

## “RÉSISTANCE DU RÉEL” DANS LES PRATIQUES EXPÉRIMENTALES

Maryline Coquidé  
Patricia Bourgeois-Victor  
Béatrice Desbeaux-Salviat

*Dans les travaux pratiques, le réel est le plus souvent aménagé et structuré pour que soit occulté tout ce qui pourrait conduire à douter du modèle enseigné. L'histoire des sciences, pourtant, nous apprend que le réel ne se laisse pas facilement conceptualiser, ni modéliser ; elle rend compte de la nécessité de construction en synergie d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils. La résistance du réel, par son aspect de matérialité, s'éprouve sous de multiples formes.*

*Pour tenter d'analyser comment des élèves de lycée, dans un mode d'investigation empirique, explorent un réel moins aménagé, nous avons observé l'ensemble des activités menées autour d'un thème de biologie, en option sciences expérimentales, de quatre classes de Première S. Les comptes rendus de groupe ont été analysés et un questionnaire individuel a été rempli par les élèves de deux classes. Il est ainsi intéressant de comparer nos propres observations relatives aux difficultés rencontrées avec ce que les élèves relatent ou omettent. Une proposition de caractérisation de la résistance du réel lors d'une investigation empirique est avancée.*

diverses finalités  
des pratiques  
expérimentales  
dans différents  
modes  
didactiques

De nombreux travaux didactiques s'intéressent aux démarches suivies dans une investigation expérimentale, démarches des enseignants (1) et démarches des apprenants (2). Une enquête, au niveau européen, sur les images des sciences chez les enseignants et les étudiants, en lien avec les travaux pratiques, a été réalisée dans le cadre de l'étude *Labwork in science education* (Séré et al., 1998). Les pratiques expérimentales peuvent, en effet, correspondre à diverses finalités dans différents modes didactiques, qu'il convient de distinguer, et que nous nommons mode de familiarisation pratique (entrée prioritaire par les activités, domaine de l'expérientiation et de l'"expérience-action"), mode d'investigation empirique (entrée prioritaire par les démarches, domaine de l'expérimentation et de l'"expérience-objet") et mode d'élaboration théorique (entrée prioritaire sur la construction de concepts, domaine de l'expérience-validation et de l'"expérience-outil") (Coquidé, 1998).

(1) Johsua, 1989 ; Orlandi, 1991 ; Nott, 1996.

(2) Cauzinille-Marmèche & al., 1983 ; Désautels et Laroche, 1993 ; Darley, 1996 ; Millar, 1996.

La logique d'une d'investigation empirique est de résoudre un problème avec une approche qui reste ouverte. Ces situations ont pour but d'initier l'élève à des raisonnements scientifiques, de lui faire utiliser les instruments et les procédures d'une réelle investigation, de développer un esprit critique face au possible artefact. Dans de nombreux travaux pratiques scolaires, en effet, il n'est pas rare que les élèves "truquent" les résultats, en considérant ceux qui sont non conformes à l'attente comme des artefacts. On gomme par là la variabilité qui, au lieu d'être imputée à l'objet vivant, est attribuée à la maladresse de l'expérimentateur. Comment apprendre alors à décider si un résultat inattendu relève d'un artefact ou nécessite une révision du cadre théorique qui sous-tend l'expérience?

La constitution d'un référent empirique (Martinand, 1986), les incidents critiques, les pannes, les résultats non attendus et tout ce qui fait que le réel résiste à l'investigation constituent, en effet, des éléments importants dans le déroulement d'un TP. Leurs modes de gestion, par les élèves ou par les enseignants, sont en relation avec l'image des sciences expérimentales. Ainsi, dans une étude effectuée par Nott en 1996, les commentaires des enseignants sur leur gestion de ces incidents expriment des conceptions sur la nature des sciences (Nott, 1996).

Développé dans quelques cursus universitaires, le travail sous forme de projet de recherche en licence facilite la compréhension des étudiants relative aux pratiques effectives de la science (Ryder et Leach, 1998). En France, l'option expérimentale de la classe de Première S, qui est à rapprocher du module SCI de nos collègues anglo-saxons (Dungan et Gott, 1995), offre un cadre privilégié pour mettre en œuvre une telle investigation empirique, en donnant la possibilité de réaliser de longues expériences, de s'affronter à la résistance du réel et de faciliter une meilleure compréhension de certains aspects du travail scientifique.

Nous souhaitons, dans un registre épistémologique et pédagogique, nous interroger sur les enjeux éducatifs relatifs à la découverte et la gestion, par les élèves, de la résistance du réel dans une investigation empirique "réelle et concrète" menée sur des vivants (3).

l'option  
expérimentale  
de 1<sup>e</sup> S,  
cadre privilégié  
pour  
une investigation  
empirique

---

(3) Étude menée dans le cadre d'une recherche coopérative IUFM Rouen-INRP "*L'expérimental dans la classe*", coordonnée par Claudine Larcher (1995-1998).

## 1. MATÉRIALITÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET RÉSISTANCE DU RÉEL

La science poursuit un projet caractérisé par trois points essentiels :

- la science vise une "réalité" et en cela s'oppose à toute production que l'imagination construirait sans obstacle ;
- elle cherche une "explication", c'est-à-dire l'insertion de la réalité qu'elle décrit dans un système abstrait de concepts, dépassant les faits singuliers de l'expérience et nécessitant l'élaboration de modèles ;
- elle se soumet à des critères de "validation" qui sont explicitement formulables et font l'objet d'un consensus.

Dans une investigation empirique, le réel ne se laisse pas facilement "maîtriser" et résiste à l'expérimentation pour des raisons très diverses. Pour pallier à cette résistance du réel, l'histoire des sciences rend compte de la nécessité de la co-construction d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils (Clarke et Fujimura, 1992). Nous avons fait les hypothèses que la construction conjointe des problématiques, des tâches et des outils faciliterait la gestion de la résistance du réel par les élèves, et que les situations de classe d'investigation empirique se prêtaient mieux que d'autres à cette élaboration complexe. Notre recherche vise à préciser autant qu'il est possible, sous ses manifestations multiples et dans ses adaptations concrètes à divers objets, le rapport des élèves de lycée à un réel peu aménagé en sciences de la vie.

### 1.1. L'objet biologique

Le réel, et le vivant en particulier, ne se conceptualise, ni ne se modélise facilement. La résistance du réel est due à la variabilité (spécifique, inter-individuelle et intra-individuelle) du vivant, à ses dimensions, à sa complexité... L'investigation sur le vivant n'est pas simple et nécessite que le scientifique invente des protocoles originaux et des techniques proprement biologiques (Canguilhem, 1965).

