

Le rapport expérimental au vivant

Maryline Coquidé

▶ **To cite this version:**

Maryline Coquidé. Le rapport expérimental au vivant. Education. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2000. tel-00525838

HAL Id: tel-00525838
https://theses.hal.science/tel-00525838

Submitted on 12 Oct 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

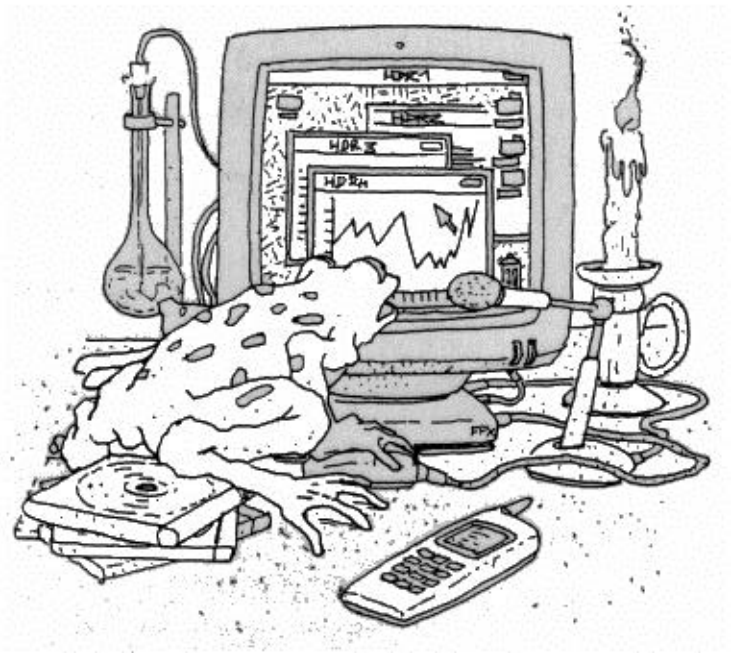
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE RAPPORT EXPÉRIMENTAL AU VIVANT

Maryline COQUIDÉ

HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

MÉMOIRE



UNIVERSITÉ PARIS-SUD
JUIN 2000

UNIVERSITÉ PARIS-SUD
DIDACTIQUE DES DISCIPLINES

HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Mémoire présenté par

Maryline COQUIDÉ

Maître de conférences Université de Rouen
Directeur d'Études IUFM de l'Académie de Rouen
GDSTC-LIREST ENS de Cachan

LE RAPPORT EXPÉRIMENTAL AU VIVANT

Jury de soutenance

André ADOUTTE
Jean-Pierre ASTOLFI
Michel DEVELAY
Jean GAYON
Jean-Louis MARTINAND
Daniel RAICHVARG
Cécile VANDER BORGHT

UNIVERSITÉ PARIS-SUD
JUIN 2000

À Étienne et Marion.

"*Trois choses me sont difficiles à comprendre*
et la quatrième m'est entièrement inconnue :
la trace de l'aigle dans l'air,
la trace du serpent sur la terre,
la trace du navire au milieu de la mer,
et la voie de l'homme dans sa jeunesse."
Proverbes de Salomon, XXX,19.

"*Les hommes de l'expérience sont comme les fourmis ; ils ne font que rassembler et employer. Les hommes du raisonnement ressemblent aux araignées qui tissent des toiles avec leur propre substance. Mais l'abeille se tient entre ces deux extrêmes ; elle recueille ses matériaux dans les fleurs des jardins et des champs, puis elle les transforme et les digère par sa vertu propre.*"
Francis Bacon

Mes remerciements amicaux vont à Jean-Louis Martinand.
Ses encouragements patients et sa générosité,
sa rigueur et ses exigences critiques ont grandement
contribué à l'envol d'une abeille

Merci à tous ceux qui, de près ou de loin,
ont constamment soutenu cet envol

Merci pour les échanges intellectuels et amicaux
Aux membres du LIREST
Aux collègues de l'IUFM de Rouen
À tous les participants du séminaire
sciences expérimentales de l'INRP
Aux étudiants et aux enseignants

Merci à André Adoutte, Jean-Pierre Astolfi,
Michel Develay, Jean Gayon et Cécile Vander Borght
pour leur accueil chaleureux

Merci à Fabrice Fatoux
pour l'illustration personnalisée de la couverture

SOMMAIRE

INTRODUCTION 7

1E PARTIE
L'EXPÉRIMENTAL DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA BIOLOGIE : APPROCHES ET PROBLEMES 11

1.1. Enjeux et contraintes 12
· Évolution des contextes de recherche didactique et d'enseignement de la biologie en France
· Recherches sur le laboratoire scolaire
· Postures et questions de recherche : les objectifs poursuivis en TP
· Des interrogations
· Contraintes financières et matérielles
· Contraintes de temps et d'espace
· Contraintes éthiques et sécuritaire

1.2. Approche historique en France 22
· Analyse de textes officiels
· Analyse de manuels scolaires
· Étude de matériel destiné à l'enseignement des sciences

1.3. Conceptions des enseignants 24
· Conceptions sur les fonctions de l'expérience
· Conceptions épistémiques
· Déficit de formation des enseignants de SVT

1.4. Quel "état des lieux" ? 28
A. Enquêtes par questionnaires
· Enquêtes par entretiens
· Analyse de cahiers de laboratoir

1.5. Questionner l'évolution des activités expérimentales scolaires 30
➢ Quelle "évidence" ?
➢ Quelles conceptions sur le vivant développées ?
➢ Quel rapport à l'instrumentation ? Quel rapport à l'écrit ?
➢ Quelle discipline scolaire ?
· Quelle légitimité et quelles références ?
· Interrogation épistémologique, psychologique et axiologique
➢ Nécessité d'un détour

2E PARTIE

PRATIQUES SCIENTIFIQUES EXPÉRIMENTALES DU VIVANT 35

2.1. Une ou des sciences biologiques ? 36
· "Bicéphalie" de la théorie biologique contemporaine
· Différentes approches

2.2. Expérience et raison 39
2.2.1 Inférence et raisonnements 40
· Du côté de l'Histoire
· Du côté de la Logique
2.2.2. Comment aborder une phénoménologie ? 48
· Nécessité d'attributs
· Sciences des phénomènes et sciences des formes
· Point de vue phénoménologique
· Instrumenter
2.2.3. XVIIe siècle et naissance des sciences modernes occidentales 49
· Instrumenter et instituer
· Mesure et projet de mathématisation
· Analyser
· Expérience et expérimentation
· Un "nouvel esprit scientifique"
2.2.4. Expérimenter et rationaliser le vivant 53
· Rapport au(x) vivant(s) et rapport expérimental au(x) vivant(s)
· Cinq indicateurs épistémiques
· Du naturel à l'artifice
· Des obstacles doubles
2.2.5. Deux emblèmes : Louis Pasteur et Claude Bernard 59
· Structure logique du raisonnement expérimental
· Les carnets de laboratoire
· "La démarche expérimentale fait flèche de tout bois"
· Audace des idées et rigueur de la méthodologie
· Résistance du réel
2.2.6. Les multiples dépassements de l'expérimentation 65
· Dépassement des sens, dépassement des mains,
· dépassement des inférences
· "Océan expérienciel" et "îlots expérimentaux"

