
dans le débat

Ces fonctionnements différents des élèves dans les débats scientifiques mériteraient d'être confirmés par des études plus précises et plus nombreuses. En tout état de cause, rien ne permet de savoir à quoi attribuer ces possibles différences : mode habituel de pensée des élèves ou connaissances qu'ils ont du domaine étudié ?

4.5. Conclusion

Au total cette sortie a eu un rôle important dans la construction des problèmes par les élèves : elle a permis de donner à la classe un fonds commun de références empiriques pour parcourir les deux dimensions de cette construction : l'exploration des possibles et l'identification des contraintes.

réelle mise
en tension
du registre
empirique et
du registre
des modèles

Comme dans la sortie géologique de Première S, l'importance des conceptions dans la lecture du terrain est très forte. Mais il semble que la prise d'informations sur le terrain a été plus riche dans cette sortie que dans l'autre, alors qu'elle se faisait au début du cours : elle a permis une réelle mise en tension du registre empirique et du registre des modèles ; les arguments développés par les élèves le prouvent.

Peut-être n'y a-t-il là qu'un effet de perspective par rapport aux attentes de l'enseignement à ces deux niveaux (école et lycée). Mais il faut noter deux caractéristiques qui peuvent expliquer la plus grande efficacité des CM2 sur le littoral que des 1^{es} S à Flamanville.

- Le terrain exploré est plus proche de l'expérience commune des élèves. Tous les CM2 ont déjà exploré le littoral à marée basse en s'intéressant, par jeu ou pour la pêche, aux animaux qu'on y trouve ; ce n'est certainement pas le cas des élèves de lycée en ce qui concerne les roches de Flamanville.

- Sur le terrain, les élèves de CM2 ont été davantage suivis et guidés par l'accompagnateur, ce qui a permis des petites discussions et les a aidés à focaliser leur attention sur quelques faits importants (pour le maître).

CONCLUSION

Nous avons, au cours de cette recherche, tenté de mieux comprendre comment les problèmes scientifiques se construisaient dans les domaines où l'expérience n'est pas la seule référence empirique mais où le terrain a un rôle essentiel. Nous nous sommes pour cela appuyés sur le témoignage d'un chercheur et sur l'étude de différentes situations didactiques.

Ce n'est là qu'une première investigation qui s'est surtout attachée à la façon dont les élèves lisaient le terrain et aux difficultés qu'ils y rencontraient. Des études comparatives

seraient nécessaires pour confirmer les résultats présentés ici. Nous pouvons cependant avancer quelques conclusions provisoires.

- Si la séparation entre les différents registres, en particulier entre le registre empirique et le registre des modèles, est féconde du point de vue de la compréhension du processus de construction de problèmes, il est nécessaire de distinguer, dans les registres empiriques, ce qui correspond à un "réel de terrain" et ce qui correspond à un "réel de laboratoire". Notons cependant que séparer ces registres ne veut pas dire qu'ils sont indépendants. On a vu comment les conceptions des élèves intervenaient dans la prise d'informations sur le terrain. On a vu également comment les données expérimentales ou les modèles disponibles pouvaient masquer, chez les élèves, l'utilisation des données de terrain.

le concret
n'est pas simple

- Il apparaît que le "concret" du terrain ne simplifie pas les questions scientifiques, au contraire. Reste qu'une part non négligeable des objets de la biologie et de la géologie n'a de sens que par les études de terrain. On doit donc didactiquement prendre en compte les difficultés que les élèves ont nécessairement dans l'appréhension de ce concret très (trop?) riche. Que ce soit dans le travail du chercheur ou dans celui des élèves, la mise en relation des données de terrain avec les modèles possibles fait intervenir tout un ensemble de connaissances de type pratique. Ce ne sont pas uniquement des connaissances de bas niveau (habiletés, reconnaissances ponctuelles) mais aussi des connaissances expertes, difficilement explicites, que le scientifique utilise pour construire un registre empirique s'articulant avec ses modèles explicatifs. L'acquisition d'une telle expertise est un long travail. Si ce constat a des chances d'être valable également pour la pratique expérimentale, le cas des sciences de terrain éclaire particulièrement la question par la complexité des connaissances en jeu.