Quelques "objets biologiques" disponibles dans les classes suffiront sans doute à illustrer certains aspects de cette résistance. En quoi les expériences effectuées sur un ver de terre sont-elles transposables à la souris ou au ver de farine ? Si l'on choisit de ne travailler que sur des individus d'une même espèce, des souris par exemple, n'oublions pas que chacune, à l'intérieur d'une population, possède sa propre identité. Et si l'on s'intéresse à une seule souris, les difficultés ne seront pas résolues pour autant : réagit-elle de la même façon selon qu'elle a été nourrie ou qu'elle a faim ? qu'elle est soumise au stress ou au contraire en situation de confiance ? qu'elle est en œstrus ou qu'elle allaite ses souriceaux ?

matérialité de la science et nécessité de la construction en synergie d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils

résistance du vivant à l'investigation

La taille, les caractéristiques physiologiques et l'histoire propre des objets biologiques ne facilitent pas non plus l'expérimentation. Par exemple, en ce qui concerne les algues vertes, l'appréciation de la croissance des individus microscopiques, de l'accroissement des populations, dépend de contraintes physico-chimiques et temporelles strictes, difficiles à maîtriser pendant le temps scolaire.

Le vivant, même s'il semble trivial de le rappeler, ne se réduit pas à quelques lois simples. Cette résistance du réel entraîne un véritable "conflit cognitif intra-sujet" qui oblige le sujet à des conceptualisations successives, mises à l'épreuve par des confrontations au réel (4).

### **1.2. Le rapport au vivant**

Lors d'une investigation concrète le sujet touche, et est touché par son rapport affectif et émotionnel au vivant. Un classement couramment répandu dans l'inconscient collectif place les mammifères au sommet d'une hiérarchie, reléguant les invertébrés et davantage encore les végétaux à des niveaux subalternes du monde vivant.

importance  
de l'éthique

Dans un autre registre, n'oublions pas non plus l'importance de l'éthique qui interdit différentes expérimentations sur le vivant et limite de façon volontaire l'investigation et l'instrumentation du vivant. Ainsi les pratiques de classe se sont radicalement modifiées au cours de ces dernières années, éradiquant la vivisection : les grenouilles décérébrées et démyélinisées ont disparu des paillasses, par contre les enseignants n'hésitent pas à sacrifier blattes ou langoustines. Cela a une influence sur les représentations que les élèves se construisent à partir des modèles d'étude du vivant.

### **1.3. Instrumentation, référent empirique et matrice cognitive**

Une expérimentation représente un ensemble complexe de mises au point de protocoles, de procédures, de recours à des instruments (matériels et théoriques)... Lors d'une investigation empirique, la résistance du réel, dans son aspect de matérialité, s'éprouve sous de multiples formes. Il peut s'agir de contingences strictement matérielles (disponibilité d'outils et de matériaux, performances des instruments...). Du côté du sujet expérimentateur, il s'agit de mobiliser des performances sensori-motrices, de maîtriser des gestes indispensables, de constituer et de mettre en

---

(4) Ce conflit intra-sujet est suscité par les discordances entre ses attentes et la confrontation au réel. Un autre conflit intra-sujet peut, dans la théorie du conflit socio-cognitif, être suscité par un conflit inter-sujet.

du côté de  
l'expérimentateur  
et des outils

œuvre les schèmes d'utilisation des instruments ("*instrumentation du sujet*" selon l'expression de Rabardel, 1988) et de solliciter un référent empirique (5) (Martinand, 1986). Il s'agit également d'utiliser des instruments théoriques, des éléments épistémiques indispensables à la mise en œuvre concrète de procédures expérimentales, et constituant la matrice cognitive (Martinand, 1996).

Ces aspects s'observent, par exemple, lors de l'investigation relative au métabolisme des chlorelles (algues vertes) par les élèves. L'utilisation d'une sonde oxymétrique, reliée à un dispositif d'expérimentation assisté par ordinateur passe par une phase de maîtrise de l'outil de mesure. On note des problèmes de reproductibilité, des difficultés pour étalonner la sonde, des erreurs de manipulation (artefacts liés aux mouvements maladroits effectués lors de l'ajout ou de l'enlèvement du cache opaque sur le bioréacteur...), ou des déficiences de matériel (bouchon percé, agitateur trop gros...).

## 2. GESTION DE LA RÉSISTANCE DU RÉEL PAR DES ÉLÈVES DE LYCÉE

observations de  
quatre classes en  
option sciences  
expérimentales...

Comment des élèves de lycée s'approprient-ils des situations d'investigation empirique? En particulier, comment gèrent-ils les problèmes rencontrés par la résistance du réel? Comment réagissent-ils quand ils obtiennent des résultats non conformes à l'attente ou qu'ils n'arrivent pas à obtenir de résultat? Pour contribuer à analyser ce domaine et à alimenter le débat, nous avons observé les séances de l'option sciences expérimentales de quatre classes de Première S. Deux classes ont travaillé sur le métabolisme énergétique des ectothermes (animaux sans thermorégulation), deux autres sur le métabolisme des chlorelles (algues vertes unicellulaires).

Dans les deux premières classes, les élèves devaient s'interroger, à partir de documents, sur le comportement des ectothermes en relation avec le milieu de vie. Dans ce premier cas, la résistance du réel est apparue après la phase de problématisation (document 1).

---

(5) Pour l'enseignement d'un concept, le référent empirique représente l'ensemble des objets, phénomènes et procédés pris en compte, par expérience directe ou par évocation, et des premières connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées.