2.3. Défis théoriques, défis éthiques et défis pratiques 68
· Pouchet et Pasteur
· Deux programmes de recherche différents
· Choix d'un modèle d'étude
· Importance du vitalisme
· Séparer sans détruire
· Contrôler pour convaincre
· La diffusion des résultats dans l'avancée même de la science

· Une prise en compte de la morale
2.3.2. Obstacles à l'expérimentation du vivant 72
· La singularité et la variabilité
· La flèche du temps
· Le tout et la partie
· Vitalité et réduction
· Une expérimentation biologique véritable
· Des défis éthiques

2.4. Place et fonctions de l'expérimentation du vivant 82
2.4.1. Quelles pratiques expérimentales du vivant ? 82
· Un cas : l'approche expérimentale de la génétique
· Intervenir, contrôler et analyser
· Instrumenter et mesurer
· Rendre visible
· Concevoir et réaliser des plans expérimentaux
· Modéliser
· Les différentes formes de l'"expérience scientifique"
2.4.2. Des déplacements, des mises en tension et des interactions 89
· Le cas Pasteur
· Visée pragmatique et visée épistémique
· Hôpital et laboratoire
· Terrain et laboratoire
· Technique et science
· Déplacements disciplinaires
· Différents niveaux d'organisation du vivant
· Explorer et prouver
· Observer, comparer, expérimenter, modéliser
2.4.3. La science comme ensemble de pratiques 94
· Recueillir et confronter des inscriptions
· Construire et débattre collectivement
· De pratiques prenant en compte des valeurs éthiques
· Pour débattre : quelle formation des biologistes expérimentateurs ?

3E PARTIE
PRATIQUES DIDACTIQUES DU RAPPORT EXPÉRIMENTAL AU VIVANT 99

3.1. Activités expérimentales et apprentissages 99
3.1.1 Action et connaissance 101
· Point de vue psychologique
· Point de vue didactique

3.1.2. Expérience et expérimentation 104
· Point de vue épistémologique
· Point de vue pédagogique
· La démarche d'enquête
3.1.3. Du côté des "élèves sujets" 110
· Différenciation des élèves et sens donné aux activités scolaires
· Le contexte social de l'apprentissage
· Objectiver des perceptions
3.1.4. Du côté des "savoirs" 112
· Savoirs scientifiques et/ou savoirs pratiques ?
· Savoirs mobilisés dans la constitution d'un référent empirique
· Savoirs et savoirs d'action
· Importance de la "matrice cognitive"

3.2. Expériencier et expérimenter le vivant 118
3.2.1. Rapport au vivant et éducation 119
B. Se sentir "être vivant"
C. "Présence animale" et intégration scolaire
D. Une "propédeutique" d'expériences
E. Contribution à la structuration du temps
F. Le respect du vivant
3.2.2. Conceptions du vivant et rapport expérimental au vivant 122
· Une école d'esprit critique
· Mettre à l'épreuve des conceptions du vivant
· Transformer des conceptions du vivant
· Construire un rapport expérimental au vivant
3.2.3. Rapport expérimental au vivant et rapport à l'expérimental 125
· Nécessité d'intervention sur le phénomène
· Nécessité d'inventer un dispositif
· Rapport à la causalité
· Rapport à l'instrumentation
· Rapport à l'expérimental et matrice cognitive
3.2.4. Rapport à l'écrit dans les expériences 130
· Importance des inscriptions
· Les écrits réalisés par les élèves
· Perspective empirique méthodique et perspective expérimentale
· Rapport à la documentation
· Un déficit de ressources bibliographiques adaptées

3.3. Fonctions, formes scolaires et non scolaires du rapport expérimental au vivant 135
3.3.1. Quel sens de l'expérimental scolaire ? 135
· Expliciter les fonctions des activités expérimentales : une nécessité
· Evolution de ces fonctions en Grande-Bretagne
· Quelle signification ? Quelle référence ? Quelle manifestation ?

3.3.2. Fonctions d'un rapport expérimental 138
· Fonctions de scientificité et d'authenticité
· Fonctions éducatives
· Finalités pédagogiques
· Fonctions d'un rapport expérimental au vivant
3.3.3. Quelles formes du rapport expérimental au vivant ? 143
· Formes scolaires 145
➢ Des expériences prototypiques
➢ Favoriser d'autres options
➢ Diversité des formes scolaires
➢ "Faire de la science" ou "apprendre les résultats de la science" ?
➢ Résistance au changement
➢ Plusieurs modes didactiques
➢ Différents contrôles pédagogiques
➢ Comment penser une articulation entre les finalités et les formes scolaires d'un rapport expérimental ?
· Formes non scolaires 155
· Ateliers de pratiques scientifiques
· Musées scientifiques
3.3.4. D'autres questions à approfondir 160

3.4. Perspective curriculaire du rapport expérimental au vivant 163
3.4.1.Problème de construction des disciplines scolaires 163
· Discipline académique et discipline scolaire
· Matrice disciplinaire
· Matrice curriculaire
· Des disciplines scolaires et des curriculums à construire
· Rapport expérimental au vivant et matrice curriculaire
3.4.2. Problèmes de développement et de renouvellement de curriculum 166
· Des interrogations
· Des contraintes
· Quels contenus ?
· Quelle séquentialisation ?
· Cohérence du curriculum
· Constitution d'un référent empirique
3.4.3. Problèmes de formation des enseignants à l'expérimental 172
· Histoire des sciences et formation des enseignants
· De nouvelles compétences professionnelles des professeurs
· Des outils didactiques pour penser la formation des enseignants

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES 179

LISTE DES PUBLICATIONS 193

INTRODUCTION

Dans les laboratoires de sciences de la vie et de la Terre des lycées actuels, les placards sont remplis de matériel obsolète concernant l'expérimentation animale. Avec l'abondance de la verrerie et des produits chimiques, la présence de plusieurs ordinateurs, les photocopies en attente, on pourrait sans peine s'imaginer se trouver au laboratoire de physique-chimie, situé juste à côté ou à l'étage au-dessus… Si ce n'étaient l'abondance de plantes vertes et la présence d'un réfrigérateur, calé dans un coin exigu. Parfois le bruit régulier du bulleur d'un aquarium ou le chant de grillons, attestent aussi de l'existence d'élevages.

En biologie, les activités expérimentales posent des problèmes didactiques particuliers : problèmes éthiques, problèmes pratiques, et problèmes scientifiques liés à la complexité, à la diversité et à la variabilité du vivant et à l'irréversibilité des phénomènes. Malgré les nombreuses contraintes qui en découlent, les textes officiels valorisent les pratiques expérimentales et les enseignants de sciences de la vie et de la Terre sont très attachés et attentifs aux "*travaux pratiques*" (ou TP). Les contenus envisagés dans les Instructions Officielles, néanmoins, ne favorisent pas les pratiques expérimentales, en particulier en SVT au lycée, et le rapport expérimental au vivant développé dans l'enseignement de la biologie semble de plus en plus se restreindre à sa chimie. Par ailleurs, dans un contexte de renouvellement de l'instrumentation, d'informatisation et de développement des technologies de l'information et de la communication, les activités expérimentales se limitent, le plus souvent, à des analyses ou à des exercices de recueil et de traitement de données. L'option *sciences expérimentales* de Première S, introduite en France en 1992 pour favoriser la prise en charge, par les élèves, d'un processus complet d'expérimentation sur un problème ouvert, doit disparaître à la rentrée 2000, tandis que de nombreux pays européens s'interrogent sur l'impact des TP.