des choix à faire

- La prise en compte didactique de ces connaissances pratiques reste à travailler! L'absence de telles connaissances empêche de mettre en tension le registre empirique et le registre de modèles, donc de construire un problème. Plusieurs solutions alors, qui ne sont pas exclusives mais doivent être envisagées d'un point de vue curriculaire : se limiter à un travail sur les prémodèles et les obstacles associés en s'appuyant sur des références empiriques préparées (résultats expérimentaux, données de terrain aménagées) ; choisir le terrain et/ou le domaine expérimental parmi ceux où les élèves ont déjà des connaissances pratiques ; penser conjointement construction de problèmes et développement d'une certaine expertise empirique sur des terrains ou des domaines expérimentaux précis, en sachant que cela nécessitera nécessairement un travail dans le temps.

Au bout du compte, la question est toujours la même : l'activité de l'élève, que tout le monde espère, est-elle un simple moyen de lui faire acquérir des savoirs figés (résultats de la science) (13), ou doit-elle viser l'acquisition d'une certaine pratique théorique (modélisation) et d'une certaine pratique empirique?

Christan ORANGE
IUFM des Pays de la Loire
CREN, Université de Nantes

Françoise BEORCHIA
Paulette DUCROCQ
IUFM de l'académie de Caen (St Lô)

Denise ORANGE
Lycée Camus, Nantes
CREN, Université de Nantes

BIBLIOGRAPHIE

- ANTHEAUME, P. & al. (1995). *Découverte du vivant et de la Terre*. Paris : Hachette.
- ASTOLFI, J.-P. & al. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société?* Paris : P.U.F.
- ASTOLFI, J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : E.S.F.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BARBIER, J.-M. (dir.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs pratiques*. Paris : P.U.F.
- CLARKE, A. & FUJIMURA, J. (Éds.) (1996). *La matérialité des sciences*. Paris : Synthélabo.
- DELBOS, G., JORION, P. (1990). *La transmission des savoirs*. Paris : La Maison des Sciences de l'Homme.
- DELEUZE, G. (1968). *Différence et répétition*. Paris : P.U.F.
- DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- DUHEM, P. (1914). *La théorie physique, son objet, sa structure*. Paris : Chevalier & Rivière.

(13) Pour la critique des méthodes dites actives, voir Rumelhard G., 1986.

- Équipe ASTER (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
- FABRE, M. (1993). De la résolution de problèmes à la problématisation. Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle. *Didactique IV*, 4-5.
- FABRE, M. & ORANGE, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- GOHAU, G. (1984). Pour un popérisme relatif. *Biologie-géologie* (bulletin de l'A.P.B.G.), 1, 137-143.
- GOULD, St. J. (1989). *La vie est belle*. Paris : Seuil.
- JACOB, F. (1987). *La statue intérieure*. Paris : O. Jacob.
- KUHN, T. S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion (1962).
- LATOUR, B., WOOLGAR, S. (1988). *La vie de laboratoire*. Paris : La Découverte (1979).
- MARTINAND, J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MARTINAND, J.-L. (dir.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation*. Paris : INRP.
- MEYER, M. (1986). *De la problématologie*. Bruxelles : Mardaga.
- ORANGE, C. (1994). Le modèle, de la mise en relation au fonctionnement. In Martinand, J.-L. (dir.) (1994) *op. cit.*
- ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : P.U.F.
- ORANGE, C. (1998). Débats scientifiques dans la classe et espaces-problèmes. In *Actes du deuxième séminaire sur recherches et formation des enseignants*, Grenoble.
- ORANGE, C. & ORANGE, D. (1993). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les sciences de l'éducation*, 4-5, 51-69, Caen, Cerse.
- ORANGE, C. & ORANGE, D. (1995). Géologie et biologie, analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, 21, 27-59.
- ORANGE, D. (1996). L'expérimentation comme révélateur de conceptions. In Orange, C. et Fabre, M. (dir.). *Place du problème dans l'enseignement et l'apprentissage de la biologie-géologie*, Rapport de recherche, IUFM académie de Caen, Cerse Université de Caen.
- RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.
- STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : Flammarion.
- VERGNAUD, G. (1995). Quelle théorie pour comprendre les relations entre savoir-faire et savoir. In *Les entretiens Nathan 1995, Savoirs et savoir-faire*.