**Document 1. Diversité de thèmes choisis par les élèves de Première S  
pour leur expérimentation sur des ectothermes**

**Groupe 1**

Comparaison de l'intensité respiratoire d'un endotherme (souris) et d'un ectotherme (blatte), en fonction de la température ambiante (utilisation de l'ExAO)

**Groupe 2**

Comparaison de l'activité métabolique des phasmes en fonction de la température ambiante

**Groupe 3**

Comparaison du comportement et de la consommation de dioxygène chez les poissons rouges en fonction de la température

**Groupe 4**

Comparaison de la consommation de nourriture des vers de farine en fonction de la température

**Groupe 5**

Comparaison de la dépense énergétique, à travers la mesure de l'intensité respiratoire, de trois ectothermes (phasmes, ténébrions, blattes), en fonction de la température

**Groupe 6**

Comparaison du développement de ténébrions, à l'état de larves et à l'état de nymphes, en fonction de la température

**Groupe 7**

Comparaison de la consommation de dioxygène de blattes en fonction de la température (utilisation de l'ExAO)

**Groupe 8**

Étude des variations de la consommation de dioxygène de blattes en fonction de la température

Les autres élèves ont dû faire pousser les algues, le plus vite possible, dans des bouteilles de verre transparentes. L'objet étudié ne s'inscrit pas dans le référent familier des élèves concernés. Il est étrange et difficile à appréhender : "*Qu'est-ce que c'est que ce truc vert ?*", (commentaire d'élève désignant des bocaux contenant les chlorelles). "*Nous on voit que des petits ronds verts... ça bouge...*" (commentaire d'élèves concernant des observations au microscope). Dans ce deuxième cas, axé dès le départ sur un phénomène "concret", la résistance du réel les a très vite intrigués : pourquoi les algues prolifèrent-elles ou au contraire ne se développent-elles pas comme prévu ? comment intervient la dimension temporelle ? (chronologie des événements, temps nécessaire pour le doublement de la population initiale...).

...pour analyser les problèmes rencontrés par les élèves dans la résistance du réel...

**2.1. Méthodologie**

Nous avons tenté de repérer la résistance du réel dans le processus d'expérimentation. Les problèmes et difficultés

apparaissent, en effet, différents selon le moment de la démarche : problématisation, invention d'hypothèses, conception d'un protocole, ou bien recueil et traitement de données... Dans le cadre de ce texte, nous nous limiterons à ceux rencontrés lors de la conception des protocoles et lors du recueil et du traitement de données. Il sera intéressant, dans une étude ultérieure, de comparer les problèmes empiriques de la phase de problématisation avec d'autres travaux (Orange, 1998).

...et les difficultés dont ils ne s'aperçoivent pas mais qui compromettent la validation de la démarche

Pour les classes expérimentant sur les chlorelles, les séquences ont été enregistrées et les comptes rendus d'élèves analysés. Pour les classes travaillant sur les ectothermes, deux groupes d'élèves ont été observés de façon approfondie par deux observateurs extérieurs. L'enseignant, à plusieurs reprises, a demandé aux élèves d'être attentifs "aux divers problèmes qu'ils rencontraient", afin d'en faire part et, à la fin du thème, nous avons proposé un questionnaire individuel relatif à ce point. Nous avons pu, ainsi, recueillir des données (6) concernant les problèmes, vécus et soulevés par les élèves eux-mêmes, et leurs gestions matérielles. Nous avons comparé, en particulier pour les élèves des groupes ayant bénéficié d'une observation fine, les difficultés observées avec ce que disent les élèves et nous avons relevé des écarts significatifs. Quels sont les problèmes qui sont soulevés par les élèves eux-mêmes ? Quelles sont les difficultés liées à la démarche adoptée, analysées par les observateurs, dont les élèves ne s'aperçoivent pas mais qui compromettent la mise en œuvre ou la validation de la démarche ?

## 2.2. Observations lors de la conception des protocoles

### • *Résistance liée au vivant*

La conception de protocoles expérimentaux sur le vivant nécessite la conscience et la prise en compte de la variabilité, de la spécificité, de la diversité, de la complexité et du rapport au temps. Quelles sont les exigences qui ont été prises en compte, ou non, par les élèves dans leurs investigations ?

Les élèves font part de problèmes quand les observations ou les mesures envisagées sont relatives à des phénomènes difficiles à analyser, comme dans le cas des comportements animaux par exemple. Certains s'interrogent sur la possibilité de "mesurer" ou d'analyser l'activité d'un animal (groupes 2 et 5), ou sur les conditions de changement de température qui peuvent affecter l'animal de façon différente ("*faut-il changer la température autour de l'animal brusquement ou progressivement ?*").

---

(6) Dans les divers brouillons, les comptes rendus de groupe et les questionnaires individuels.

Mais d'autres difficultés, dont les élèves ne s'aperçoivent pas mais qui compromettent la validation de leur démarche, ont été relevées par les observateurs. Ainsi, aucun groupe ne pense à un échantillonnage *a priori*. Des élèves y font parfois allusion après intervention de l'enseignant mais on n'en observe aucune prise en compte dans les dispositifs. Nous pensons qu'aux difficultés relatives à la disponibilité du matériel ou aux contraintes d'espace et de temps s'ajoutent des éléments concernant la matrice cognitive des élèves, ceux-ci ne sollicitant que difficilement une pensée statistique (Cauzinille-Marmèche et al., 1983 ; Schwartz, 1994).

dans  
la conception  
des protocoles  
la variabilité du  
vivant est peu  
prise en compte

Dans la conception des protocoles, si la variabilité du vivant chez un individu et dans une même espèce n'est pas prise en compte, la diversité entre espèces l'est un peu plus. Des élèves évoquent la possibilité d'utiliser différents types d'ectothermes, avec des cycles de vie différents (groupe 5) (7), cependant la plupart envisagent des comparaisons directes, et sans précaution, entre différents modèles d'étude animaux.

Remarquons que si les élèves ne prévoient pas de témoin *a priori*, la plupart y pensent cependant ensuite, lors du recueil de données. Pour plusieurs d'entre eux, la notion même de témoin est floue : *"le témoin correspond à une expérience dans laquelle l'expérimentateur n'intervient pas"*.

des difficultés  
liées à la non-  
remobilisation de  
connaissances  
biologiques...

Une autre catégorie de difficultés est relative aux connaissances biologiques non remobilisées dans ce contexte (et donc non opératoires). Dans les discussions de certains groupes, par exemple, on constate une confusion entre la croissance et le développement, ou bien encore une absence de maîtrise de la notion de cycle de vie. Ce problème n'ayant pas été repéré immédiatement par l'enseignant, sa remédiation ne s'est produite que tardivement dans la démarche.

#### • **Résistance liée à l'instrumentation et au référent empirique**

Dans la conception des protocoles, les problèmes concernant l'instrumentation ne sont pas encore perçus comme très importants. Les élèves se posent quelques questions techniques relatives au choix du matériel ou à des procédures (*"Comment changer la température ?"* ; *"Dans quel récipient hermétique placer les animaux ?"*...). C'est, par contre, au moment de la réalisation du protocole et dans le recueil de données que problèmes et difficultés apparaîtront plus flagrants.

(7) Les groupes des classes travaillant sur les ectothermes sont désignés par des chiffres, ceux des classes travaillant sur les algues vertes par des lettres.