Pour les plus jeunes, l'environnement scolaire relatif à l'approche du monde vivant apparaît très disparate. Riche et varié dans quelques écoles élémentaires, avec des coins réservés pour des petits élevages temporaires ou permanents, une possibilité de jardinage en extérieur ou en intérieur, il reste fréquemment, et malheureusement, dans un état d'extrême dénuement dans d'autres écoles : juste quelques "plantes en pot", le plus souvent destinées à la décoration !

À y regarder de plus près, le consensus de tous les acteurs, sur l'importance des "*expériences*" dans un apprentissage biologique, ne semble donc qu'apparent, et risque de voiler la nécessité d'une réflexion de fond, relative aux missions éducatives du rapport expérimental au vivant.

Point essentiel d'une affaire complexe, point qui mêle et qui relie différents registres, aussi bien épistémologique, psychologique, pédagogique, qu'économique ou

idéologique, la question des pratiques expérimentales dans l'enseignement de la biologie se présente comme nodale. Tenter de délier ce nœud et cet entrelacement pour clarifier, au-delà d'enjeux idéologiques ou corporatifs, toutes les missions éducatives du rapport expérimental au vivant apparaît bien essentiel.

Pour éviter à avoir à trancher entre des options différentes, les activités scolaires expérimentales du vivant sont souvent conçues comme devant répondre à des finalités multiples, et parfois divergentes. Face à ces difficultés, plusieurs chercheurs britanniques en pédagogie des sciences envisagent désormais de supprimer toute pratique expérimentale à l'école. Ils proposent de faire évoluer l'enseignement des sciences vers des "*récits explicatifs*"[1], en ayant recours uniquement à la narration. Mais n'est-ce pas là une perspective particulièrement dangereuse pour l'éducation scientifique ? en total affrontement avec toutes les missions actuelles de l'enseignement des sciences de la vie ? Il apparaît indispensable de clarifier et de débattre des enjeux éducatifs, afin d'aider à faire des choix, à court terme (l'enseignant dans sa classe), ou à long terme (développement et renouvellement du curriculum). En présentant un ensemble de travaux concernant *Le rapport expérimental au vivant* ce mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches propose une contribution didactique dans ce sens. Les "encadrés" du texte sont des extraits de différentes publications. Ce mémoire accompagne le dossier, composé d'une sélection de textes parmi les publications principales dont la liste est fournie à la fin. Il est organisé en trois parties.

- Une première partie présente une clarification des termes utilisés, une analyse des enjeux et des contraintes d'un rapport expérimental au vivant, une approche historique de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie, en France, et un bilan de travaux sur les conceptions des enseignants. Les problèmes relatifs à la connaissance de ce qui se passe réellement dans les classes sont ensuite explicités et quelques résultats d'enquêtes sont commentés. L'ensemble de cette partie permet de développer une réflexion sur les recherches didactiques effectuées dans le domaine, et de questionner l'évolution des pratiques expérimentales dans l'enseignement de la biologie.

- La deuxième partie propose une analyse des pratiques scientifiques expérimentales du vivant. Différents points de vue, se recoupant, sont développés : point de vue historique, point de vue épistémologique et point de vue anthropologique. En effet, le rapport expérimental qu'établit un sujet avec le vivant se distingue d'autres rapports possibles, par exemple, un rapport pratique, affectif ou bien encore symbolique, bien qu'il soit possible que ces divers registres interagissent. Le rapport expérimental présente des aspects épistémiques, certes, mais également éthiques, économiques et anthropologiques. L'expérimentation, méthode d'investigation et de validation, parmi d'autres dans les sciences biologiques, emprunte souvent instruments et techniques d'autres disciplines, mais doit inventer des stratégies spécifiques. En

[1] Voir "L'Éducation scientifique au Royaume-Uni : des souhaits". Compte-rendu d'un séminaire réunissant de nombreux chercheurs en sciences de l'éducation britanniques. Texte traduit par V. DENTANT et G. FOUREZ, proposé dans *Courrier du CETHES,* 44, janvier 2000, pp. 23-46. Namur.

reprenant les indicateurs épistémologiques de la fondation d'une science expérimentale du vivant de Claire Salomon-Bayet, les relations entre rapport expérimental et représentations du vivant, ainsi que les défis théoriques, éthiques et pratiques de son expérimentation, sont analysés. Le cas Pasteur, de son côté, illustre les nombreux déplacements conceptuels et matériels, les mises en tension et les interactions de la construction d'un rapport expérimental au vivant. L'examen des rapports entre les expériences et les écrits (carnets de laboratoire et comptes rendus expérimentaux) enrichit, en outre, la réflexion sur les fonctions scientifiques et sociales de l'expérimentation. En conclusion, cette partie présente un tableau comparatif d'indicateurs de perspective empirique et de perspective expérimentale

· Une troisième partie analyse les pratiques didactiques du rapport expérimental au vivant. Les formes, scolaires et non scolaires, des expériences relatives au vivant sont analysées, et leurs fonctions interrogées. Le rapport à l'écrit et le rapport à l'instrumentation, comme moments du rapport expérimental, sont questionnés. Cette partie s'efforce de présenter et de clarifier les différentes perspectives possibles des pratiques didactiques du rapport au vivant : perspective expériencielle, perspective empirique contrôlée et perspective expérimentale. Enfin, en interrogeant la cohérence de la construction d'un rapport expérimental au vivant, dans le développement du curriculum et dans la formation des enseignants, cette dernière partie avance une visée curriculaire. Elle interroge les différentes perspectives d'un rapport expérimental au vivant et leurs articulations, au cours d'un apprentissage ou dans la structuration progressive de la biologie scolaire. Elle présente des outils conceptuels pour aider à effectuer les choix nécessaires et successifs, dans le développement et dans le renouvellement de curriculum. Elle problématise la formation à l'expérimental des enseignants du premier et du second degré et rend compte de besoins de recherche.

1E PARTIE

L'EXPÉRIMENTAL DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA BIOLOGIE : APPROCHES ET PROBLEMES

Les travaux pratiques sont-ils indispensables aux apprentissages biologiques ? Et les activités expérimentales, sont-elles vraiment nécessaires ? Ces questions, incluses dans une demande d'étude (texte 13), émanant du bureau pour l'éducation de l'Unesco en 1994, témoignent bien du besoin de réflexion dans le domaine. Les activités pratiques demandent, en effet, de gros efforts d'investissement financier. Elles nécessitent du matériel, du temps prolongé, une salle plus ou moins spécialisée, parfois un personnel technique d'accompagnement, tandis que la rigueur scientifique de l'expérimentation en classe est souvent contestable… Alors les enjeux éducatifs de ces activités peuvent-ils être clarifiés et réellement évalués ?