• **Difficultés liées au développement de la matrice cognitive**

... ou à la non-maîtrise de formes de raisonnement

Dans la phase de conception de protocole, la matrice cognitive des élèves est très sollicitée. Des difficultés, liées à la non maîtrise d'outils théoriques ou de formes de raisonnement (pensée comparative, pensée analytique, pensée hypothético-déductive...) peuvent apparaître.

**2.3. Observations lors du recueil de données**

de nombreux problèmes pour obtenir un résultat

C'est au moment de la réalisation du protocole et dans le recueil de données que la résistance du réel est la plus prégnante. Les élèves éprouvent des problèmes à obtenir un "résultat". En fait, ils vivent les difficultés à créer et à stabiliser un "phénomène" (Hacking, 1989). La réaction la plus fréquente des groupes est une approche tâtonnante, avec changement constant d'animaux (individus et espèce) ou de facteurs du milieu (éclairage pour les algues...), jusqu'à ce que "ça marche". Les élèves procèdent d'abord par tâtonnement expérimental et par imitation (emprunt des idées des voisins de paillasse). Quand les élèves pensent que leur manipulation "ne marche pas", ils se tournent vers les autres.

On a donc une phase, importante et plus ou moins longue, de régulation et d'adaptation du protocole envisagé.

• **Résistance liée au vivant**

De nombreux problèmes sont apparus dans le recueil des données : la consommation de dioxygène des ectothermes reste faible et donc difficile à mesurer. L'intervention du professeur suggérant d'augmenter le nombre d'animaux utilisés a permis une remédiation partielle. Dans le cas des chlorelles, les élèves se disent surpris par la vitesse de réaction des algues vertes aux alternances successives de lumière et d'obscurité.

réaction de l'être vivant à l'expérimentation

Un être vivant n'est pas un objet inerte et il réagit éventuellement à l'expérimentation (Giordan, 1978). Comme le remarque Cahn : "*on est amené en biologie, inéluctablement, même en ne voulant vérifier qu'un principe physique, à l'étude des lois de comportement des êtres vivants, c'est-à-dire à l'étude par les réponses obtenues, des types d'adaptation des organismes aux lois physiques, aux problèmes physiologiques proprement dits*" (8). Ainsi, dans une série de mesures successives, le comportement des animaux peut changer et des réactions de stress sont possibles. Ce problème a été parfois soulevé par quelques élèves et pris en compte dans la manipulation : précautions diverses et durée de l'expérimentation réduite.

(8) Cité par Canguilhem, *La connaissance de la vie*. Vrin (1965, rééd. 1980) p. 33.

Dans la phase de recueil de données, on constate une évolution des réflexions et une prise en compte, par certains élèves, de la variabilité du vivant : “*On ne peut pas généraliser à partir d'un seul animal.*” (groupe 1)

Remarquons que la phase de recueil de données permet également une mise à l'épreuve et une mise en acte des conceptions concernant le rapport au vivant. À plusieurs moments, les manipulations ont été l'occasion de discussions entre élèves, relatives au respect du vivant. Ainsi, une expérience réalisée à 40 °C est interrompue pour ne pas faire souffrir des souris (groupe 1), tandis que, dans un autre groupe, des ténébriions sont laissés, entassés dans une petite seringue, pendant toute la pause (groupe 5).

**• Résistance liée à l'instrumentation  
et au référent empirique**

sollicitation  
des compétences  
instrumentales  
des élèves

Les élèves ont mobilisé spontanément plusieurs compétences instrumentales : pesée avec différentes balances, principes de l'ExAO, recueil de gaz, utilisation du microscope...

Ils ont éprouvé plusieurs problèmes avec les instruments d'investigation : panne de la sonde oxymétrique, problème de sa sensibilité, questions relatives à l'adaptation du matériel. C'est l'intervention de l'aide de laboratoire qui a permis, le plus souvent, d'y remédier. Dans les deux classes qui travaillent sur les algues, les élèves remédient seuls à ces pannes, ce qui les amène, selon leur propre expression, à “prendre du retard” par rapport aux autres groupes.

D'autres problèmes, relatifs à l'instrumentation et à la mesure, sont apparus : pratique d'étalonnage de la sonde, choix dans le logiciel (*Respi* ou *Respor*), choix des échelles de mesure. Ces questions sont discutées en commun dans le groupe ou remédiées par l'intervention de l'aide de laboratoire.

problèmes  
relatifs à  
l'instrumentation

Nous avons également relevé plusieurs questions concernant le rôle des différents éléments du montage ExAO (sonde oxymétrique, logiciel, ordinateur). Se pose ici la question de la transparence, ou non, des appareils (Rabardel, 1988). Ce qui est en jeu ici, ce n'est pas la compréhension du fonctionnement technique des différents instruments pour lui-même, mais la compréhension pour pouvoir agir : un fonctionnement en “boîte noire” et non en “boîte de verre” pour reprendre l'expression de Rabardel. “*Ce n'est pas la peine de rechercher comment faire les calculs, l'ordinateur les donne*”, commentent des élèves (groupe 5). L'objet “sonde oxymétrique” est réduit à sa fonction : “mesurer la concentration en dioxygène dans le milieu”.

sollicitation  
d'un référent  
empirique

Les élèves ont eu à régler quantité de questions pratiques ou techniques qui ont sollicité leur référent empirique ou

mobilisé des éléments conceptuels. En voici quelques unes pour chacune des expérimentations.

#### **Expérimentation sur les ectothermes**

- Comment changer la température ? (groupe 1)
- Comment mesurer le volume d'air d'une boîte de forme complexe ? Comment peser un poisson rouge ? Comment évaluer les échanges respiratoires du poisson ? (groupe 3)
- Comment évaluer la quantité de nourriture consommée par les phasmes (groupe 2) ou par les vers de farine (groupe 4) ?
- Comment éviter la déshydratation atmosphérique dans l'étuve ? (groupes 2 et 6)

#### **Expérimentation sur les algues**

- Comment éclairer sans chauffer ? (groupe B)
- Comment agiter la suspension d'algues sans faire trembler la sonde oxymétrique ? (groupe H)
- Comment injecter des substances dans le milieu de culture sans perturber l'enregistrement ? (groupe A)
- Comment placer la suspension d'algues à l'obscurité dans la salle éclairée ? (groupe F)

#### **• Difficultés liées au développement de la matrice cognitive**

La matrice cognitive est également sollicitée et des difficultés peuvent apparaître si certaines mises en relations dans celle-ci apparaissent manquantes. Ainsi, les élèves ayant expérimenté sur les algues unicellulaires n'ont pas compris la signification des représentations graphiques : pour représenter des différences de pH minimales, ils tracent des pentes gigantesques. C'est comme s'il n'y avait aucun lien entre la maîtrise d'un savoir-faire (mesurer, tracer graphiquement) et la maîtrise d'un savoir-penser.