D'un point de vue institutionnel, l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale, en France, présente "*le développement du mode de pensée expérimental des élèves comme un objectif éducatif majeur*" (1992)[1], tandis que, d'un point de vue didactique, les activités expérimentales apparaissent comme un "*paradigme organisateur*" de l'enseignement de la biologie (Host, 1991)[2]. Pour nos voisins anglais, le laboratoire est, actuellement, tellement imbriqué dans la pratique de l'enseignement des sciences, qu'il est difficile d'imaginer comment s'en passer, bien qu'aucun consensus n'ait été défini sur sa finalité (White, 1996)[3]. Le laboratoire peut, en effet, toujours être pensé comme le support de n'importe quel objectif d'enseignement des sciences, et c'est là, peut-être, une raison de sa popularité.

Les raisons d'un renouveau de recherches didactiques sur "*l'expérimental"* dans l'enseignement de la biologie sont diverses. J'utilise le néologisme "*l'expérimental*", mais il ne s'agit pas de "chosifier" une relation, comme si elle pouvait être pensée de façon indépendante, et en dehors de tout sujet. "*L'expérimental*", comme substantif, sera employé pour désigner, de façon pratique, l'ensemble des "expériences" (au sens large) qui concourent à la construction d'un rapport expérimental : en fait toutes les activités qui favorisent un rapport soit expérienciel, soit expérimental (au sens strict) aux objets et aux phénomènes.

---

[1] Ministère de l'Education Nationale et de la Culture (1992) *Rapport de l'Inspection générale* . La documentation française, p. 382.
[2] HOST, V. (1991). Les paradigmes organisateurs de l'enseignement de la biologie. *Cahiers pédagogiques*, 298 : 28-32.
[3] WHITE, R. (1996). The link between the laboratory and learning. *IJSE*, vol 18, 7.

Le mot "*expérience*", en effet, est polysémique. Dans son analyse, G. Bastide (1963) distingue trois sens nuancés, et qui correspondent à "*trois exigences de la conscience dans son travail de maturation*"[4].

1. **L'expérience vécue** *(éprouver, to experience, erleben).* Elle correspond à une *"connaissance subjective ressentie d'une manière d'être qualitative et intensive, dont le caractère unique interdit l'interchangeabilité des sujets"*. Plutôt que représentation d'objets, elle est, selon Bastide, *"conscience de situation éprouvée dans un retentissement vital, qui s'irradie jusqu'aux confins les plus secrets de l'être intime"*. Je désignerai également comme "*expérienciation*" cette expérience vécue.

2. **Expérimenter** *(to experiment, experiment).* Ce second sens, qui s'articule sur le premier, comme *"prouver s'articule sur éprouver"*, correspond, cette fois, à *"l'exigence d'une certitude rationnelle"*. C'est le *"recours décisif destiné à soumettre une hypothèse à l'épreuve de sa réalisation pratique*" et l"*expérimentation scientifique*".

3. **Expérience** *(experience, erfahrung).* C'est le sens retenu pour désigner, par exemple, un homme de *"grande expérience*", et qui a une *"connaissance des choses acquises par un long usage"*. Bastide l'envisage comme un *"processus temporel, et même historique, d'intégration"*. Par ce processus, les expériences, aux deux sens précédents d'expérienciation et d'expérimentation, sont *"assimilés par le sujet pour composer sa propre substance"*[5].

Quels peuvent donc être les objectifs et les contraintes des activités expérimentales en classe ? Y a-t-il eu évolution historique ? Et du côté des enseignants, quelles sont leurs opinions et leurs conceptions sur ces pratiques ? Est-il possible, finalement, de mieux connaître le curriculum réel, et d'être informé, objectivement, de ce qui se passe dans les écoles ? Toutes ces interrogations contribuent à questionner l'évolution des pratiques expérimentales dans l'enseignement de la biologie.

1.1. Enjeux et contraintes

Évolution des contextes d'enseignement de la biologie et de recherche didactique en France

Les contenus de l'enseignement de la biologie pour le second cycle ont été profondément réorganisés, en 1965, avec des épreuves du baccalauréat qui ont, dorénavant, proposé aux candidats d'interpréter des résultats expérimentaux (Rumelhard,

[4] BASTIDE, G. (1962). L'expérience morale. In *L'Expérience*. XXIVe Semaine de Synthèse. Paris, Centre International de Synthèse : Albin Michel, p.307.
[5] *Op. cit.*

1995)[6]. Changements sociaux, avancement de la science biologique, développement de l'audiovisuel : 1968 a représenté une étape importante pour la biologie scolaire, avec la circulaire d'octobre 1968 redéfinissant l'épistémologie du premier cycle. Au-delà des "*sciences d'observation*", avec leurs aspects essentiellement descriptifs, l'"*initiation expérimentale*" a dès lors été privilégiée, avec des objectifs d'ordre méthodologique. Possibilités de dédoublement des classes, installation de salles spécialisées, augmentation de dotations matérielles, création de postes de personnels de laboratoire et horaires d'enseignement substantiels, ont permis une organisation favorable aux pratiques des élèves. Depuis 1977, le contexte a considérablement changé, avec une dégradation progressive de ces conditions au collège, tandis que la loi de régionalisation de 1982 impulsait la création de nombreux nouveaux lycées, avec de gros investissements, en particulier en matériel informatique, permettant de renouveler les pratiques des lycéens (MEN, 1992). Avec l'introduction massive de l'ordinateur dans les années 1980 (Beaufils, Salamé, 1989)[7], puis le développement des *TICE* (Technologies de l'Information et de la Communication Éducatives), l'instrumentation au lycée s'est renouvelée. Les programmes actuels de l'école élémentaire (*Découverte du monde* au cycle 2, *Sciences et Technologie* au cycle 3), et ceux des différentes disciplines scientifiques expérimentales au collège et au lycée, valorisent les pratiques expérimentales. Mais les contenus théoriques deviennent souvent pléthoriques, par exemple en *Sciences de la Vie et de la Terre* au lycée, et se prêtent mal à l'expérimentation, tandis que les activités scientifiques et techniques à l'école primaire connaissent toujours des difficultés : l'opération *Main à la pâte*, soutenue par plusieurs scientifiques, se présente, d'ailleurs, comme une promotion des sciences pour les plus jeunes.

Le contexte de recherche didactique a changé également. En France, les travaux des années soixante-dix et du début des années quatre-vingts ont bénéficié de l'évolution du contexte de l'enseignement de la biologie d'après 1968, et d'une demande de rénovation et d'innovation. En 1969, est créée la section *sciences* à l'*Institut Pédagogique Nationale*, animée par V. Host. Quelques années après, l'ouverture d'un *DEA de didactique* à l'Université Paris VII contribuait à l'impulsion des recherches en didactique des sciences. L'expérimental représenta alors un champ important d'investigation didactique, sur des problématiques diversifiées : autour de questions de démarches et de raisonnement pour Cauzinille-Marmèche, Giordan, Mathieu et Weil-Barais (1983)[8], avec plutôt une centration sur des questions d'apprentissage et de compétences à développer, pour les équipes INRP coordonnées par Host, puis par Astolfi (1985)[9]. Mon mémoire de DEA (texte 46) concernait d'ailleurs la démarche expérimentale et le statut de l'hypothèse. Les premières *Journées sur l'Éducation*

[6] RUMELHARD, G. (1995). De la biologie contemporaine à son enseignement. In M. Develay (dir.), *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines.* Paris : ESF. 317-337.

[7] BEAUFILS, D., SALAME,N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ? *Aster*, 8 : 55-80.

[8] CAUZINILLE-MARMECHE, E., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.

[9] ASTOLFI, J.-P. (dir.) (1985). Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. Paris : INRP, collection Rapports de recherches, 3.

Scientifique de Chamonix (1979)[10] furent consacrées aux démarches scientifiques expérimentales. Un petit livre collectif, destiné à la formation, présenta alors une réflexion de synthèse (1984)[11]. D'autres recherches ont été ensuite effectuées : thèse de S. Johsua (1985)[12] sur le statut de l'expérimental dans l'enseignement de la physique, travaux de M.-G. Séré sur les Travaux Pratiques et sur la mesure dans l'enseignement de la physique[13], thèse de B. Darley (1992)[14] sur l'enseignement de la démarche expérimentale dans les TP de biologie à l'Université. La recherche associative INRP/LIREST sur la modélisation coordonnée par J.-L. Martinand (1992,1994)[15], et la recherche IUFM/INRP, coordonnée par C. Larcher (1995-1998)[16]., et pour laquelle j'ai animé une équipe[17] (texte 5, texte 39), concernent le registre empirique et son articulation avec le registre théorique.

Le cadre théorique des recherches didactiques relatives à l'expérimental, en France, a donc largement évolué. Les pratiques expérimentales en classe doivent, en effet, permettre de proposer un ensemble de dispositifs pour développer des savoir-faire, pour familiariser avec des phénomènes et des objets scientifiques, pour enrichir les situations concrètes de référence et pour permettre de construire progressivement l'abstraction.

Recherches sur le laboratoire scolaire

R. Lazarowitz et P. Tamir (1994) ont effectué une revue de questions relatives au laboratoire scolaire, à travers les revues de sciences de l'éducation anglophones, de 1954 à 1990. "*Perhaps no other area in science education has attracted so many research*

---

[10] *Les démarches scientifiques expérimentales. Théorie et Pratique*. J.I.E.S.1 Chamonix. CNRS, INRP, Université de Haute-Normandie. 1979

[11] 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.

[12] JOHSUA, S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique*. Thèse d'état. Aix-Marseille 1.

[13] SÉRÉ, M.-G. (1992). Le déterminisme et le hasard dans la tête des élèves. Ou : de l'utilité du traitement statistique des mesures. *BUP*, 740 : 87-96.

[14] DARLEY B. (1992). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux de biologie à l'Université. Analyse et propositions*. Thèse de doctorat : Université Grenoble 1.

[15] MARTINAND J.L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
MARTINAND, J.L. (dir.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences.* Paris : INRP.

[16] *L'expérimental dans la classe*, recherche IUFM/INRP coordonnée par C. Larcher (1995-1998).

[17] L'équipe "*L'expérimental en biologie*", IUFM Rouen/INRP: Maryline Coquidé (coord.), Patricia Victor, MCF biologie, Jean-Marc Lange et Isabelle Martinet, PRAG SVT à l'IUFM de Rouen, Roland Flageul à l'IUFM de Chartres, Dominique Galiana, Béatrice Desbeaux-Salviat, Nicolas Salviat et Yves Lecasse, professeurs SVT du secondaire, Hélène Canu et Jacques Marie, enseignants du primaire.
En relation avec cette recherche, Béatrice Desbeaux-Salviat et Dominique Galiana ont soutenu une thèse de didactique à l'Université Paris-Sud, et Jean-Marc Lange prépare une thèse à l'ENS Cachan (*Analyse des difficultés liées aux statuts et rôles des mathématiques, dans leur relation avec l'expérimentation dans la recherche en biologie, et avec les pratiques expérimentales dans l'enseignement de cette discipline en collège et lycée. Propositions didactiques pour y remédier).*
DESBEAUX-SALVIAT, B. (1997). *Un modèle biologique, le cycle de Krebs : découverte, diffusion, enseignement à l'université et au lycée*. Thèse de doctorat. Université Paris-Sud.
GALIANA, D. (1999b). *Problèmes didactiques posés par l'enseignement expérimental de la biologie dans les classes scientifiques des lycées. Cas de la photosynthèse*. Thèse de doctorat. Université Paris-Sud.

reviews as learning, teaching, and assessment in the laboratory", constatent-ils[18]. Les différents pays ne retiennent cependant pas les mêmes questions de recherche : ainsi la question de l'évaluation des pratiques expérimentales apparaît importante au Royaume-Uni et en Israël, tandis qu'elle est rarement abordée aux Etats-Unis.

Dans cette synthèse, ils font émerger deux problèmes essentiels abordés dans la littérature anglophone : celui des finalités des activités scolaires menées en salle spécialisée et en "*laboratoire*", et celui des facteurs qui facilitent le succès des apprentissages dans ce contexte (avec les questions relatives au curriculum, celles concernant les ressources pédagogiques et didactiques, celles de l'environnement d'apprentissage et de l'efficacité de l'enseignement, ou bien encore celles de stratégies d'évaluation des élèves).

Postures et questions de recherche : les objectifs poursuivis en TP

Différents critères d'analyse des recherches (extrait du texte 26)

Les résumés de "*fiches de lecture",* établies en utilisant la grille descriptive INRP, permettent d'illustrer la diversité des recherches pour un même champ d'étude (les travaux pratiques) : diversité des problèmes de l'enseignement qui motivent la recherche, diversité des objets de recherche, des méthodologies et des concepts didactiques utilisés (ou non). Les produits de la recherche sont également variés : production d'outil d'analyse (Millar), production de faits d'enquête (Jenkins), proposition de protocole pour des activités pratiques (Darley), synthèse critique argumentée par un ensemble d'études (White). Pour permettre de mieux comparer les recherches et établir des éléments pour caractériser les postures épistémologiques des chercheurs, il est nécessaire de ne sélectionner que quelques critères d'analyse des recherches.

Deux points de vue privilégiés
Plusieurs points de vue, en relation avec différentes finalités envisagées de l'enseignement, interviennent dans les problématiques des recherches en didactique (…).
Un premier point de vue, analytique et souvent polémique, s'attache à établir des analyses critiques concernant les contenus ou les situations d'enseignement et d'apprentissage. Dans le cas des recherches relatées ci-dessus, ce point de vue concerne les publications de Jenkins et White, et une partie de celles de Darley et Millar. Mais, pour ces deux dernières, un second point de vue s'articule avec le premier, qui se donne pour perspective l'intervention didactique validée. Il s'agit de contribuer à rendre l'enseignement plus efficace par rapport à des finalités, mais qui doivent être explicitées. Avec ce point de vue, la didactique utilise des concepts et des outils (qui proviennent des travaux du premier point de vue ou qui sont empruntés à d'autres champs disciplinaires) et propose des démarches, c'est pourquoi ce point de vue peut être dénommé technique et propositionnel (…).