des difficultés  
si des mises  
en relations  
manquent  
dans la matrice  
cognitive

#### **2.4. Ce qui est évoqué par les élèves dans les comptes rendus et dans les questionnaires**

Il est intéressant de comparer les observations effectuées avec ce qu'en écrivent les élèves. Tout d'abord, et malgré la demande explicite de l'enseignant, la plupart des comptes rendus sont épurés de nombreuses difficultés. Par exemple, ils ne relatent pas les raisons du changement perpétuel d'animaux visant à obtenir un résultat, et ils le présentent comme quelque chose de voulu, de décidé. De nombreux élèves semblent avoir assimilé que des comptes rendus ne présentent qu'une forme reconstruite de la démarche. Ceux-ci ne fournissent, pour la plupart, que peu de détails ou d'exemples précis, contrairement à certains brouillons ou aux questionnaires individuels.

Dans les classes qui ont expérimenté sur les chlorelles, 36 élèves sur 68 inscrivent leurs comptes rendus exclusive-

honorer le doute  
et développer  
l'esprit critique...

ment dans une logique d'investigation empirique (9). Ce sont essentiellement ceux qui pensent que leur expérimentation n'a pas "marché". Ils osent faire part de leurs incertitudes. "Notre hypothèse ne semble pas totalement confirmée..." (groupe C)

"Malgré cette stabilité, on observe une hausse de pH, ce qui est anormal." (groupe E)

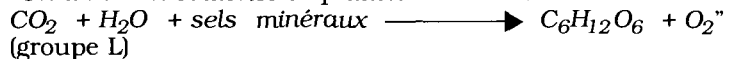
"Nous ne pouvons pas expliquer les résultats de la deuxième série d'expériences, les résultats n'étant pas très concluants, ce qui est sûrement dû à des erreurs de manipulation ou de réglage de notre part ; cependant nous avons renouvelé deux fois les expériences en essayant par exemple de faire varier le bouton "pente" mais ça n'a pas marché." (groupe G)

Les comptes rendus des 32 autres élèves combinent mode d'investigation empirique et mode d'élaboration théorique, mais privilégient dans l'ensemble ce dernier mode. Ce sont surtout les élèves qui pensent avoir "réussi" leur expérimentation.

... pour éviter des  
généralisations  
abusives

Alors qu'ils travaillent sur un matériel biologique précis, les chlorelles, certains élèves n'hésitent pas à généraliser abusivement en étendant leurs résultats à l'ensemble des végétaux chlorophylliens, ou en proposant une interprétation au niveau moléculaire :

"On a mis en évidence l'équation suivante :



"Le logiciel Respor nous permet de visualiser la respiration des algues." (groupe A)

"À la lumière, la quantité d'O<sub>2</sub> augmente. Nous concluons qu'il y a photosynthèse. En revanche, à l'obscurité, la quantité d'O<sub>2</sub> diminue. En conclusion, à l'obscurité la plante respire. Elle dégage donc du CO<sub>2</sub>." (groupe B)

une proposition  
pour caractériser  
les problèmes  
relatés par  
les élèves

Nous avons analysé les difficultés liées dans les comptes rendus, dans les brouillons et dans les questionnaires individuels, en nous référant à la caractérisation des difficultés observées dans les pratiques expérimentales des élèves (document 2). Cette caractérisation ne doit pas être considérée comme une catégorisation :

- d'une part, plusieurs éléments peuvent interagir entre eux et dans l'analyse du corpus nous avons eu souvent recours à un multi-codage ;
- d'autre part, il est parfois difficile de différencier ce qui relève de la sollicitation d'un référent empirique et ce qui est relatif à un problème concernant l'instrumentation, ce qui nécessiterait sans doute d'être débattu.

(9) Cf. les différents modes de gestion de l'expérimental – modes de familiarisation pratique, mode d'investigation empirique, mode d'élaboration théorique – présentés brièvement dans l'introduction.

**Document 2. Expérimentation sur les ectothermes**  
**Tableau synthétique des commentaires d'élèves**  
**relevés dans les questionnaires**

Problèmes (nombre d'occurrences et <i>exemples</i> )	relatifs à
<p><b>Relatifs à la variabilité du vivant (total 14)</b></p> <p>– interspécifique (5)  <i>“L'expérience de la blatte aurait du être renouvelée avec d'autres ectothermes afin que les résultats puissent être généralisés.”</i> (groupe 1)</p> <p>– inter-individuelle, échantillonnage (2)  <i>“Se pose un problème d'échantillonnage puisque nos conclusions reposent sur un nombre d'expériences très réduit.”</i> (groupe 7)</p> <p>– intra-individuelle (7)  dont santé et stress (3)  <i>“La souris ayant servi pour les trois expériences à la suite n'était pas toujours en calme émotionnel.”</i> (groupe 1)  <i>“Pour les vers qui sont morts, on ne connaissait pas leur état de santé.”</i> (groupe 3)</p> <p>dont état de développement de l'animal (4)  <i>“Nous ne savions pas exactement à quel stade les larves étaient : certaines larves étaient sans doute plus jeunes et plus résistantes que d'autres.”</i> (groupe 3)</p> <p><b>Concernant des phénomènes biologiques difficilement quantifiables (total 7)</b></p> <p>– dont intensité respiratoire faible des ectothermes (5)  <i>“Tout d'abord, nous avons commencé à étudier les blattes mais vu les problèmes auxquels nous nous sommes heurtés, nous avons choisi des ténébrions, ectothermes plus petits mais que nous avons pu placer dans une enceinte de plus faible volume, en conséquence nous avons pu mieux mesurer les faibles consommations de ces animaux.”</i></p> <p>– dont relatifs à des comportements (2)  <i>“La mesure du mouvement des opercules n'est pas très fiable.”</i> (groupe 3)</p> <p><b>Relatifs aux conditions de survie liées à l'expérimentation (4)</b>  <i>“Une fourchette de température judicieusement établie peut correspondre à un domaine de vie équilibrée pour le phasme.”</i> (groupe 2)</p>	<p align="center"><b>V</b></p> <p align="center">résistance du réel liée au vivant</p>