Trois registres
Les recherches peuvent également être analysées en fonction des registres de questionnement : registre épistémologique, registre psychologique et registre pédagogique (Martinand, 1986). En didactique, le registre épistémologique est celui d'une épistémologie scolaire qui, bien que fortement influencée par l'épistémologie " classique " (Bachelard, Canguilhem), ne peut strictement s'y restreindre. Une

[18] LAZAROWITZ, R. & TAMIR, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. D. L. GABEL (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York : Macmillan Publishing Company. 94-128.

problématique réellement didactique inclut fréquemment d'autres questions, par exemple sociologiques. Dans l'exemple des quatre publications décrites ci-dessus, on peut dire que le registre de questionnement de l'article de Jenkins et de celui de White est essentiellement pédagogique, tandis que l'article de Darley articule deux registres (épistémologique et pédagogique) et que la problématique de Millar articule les trois registres de questionnement.

Deux dimensions

Avec un point de vue à la fois scientifique et technique de la recherche didactique, Jean-Louis Martinand considère deux visées fondamentales qui sous-tendent la recherche didactique : celle de production de connaissance et celle d'aide pour permettre la décision. La spécificité didactique, implique par ailleurs, une posture de recherche particulière : celle de responsabilité par rapport aux contenus d'enseignement. Deux dimensions d'analyse sont ainsi avancées pour contribuer à la mise en débat de l'orientation et du statut des recherches concernant l'éducation : une dimension *connaissance / décision* et une dimension *contenus / procédés*. Les recherches se répartissent ainsi dans différents secteurs, illustrant les relations qui peuvent s'établir entre Didactique de discipline, Sciences de l'Education et ingéniérie pédagogique. (…) En ce qui concerne les quatre publications, retenues en exemple d'analyse, on peut envisager que celles de Darley et de Millar, visant à une intervention didactique validée, se répartissent à la fois sur les secteurs A et B, tandis que l'article de Jenkins et celui de White, qui n'envisagent pas un questionnement de recherche relatif à un contenu disciplinaire spécifique, se situeraient plutôt dans le secteur D.

La didactique des sciences francophone se donne comme fonction de faire des recherches sur l'enseignement et les apprentissages, avec des *points de vue soit critique soit prospectif*, des *visées soit de connaissance, soit d'intervention*, et une *finalité de responsabilité par rapport aux contenus d'enseignement.* J.-L. Martinand (1987)[19] caractérise cette spécificité didactique et la prise en compte de cette finalité, par la nécessaire articulation de trois registres : *registre épistémologique, registre psychologique et registre pédagogique*.

Les recherches effectuées sont en relation avec les finalités de l'enseignement et des apprentissages scientifiques. Pour certains, les différentes finalités repérées sont conflictuelles, pour d'autres elles peuvent se compléter, tout en argumentant de la nécessité d'une clarification et de tolérance. Dans un texte, rédigé en commun avec C. Vander Borght (texte 16), nous avons tenté de relier les finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie à un certain nombre de recherches réalisées.

Articulation entre des finalités et des problématiques de recherches en didactique (extrait texte 16)

Finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie

C'est à partir de "discours affichés" d'enseignement et de vulgarisation (orientation de programmes, réflexions sur l'enseignement et sur la formation,...) que nous avons identifié différentes finalités d'enseignement-apprentissage de la biologie, mais il y a aussi les discours implicites ou volontairement masqués :

· finalités utilitaires, centrées sur l'acquisition de comportements observables,

[19] MARTINAND, J.-L. (1987). Quelques remarques sur les didactiques des disciplines. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*. Caen, CERSE. 1.2, 23-35.

4. finalités démocratiques, basées sur l'exercice d'une rationalité critique et le développement de compétences,
· finalités éthiques, axées sur l'engagement au service de valeurs.

Dans la vulgarisation scientifique, des finalités esthétiques apparaissent aussi fréquemment (Raichvarg, 1993). D'autres finalités, telle "la science pour la science", peuvent apparaître dans les discours et l'enseignement ; nous n'avons pas trouvé de recherches en didactique les retenant.

Nous pensons qu'il est important de clarifier ces finalités, sur un exemple, car elles influenceront la façon de poser les questions de recherche. Ainsi, quand on aborde la question de la culture des cellules *in vitro* au lycée, les discours peuvent présenter différentes finalités.

· finalités démocratiques : par exemple lorsque les auteurs mettent en avant, pour l'enseignement, la culture *in vitro* comme une pratique sociale de référence ; une question de recherche en didactique pourrait être "comment utiliser la PSR de la culture *in vitro*, en situation de classe, pour favoriser la conceptualisation de la différenciation cellulaire des organismes vivants ?"
· finalités utilitaires : par exemple aborder l'apprentissage de la culture *in vitro* comme celui d'un ensemble de procédures normatives ; une question de recherche en didactique pourrait être "quels référentiels construire pour valider une formation de technicien horticole ?"
· finalités éthiques : par exemple lorsque les auteurs abordent, dans leur questionnement relatif à l'enseignement ou à la formation, les enjeux de la culture *in vitro.*

Il peut, cependant, y avoir une distorsion entre un affichage de finalités et les questions de recherche effectives. Par exemple, lorsqu'on met en avant un questionnement éthique relatif à l'éducation à l'environnement et que la recherche porte essentiellement sur des contenus écologiques.

Les finalités ne sont cependant pas toujours explicitées dans les recherches et il faut se méfier des interprétations. Il nous apparaît, cependant, que les différentes études présentées ci-dessous, à titre d'exemple, développent des problématiques contrastées que l'on pourrait mettre en relation avec leurs finalités.

Finalités utilitaires : Une finalité de l'enseignement de la biologie de type utilitaire doit se donner des priorités. Elle peut, par exemple, ne s'intéresser qu'à la dimension d'utilité sociale de savoirs comme, par exemple, l'apprentissage de règles d'hygiène. Dans le domaine de la formation professionnelle - des professions agricoles, de la biotechnologie ou des professions de la Santé, par exemple - elle ne s'intéresse qu'à l'acquisition de comportements. Les recherches en didactique en relation avec cette finalité d'enseignement se donnent alors comme priorité de remédier aux difficultés ou d'améliorer le rendement par l'*efficacité de l'enseignement ou de la formation.* Les finalités utilitaires et plus largement toutes finalités opératoires sont fréquemment mises en avant dans la formation professionnelle (Bazile, 1994).

Finalités démocratiques : Une autre finalité de l'enseignement de la biologie relie culture scientifique et citoyenneté. Elle se trouve, par exemple, dans la construction attentive de la rationalité du futur citoyen et dans l'exercice de son esprit critique : il s'agit de faire en sorte qu'enseigner des savoirs biologiques ne revienne pas à inculquer une croyance. La recherche en didactique en relation avec cette finalité se donne alors comme priorité la valeur de vérité (Rumelhard, 1992) et la *scientificité des savoirs scolaires.* Il peut également s'agir de développer des compétences - relatives par exemple à la socialisation, à l'autonomie et à la responsabilité. La recherche en didactique relative à cette finalité se donne alors comme priorité de favoriser l'*éducation* : l'éducation scientifique, et certains points de vue *(*mais pas tous, certaines finalités pouvant être utilitaires selon le contexte social...) dans l'éducation à la santé ou l'éducation à l'environnement.