<b>Problèmes (nombre d'occurrences et exemples)</b>	<b>relatifs à</b>
<p><b>Relatifs à des procédures de mesure de masse, à des procédures de mesure de température (total 3)</b>  <i>“Pour mesurer la masse de la souris, comme pour la blatte, nous utilisons une balance sur laquelle nous plaçons une boîte hermétique puis nous faisons la tare. Après avoir taré, nous plaçons la souris ou la blatte dans la boîte puis nous relevons le poids.”</i> (groupe 1)</p>	<p><b>RE</b> sollicitation des éléments du référent empirique</p>
<p><b>Performance et sensibilité des instruments (total 15)</b>  <i>“La balance pour la pesée ne donnait qu’une précision à 0,1 g près. Nous ne pouvions donc pas savoir si les vers avaient exactement la même masse.”</i> (groupe 4)</p> <p>– dont ExAO (9)  <i>“Difficultés techniques au niveau du matériel : pas assez précis pour mesurer l’intensité respiratoire de la blatte en milieu ambiant et en milieu froid.”</i> (groupe 1)</p> <p>– dont panne (2)  <i>“Le lot 3 placé à l’étuve, l’étuve, ne stabilisant pas des températures inférieures à 30 °, a littéralement brûlé ; peut-être aurait-il fallu humidifier les milieux.”</i> (groupe 2)</p>	<p><b>MI</b> éléments relatifs explicitement aux instruments</p>
<p><b>Choix des instruments ou des méthodes instrumentales (2)</b>  <i>“C’est ce qui nous a amenés à revoir la méthode de mesure qui, au départ, consistait à mesurer la variation du taux de dioxygène dans l’enceinte et qui, par la suite, a été remplacée par la mesure de dioxygène consommé.”</i> (groupe 7)</p> <p><b>Utilisation des instruments (1)</b>  <i>“Nous avons aussi mal évalué les problèmes que pouvaient occasionner les changements de température à l’intérieur de l’enceinte. Nous nous sommes aperçus que les changements de température entraînaient des changements de volume molaire qui faussent les mesures effectuées par l’interface ExAO.”</i> (groupe 7)</p> <p><b>Réalisation des mesures (2)</b>  <i>“Les blattes ont été mises à température ambiante. On remarque que la respiration est normale et quasiment continue. On remarque quelques augmentations anormales qui sont sûrement dues à des problèmes de mesure.”</i> (groupe 7)</p> <p><b>Réalisation des montages expérimentaux et procédures d’adaptation du matériel (6)</b>  <i>“C’est ce qui nous a amenés à revoir la méthode de mesure qui, au départ, consistait à mesurer la variation du taux de dioxygène dans l’enceinte et qui, par la suite, a été remplacée par la mesure de dioxygène consommé.”</i> (groupe 7)</p>	<p><b>MT</b> éléments relatifs explicitement à l’instrumentation</p>

Problèmes (nombre d'occurrences et <i>exemples</i> )	relatifs à
<p><b>Démarche hypothético-déductive (2)</b>  <i>“Nous avons eu des problèmes d’humidité avec la farine. Nous avons été obligés de refaire une expérience pour prouver qu’il s’agissait bien de l’humidité.”</i> (groupe 4)</p> <p><b>Analyse et contrôle de facteurs (éventuellement interactifs) (3)</b>  <i>“Nous avons été obligés de placer les vers dans un réfrigérateur pour arriver à une basse température mais ces vers étaient placés dans le noir. Donc nous avons été obligés de placer les vers à 20° dans une armoire afin que la luminosité ne fausse pas notre expérience.”</i> (groupe 4)</p> <p><b>Pensée comparative (1), nécessité d’un témoin (1)</b>  <i>“Courbe témoin : on a réalisé une mesure de consommation de dioxygène dans une enceinte vide. Elle permet de vérifier que la boîte est bien hermétique et de valider nos expériences par rapport à un témoin.”</i> (groupe 7)</p> <p><b>Analyse critique de résultats (2)</b>  <i>“Sur toute la première série d’expériences que nous avons menée, nous n’avons pu établir d’analyse convenable.”</i> (groupe 7)</p> <p><b>Relatifs à une transposition de pratiques de scientifique (9)</b>  <i>“Cela nous a permis de faire une expérience du début à la fin. On voit qu’il faut du temps et ça montre comment font les scientifiques.”</i> (groupe 6)</p>	<p><b>MC</b>  sollicitation des éléments de la matrice cognitive</p>

### 3. POUR DÉBATTRE

#### 3.1. Bilan de l'étude

les enjeux éducatifs de situations proposant un réel peu aménagé

Cette étude représente une tentative d'exploration de la gestion de la résistance du réel, du référent empirique et de la matrice cognitive sollicités et/ou constitués lors d'une activité pratique dans un mode d'investigation empirique. Elle peut contribuer à repérer les enjeux éducatifs de telles activités et aider à mieux les comprendre. *“J’ai beaucoup apprécié l’aspect manipulateur car on se rend compte que, parfois, tout ne fonctionne pas comme l’on veut et il faut modifier tout le protocole.”* (Commentaire d'élève relevé dans le questionnaire relatif à l'option)

#### • Commentaires au niveau de la résistance du réel

Si les élèves font part, dans leurs commentaires, d'une appréciation positive des activités et relatent quelques

la résistance liée  
au vivant reste  
sous-estimée

problèmes rencontrés, ceux-ci sont globalement sous-estimés et concernent essentiellement l'instrumentation et les instruments d'investigation plutôt que la résistance liée au vivant. Cependant, des problèmes d'expérimentation liés à la variabilité du vivant ont parfois été cités. On constate une difficulté à reconnaître et/ou à communiquer les problèmes empiriques rencontrés.

• **Commentaires au niveau du référent empirique**

Pour appréhender le réel, de nombreux éléments du référent empirique individuel ont été, à plusieurs reprises, spontanément sollicités sans difficultés particulières par les élèves et ils n'ont pas été relatés. D'autres éléments, relatifs à différentes procédures de recueil de données, ont provoqué des problèmes au sein des groupes (par exemple certaines mesures de volume ou pesées). Ils ont alors sollicité de façon explicite les compétences techniques de quelques élèves, avec communication, démonstration et discussion sur la pertinence, puis plus ou moins imitation par les autres élèves du groupe. On a donc assisté, dans ce cas, à une mutualisation de connaissances d'ordre pratique.

une possibilité de  
mutualisation de  
connaissances  
d'ordre pratique

Dans le cas où le référent empirique est apparu déficitaire dans tout le groupe, on a observé, selon les cas :

- soit une aide directe de l'enseignant ou de l'aide de laboratoire ;
- soit la constitution de ce référent avec des passages plus ou moins prolongés à des situations de familiarisation pratique au cours de l'investigation empirique (par exemple lors de l'utilisation de l'ExAO) ;
- soit une mise en œuvre de recherche documentaire ("*Comment respire la blatte ?*") ;
- soit des comportements d'évitement du problème empirique et des changements dans la problématisation ou dans le protocole.

des interventions  
pédagogiques  
différentes

• **Commentaires au niveau de la matrice cognitive**

Le plus souvent, les élèves ont présenté, dans leur compte rendu, une démarche scientifique toujours reconstruite et de type "PHERIC", avec une investigation scientifique linéaire débutant par un problème, puis continuant par l'émission d'une hypothèse, la description du protocole expérimental, les résultats de l'expérimentation, leur interprétation et une conclusion (Develay, 1989 ; Coquidé, 1998 ; Orange, 1998). Dans leurs investigations, ils ont pourtant fait évoluer et varier les protocoles pour chercher à établir des *faits* et ils reconnaissent les difficultés multiples à stabiliser des *phénomènes* (Hacking, 1983) mais cette phase d'investigation est ensuite le plus souvent "gommée", comme c'est la règle dans le genre "compte rendu".

Les élèves ont mis en avant une pratique expérimentale de type "physico-chimique", avec recherche de séparation stricte de facteurs et volonté de répétitivité de l'expérience alors que,



des difficultés  
avec la pensée  
statistique...

dans les situations biologiques, l'expérimentateur est le plus souvent confronté à des causalités pluri-factorielles ou à des facteurs en interaction, et qu'il est impossible de strictement "répéter" une expérience. On constate également des difficultés cognitives concernant l'idée d'échantillonnage et une confusion entre échantillonnage des objets biologiques à expérimenter (variabilité du vivant) et nombre suffisant de résultats relatifs à la "répétition" de la même expérience sur le même animal : "*Se pose un problème d'échantillonnage puisque nos conclusions reposent sur un nombre d'expériences très réduit.*" (Extrait du compte rendu du groupe 7)

... et avec  
"le travail  
de la preuve"

On a pu relever, dans les comptes rendus et dans les commentaires de nombreux élèves, des conceptions relatives au rôle de l'expérience pour "prouver" et de fréquentes généralisations hâtives. Les exercices d'évaluation (type baccalauréat) et le principe de construction de la plupart des cours de Sciences de la Vie et de la Terre, privilégiant une démarche inductive à partir d'un seul exemple prototypique, utilisent constamment un raccourci artificiel entre réalité expérimentale et théorie. Il n'est donc pas étonnant que les élèves aient tendance à reproduire le schéma de pensée en vigueur dans l'enseignement et qu'ils soient perturbés face à la résistance du réel. Pour révéler cet écueil et tenter de le caractériser plus finement, il nous semble intéressant de confronter les élèves à des situations de pratiques expérimentales qui permettraient de développer une image plus conforme des pratiques scientifiques et d'*honorer le doute* selon l'expression de Debru (1998). Les situations de mode d'investigation empirique pourraient particulièrement s'y prêter.

**• Articulation des registres, articulation des modes didactiques des pratiques expérimentales**

Lors des situations d'investigation empirique observées dans cette étude, des difficultés rencontrées par les élèves ont été relatives à la résistance du vivant à la conceptualisation et à la modélisation, d'autres ont été relatives aux différents aspects des pratiques instrumentales ou à un déficit de référent empirique. Remarquons que ces situations ont particulièrement sollicité la matrice cognitive.

Dans une perspective curriculaire, il conviendrait :

nécessité  
d'articuler  
des registres dans  
une perspective  
curriculaire

- de développer des situations de familiarisation pratique pour permettre de constituer ce référent empirique ;
- de s'interroger sur des situations d'investigation empirique qui puissent être proposées aux élèves, avec quelques contraintes relatives à la gestion de la résistance du réel, mais pas trop nombreuses et présentant un vrai enjeu éducatif. La caractérisation des éléments intervenant dans la résistance du réel, proposée dans cette étude, pourrait aider à effectuer des choix : choix de situations, et choix d'intervention pédagogique ou non (quelle part de la gestion de la résistance du réel réserver aux élèves ? quelle part prendre en charge pédagogiquement ?).

### 3.2. Pour élargir le débat

Les enjeux éducatifs relatifs à la gestion de la résistance du réel diffèrent selon les modes didactiques (mode de familiarisation pratique, mode d'investigation empirique ou mode d'élaboration théorique).

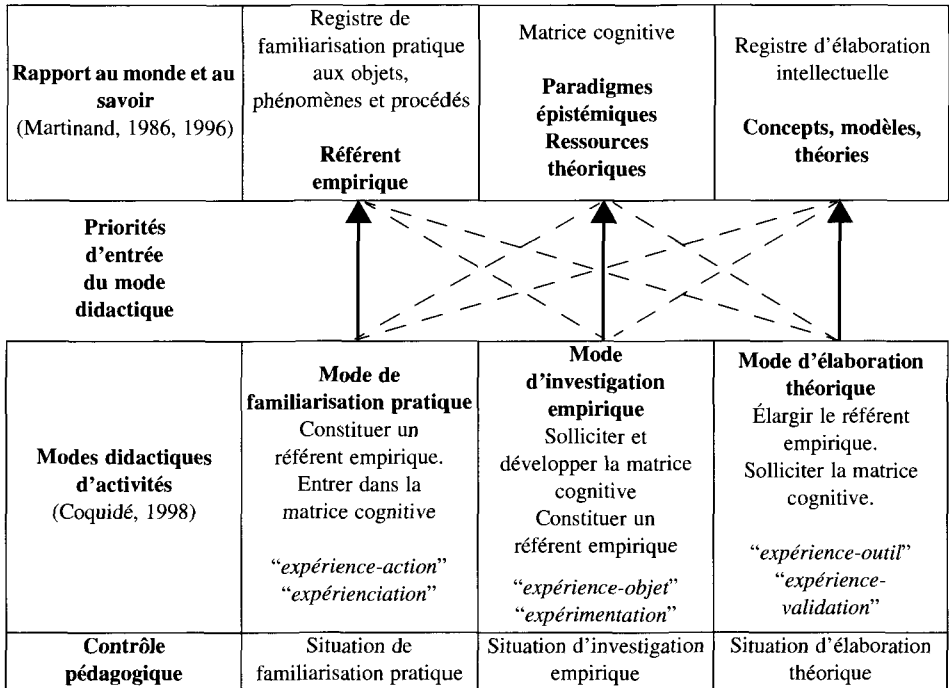
D'un triple point de vue épistémologique, didactique et pédagogique, les relations entre les faces "matérielles" et "idéelles" des sciences et techniques restent complexes. Nous proposons de représenter schématiquement (document 3) les relations entre registres de rapport au monde et au savoir (Martinand, 1986 ; 1996) et différents modes didactiques (Coquidé, 1998).