Finalités éthiques : Lorsque l'on aborde l'enseignement/apprentissage de la biologie, on ne peut esquiver les problèmes éthiques. Dans cette perspective, la recherche en didactique se tourne alors vers l'*explicitation des valeurs* (Mathy, 1997).

Visées des recherches en didactique de la biologie

Remarquons que les recherches développées autour de différentes finalités présentent des points de vue différents :

- une perspective analytique et critique,
- une perspective technique et propositionnelle.

Visée analytique et critique de la recherche en didactique : Cette perspective polémique se caractérise par la vigilance, Il s'agit de décrire, d'analyser, afin d'éviter tout dogmatisme dans l'enseignement de la biologie.

Visée technique et propositionnelle de la recherche en didactique: À cette première finalité de recherches en didactique, s'articule, ou non, une perspective d'intervention didactique argumentée. Il s'agit de connaître pour aider à prendre des décisions : pour mettre en place des situations d'apprentissage ou pour argumenter lors du renouvellement d'un curriculum, par exemple.

Finalités et problématiques des recherches en didactique de la biologie

Finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie	**Problématiques des recherches**
Utilitaires	Efficacité de l'enseignement ou de la formation
Démocratiques	Scientificité des savoirs scolaires Éducation
Éthiques	Explicitation des valeurs

Visées de la recherche en didactique	**Problématiques**
Analytique et critique	Éviter tout dogmatisme
Technique et propositionnelle	Connaître pour aider à prendre des décisions.

En analysant (texte 26) les textes consacrés à l'enseignement-apprentissage de la biologie, publiés pendant 5 ans dans les revues francophones *Aster*, *Didaskalia* et la revue anglophone *IJSE* (*International Journal of Science Education*), j'ai montré que des différences se dégageaient dans les visées, dans le questionnement et les méthodologies envisagées. Selon les visées et les types de recherche entreprises, on pouvait envisager différentes postures dans les recherches en didactique : posture "*chercheur-formateur*", posture "*chercheur style didactique*", posture "*chercheur style sciences de l'éducation*", posture "*chercheur style sciences humaines et sociales*", posture "*chercheur-innovateur*… Par ailleurs, la posture anglo-saxone apparaît le plus souvent comme celle d'une psychopédagogie expérimentale, tandis qu'on peut caractériser une posture française dans la didactique de la biologie, par l'importance

qu'elle donne aux références théoriques de nature épistémologique (références à Bachelard et encore plus à Canguilhem. Ces différences peuvent être rapportées à l'histoire du système éducatif, à l'organisation de la recherche et aux contextes économiques, culturels et sociaux qui varient selon les pays. Ainsi, les travaux anglo-saxons consacrés à l'investigation des élèves, présentent une posture de recherche le plus souvent sociologique (par exemple l'impact de l'introduction du module *SCI* dans le curriculum national), ou psychopédagogique (avec des études menées sur les "*abilities*").

Les questions relatives aux objectifs poursuivis dans les travaux pratiques constituent un important champ d'investigation et de réflexion. Ainsi, le groupe du projet européen *Lavwork in Science Education* a effectué une enquête sur les fonctions des TP en se référant à une "*carte d'analyse*", carte destinée à envisager les résultats espérés et les objectifs d'apprentissage d'une part, à caractériser la tâche des élèves et son contexte, d'autre part (Séré et *al.*, 1998)[20].

Dans la revue de questions qu'ils ont effectuée, les Israéliens Lazarowitz et Tamir (1994) sont conduits à proposer 4 groupes dans les finalités poursuivies :

- *"Science laboratories should provide concrete experiences and ways to help students confront their misconceptions.*
- *Science laboratories should provide opportunities for data manipulation through the use of microcomputers.*
- *Science laboratories should provide opportunities for developping skills in logical thinking and organization, especially with respect to science, technology, and society (STS) issues.*
- *Science laboratories should provide opportunities for buiding values, especially as they relate to the nature of science."*[21]

Les Anglais Nott et Wellington (1996)[22], de leur côté, envisagent une dizaine d'objectifs possibles pour les travaux pratiques, objectifs que l'on pourrait regrouper en quatre grandes catégories :

- ceux relatifs à la motivation et à la stimulation de l'intérêt des élèves,
- ceux qui sont en rapport avec l'apprentissage de techniques et de savoir-faire,
- ceux qui accompagnent l'apprentissage de connaissances scientifiques
- ceux qui facilitent la compréhension de la nature de la science.

---

[20] SÉRÉ, M.G. (coord.) et *al.* (1998). Quelques résultats des enquêtes réalisées en Europe à propos des Travaux Pratiques. *Labwork in Science Education*, Document 11. Commission Européenne.

[21] Op. cit. p. 97-98. "*Le laboratoire peut procurer des expériences concrètes et aider les élèves à confronter leurs conceptions erronées. Le laboratoire peut représenter des opportunités pour le recueil et l'utilisation de données en ayant recours aux ordinateurs. Le laboratoire peut représenter des opportunités pour le développement de raisonnement logique et pour approcher l'organisation de la science,en relation avec les interactions science, technologie et société. Le laboratoire peut représenter des opportunités pour construire des valeurs, en particulier celles en relation avec la nature de la science*".

[22] NOTT, M., WELLINGTON, J. (1996), When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.*, 7 : 807-818.

En Angleterre, les modèles de pratiques expérimentales couramment utilisés par les enseignants mettent essentiellement en avant les "*habiletés*" des élèves, relatives à des processus tels qu'observer, formuler des hypothèses, contrôler des variables, et ceci indépendamment du contenu scientifique et du contexte. Or, conteste R. Millar (1996)[23], la réussite des élèves à des tâches d'investigation scientifique requiert un spectre de compréhension très large : la compréhension du problème et des buts de l'investigation, la compréhension des connaissances conceptuelles mises en jeu et des techniques d'investigation, la compréhension des méthodes scientifiques et de l'incertitude pour apprécier la qualité des résultats... Il considère qu'une analyse des pratiques expérimentales, fondée sur les connaissances et sur le cadre d'investigation choisi par les élèves, est plus claire que celle fondée sur les "*habiletés*". Ce cadre d'analyse le rapproche des problématiques de recherche didactique francophone et a, par exemple, été repris par l'équipe de l'IUFM de Bordeaux (Schneeberger coord., 1998)[24].

Comme le souligne White (1996)[25], il n'y a donc pas de consensus sur les objectifs poursuivis par les TP. L'enquête, coordonnée par M.-G. Séré (1998)[26] au niveau européen, témoigne de cette difficulté d'accord sur les objectifs à assigner aux travaux pratiques au lycée et dans les premiers cycles universitaires, et rend compte d'un déficit global d'évaluation des pratiques.