Les différentes situations mises en place par l'enseignant favoriseraient :

- la découverte du réel et de sa résistance dans une situation de familiarisation pratique, les apprentissages d'ordre pratique pour constituer un référent empirique ;
- la gestion de certains aspects de la résistance du réel dans une situation d'investigation empirique, pour faciliter la compréhension relative aux pratiques effectives de la science et développer la matrice cognitive ;
- un dépassement de cette résistance, par aide directe de l'enseignant ou par un évitement en aménageant fortement le réel, en situation d'élaboration théorique.

un réel plus ou moins aménagé selon les modes didactiques

**Document 3. Articulation des registres et des modes didactiques d'activités**



## CONCLUSION

Si les pratiques expérimentales du mode d'investigation empirique permettent aux élèves de s'affronter à de véritables expérimentations, les situations dans lesquelles le réel n'est pas trop aménagé ne sont-elles pas à favoriser ? *"Cela m'a apporté une ouverture d'esprit et une image plus ou moins représentative de ce que peut être le travail de recherche"* commente un élève.

valeur  
éducative réelle  
des investigations  
empiriques  
sur du réel  
peu aménagé

Plutôt que de faire répéter *ad nauseam* (Hacking, 1983) les mêmes expériences, quelques investigations empiriques sur du réel moins aménagé, avec toutes les multiples contraintes liées à sa résistance à dépasser, ne représentent-elles pas une valeur éducative scientifique d'importance ? Il conviendrait bien sûr de hiérarchiser ces contraintes.

– Une première réflexion concerne une perspective curriculaire, avec la nécessaire articulation des modes de familiarisation pratique et des modes d'investigation empirique, afin de faciliter la constitution et la mobilisation d'un référent empirique par les élèves.

– Une deuxième réflexion concerne le choix des sujets d'étude de biologie, des situations de classe et des aides pédagogiques, directes ou indirectes, à proposer aux élèves dans une situation d'investigation empirique. La catégorisation de la résistance du réel que nous avançons pourrait contribuer à éclaircir les prises de décision et les élaborations de ces aides pédagogiques.

Pour dépasser le paradigme bernadien relatif à "la démarche expérimentale", il conviendrait également de s'interroger sur l'opportunité que représente l'option sciences expérimentales au lycée pour introduire des transpositions de pratiques expérimentales et modélisantes plus complexes (Legay, 1996) ; celles-ci pouvant inclure une initiation à la pensée statistique (par exemple expérimenter sur des populations de graines plutôt que sur quelques graines) et la nécessité de concevoir et de réaliser de véritables plans expérimentaux plutôt que quelques expériences. Se pose alors le problème de la contrainte de la répartition actuelle, hebdomadaire et figée, du temps scolaire.

Maryline COQUIDÉ  
Patricia BOURGEOIS-VICTOR  
IUFM de Rouen,  
LIREST, ENS Cachan

Béatrice DESBEAUX-SALVIAT  
Lycée Aulnay-sous-bois  
Unité "Didactique des sciences  
Expérimentales", INRP

## BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE, E., GIORDAN, A., HENRIQUES, A., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1984). *Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.
- BALIBAR, F. & PRÉVOT, M.-L. (coord.) (1995). *Pasteur. Cahiers d'un savant*. Paris : CNRS éditions.
- BARBIER, J.-M. (dir.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.
- BEAUFILS, D. & SALAMÉ, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences? *Aster*, 8, 55-80.
- CANGUILHEM G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- CANTOR, M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Nice : Z'éditions.
- CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.
- CLARKE, A. & FUJIMURA, J. (dir.) (1992, traduction 1996). *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo.
- COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132.
- COQUIDÉ, M. (coord.) (1998). *L'expérimental en biologie*. Rapport final de la recherche coopérative INRP/IUFM Rouen coordonnée par C. Larcher *L'expérimental dans la classe*.
- DARLEY, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2<sup>e</sup> année. *Didaskalia*, 9, 31-56.
- DEBRU, C. (1998). *Philosophie de l'inconnu : le vivant et la recherche*. Paris : PUF.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster*, 17, 13-39.
- DESBEAUX-SALVIAT, B. & SALVIAT, N. (1998). Expérimenter sur la photosynthèse : utilisation des algues vertes unicellulaires. *Biologie Géologie, Bulletin de l'APBG*, 2.
- DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- DUGGAN, S., GOTT, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *I.J.S.E.*, 17, n° 2, 137-147.
- DUVAL, J.-C., SALAMÉ, N. (1991). L'informatique scientifique dans l'enseignement de la biologie et de la géologie au lycée. *Actes du colloque ENS-INRP*, Paris.
- GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Centurion.
- HACKING, I. (1983, traduction 1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Christian Bourgeois.

- JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-54.
- LACOMBE, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience. *Aster*, 8, 17-28.
- LEGAY, J.-M. (1996). *L'expérience et le modèle, un discours sur la méthode*. Paris : INRA.
- LICOPPE, C. (1996). *La formation de la pratique scientifique, le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*. Paris : La Découverte.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995*. ENS Cachan.
- MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia* 9, 9-30.
- NOTT, M. (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.*, 7, 807-818.
- ORANGE, C. (1998). "Réel de terrain", "réel de laboratoire" et construction de problèmes en biologie-géologie. Rapport final de la recherche coopérative IUFM de Caen et Nantes/INRP coordonnée par C. Larcher *L'expérimental dans la classe*.
- ORLANDI, É., (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13, 111-132.
- PRAT, R. (1993). *L'expérimentation en physiologie végétale*. Paris : Hermann.
- POL, D. (1994). *Travaux Pratiques de Biologie*. Paris : Bordas.
- RABARDEL, P. (1988). *Les activités avec instruments*. HDR Université Paris 8.
- RYDER, J., LEACH, J. (1998). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche de licence. *Didaskalia*, 12, 39-61.
- SCHWARTZ, D. (1994). *Le jeu de la science et du hasard. La statistique et le vivant*. Paris : Flammarion.
- SÉRÉ, M.-G. et al. (1998). Documents 4 et 5. Rapport final à la commission Européenne *Labwork in science education*. Université d'Orsay.
- STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : La Découverte.
- WINNYKAMEN, F. (1990). *Apprendre en imitant?* Paris : PUF.