Des interrogations

J'ai argumenté (texte 23) que, sous prétexte de simplification, la présentation des expériences dans les manuels scolaires restait le plus souvent dogmatique. Ainsi, la plupart des expériences de physiologie animale sont présentées tronquées, sans référence à des variations éventuelles, et sans précision sur le "*modèle d'étude*". Pour éviter d'expérimenter sur l'homme, le biologiste, utilise, en effet, des *modèles biologiques*. Le choix du modèle dépend de facteurs à la fois négatifs (disponibilité et accessibilité des animaux, prix de revient…), et positifs (caractéristiques biologiques comme petite taille, succession rapide des générations par exemple). J.-M. Legay (1997) souligne que la plus grande partie de nos connaissances biologiques "*ont été acquises sur une poignée d'espèces*"[27]. Or les manuels ne présentent jamais ces précautions méthodologiques. Ils n'informent jamais sur les caractéristiques des résultats expérimentaux fournis. Par exemple, concernent-ils l'individu ou l'espèce ?

Par ailleurs, les Instructions Officielles françaises recommandent, comme méthode de construction de savoirs, de mettre en œuvre un "*enseignement par problèmes*", dans lequel s'inscrit le recours à l'expérimental. Cependant Ph. Brunet (1996)[28], dans son

---

[23] MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9 : 9-30.

[24] SCHNEEBERGER, P. (coord.) (1998). *La pratique expérimentale en classe : une étude de cas en 1^e S.* Rapport final de recherche IUFM Bordeaux/INRP. Document interne INRP.

[25] *Op. cit.*

[26] *Op. cit.*

[27] LEGAY J.M. (1997). *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode.* Paris : INRA éditions, p. 37.

[28] BRUNET, P. (1996). *Le statut de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie.* DEA tutoré par M. Coquidé. ENS Cachan.

mémoire de DEA que j'ai tutoré, a analysé que, dans le cas de l'étude de la respiration, l'enseignement par problèmes présenté dans les manuels de lycée apparaissait, le plus souvent, comme un artifice, avec une problématique trop générale ou qui se réduisait à une série de questions sans grand intérêt heuristique. En fait, les savoirs scolaires envisagés dans les programmes ne sont pas en relation avec de réels problèmes scientifiques et fonctionnent comme des savoirs que Ch. Orange (1997)[29] qualifie d'"*opérants extrinsèques*".

La polysémie du mot "*expérience*"[30], comme je l'ai déjà abordé, entretient, en outre, une confusion. Veut-on désigner *l'experientia*, c'est-à-dire le sens commun de l'épreuve, de l'expérience acquise, de la pratique et du tâtonnement empirique, ou bien l'*experimentum* du scientifique, c'est-à-dire le recours à une démarche planifiée, contrôler un phénomène pour l'étudier, ou mettre au point un protocole dans une démarche de validation de modèle théorique ? S'agit-il de multiplier des références empiriques ou d'envisager un rôle de démonstration dans une construction intellectuelle ? Les discours d'enseignants (texte 17) et d'animateurs scientifiques (texte 37, texte 20) que j'ai analysés font souvent part d'un amalgame d'objectifs sous le même terme d'"*expérimenter*". Il n'est pas bien clarifié si ce sont le développement de compétences méthodologiques ou la participation à la construction de connaissances biologiques qui sont visées.

Contraintes financières et matérielles

En France, les dépenses d'éducation sont financées par l'État, les collectivités locales, certaines administrations, les entreprises, les ménages. La question des moyens a toujours été particulièrement importante, s'agissant de sciences expérimentales. Elle conditionne la qualité et même, à la limite, l'existence de ce type d'enseignement, avec les questions d'équipements, de maintenance et de fonctionnement. Aussi, la retrouve-t-on évoquée, discutée, dans de nombreux textes à caractère politique et réglementaire, pédagogique et didactique. Mais, pour le Politique, les enjeux ne sont sans doute pas que financiers, mais aussi d'ordre social, or un curriculum plus ouvert, ou une priorité accordée à l'expérimentation, autorisent une dimension plus critique et créatrice dans l'enseignement. Les décisions administratives à ce sujet, comme par exemple la création en classe de Première S de l'*option sciences expérimentales* en 1992, puis sa suppression programmée pour 2000, sont consécutives à la mise en tension de rapports de force entre groupes de pression opposés[31].

Contraintes de temps et d'espace

En situation scolaire, les activités expérimentales ne sont pas sans poser des difficultés particulières. En effet, les activités expérimentales sur le vivant posent des problèmes didactiques spécifiques, et il peut apparaître difficile de prendre en compte la complexité, la diversité et la variabilité du vivant dans un contexte scolaire, avec des locaux restreints et un emploi du temps imposé et figé.

[29] ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
[30] Voir aussi REY, A. (1992). *Dictionnaire historique de la langue française*. Paris : Le Robert.
[31] Voir aussi l'entrée de l'initiation expérimentale dans les collèges, après 1968.

Contraintes éthiques et sécuritaires
Concernant les sciences du vivant, les pratiques expérimentales imposent, de plus, le respect de contraintes éthiques et sécuritaires. Il n'est plus envisageable de pratiquer la vivisection, de sacrifier grenouilles ou lapins à des fins expérimentales en classe (mais les végétaux ou les blattes posent moins de problèmes éthiques !). Il n'est pas envisageable, non plus, de prélever ou de faire manipuler quelques gouttes de sang humain ou de la salive, les risques sanitaires sont trop élevés !

Si les retombées éducatives apparaissent très aléatoires, on comprend que des responsables de politique éducative se posent des questions. Ne suffirait-il pas d'exposer des résultats ou de ne proposer aux élèves qu'un traitement de données déjà élaborées ?

1.2. Approche historique en France

Analyse de textes officiels
D. Galiana (1999)[32], collaborant avec l'équipe de recherche de l'IUFM de Rouen (texte 39), a analysé les recommandations officielles relatives à l'enseignement de l'histoire puis des sciences naturelles, puis de la biologie, puis des SVT. Si l'aspect "*expérimental*" de l'enseignement est constamment affirmé, dans les textes officiels français de 1850 à 1997, les fonctions et les mises en œuvre envisagées de "*l'expérience*" en classe apparaissent très variées : démonstration ou pratique expérimentale, par l'enseignant ou par l'élève, dans le déroulement du cours ou pendant des travaux pratiques... Elles dépendent d'un contexte historique très évolutif de l'enseignement des sciences : évolution qui concerne aussi bien les contenus enseignés que les méthodes pédagogiques préconisées.

Si les modifications dans les fonctions attribuées aux laboratoires scolaires ont été conduites par des changements dans la philosophie des sciences ou dans les psychologies de l'apprentissage, elles peuvent également dépendre des représentations et des finalités attribuées à l'enseignement des sciences. L'analyse historique de Belhoste (1994)[33] précise que les desseins assignés aux laboratoires ont d'abord été en relation avec des décisions de politique éducative générale, en particulier le rôle attribué à l'enseignement des sciences dans la formation intellectuelle, et la prise en compte ou non des applications pratiques et des points de vue industriels. Des politiques éducatives ont ainsi pu favoriser précocement l'équipement de cabinets de physique et de laboratoires de chimie (dès 1821), mais l'expérimentation se réduisait à une description d'appareils par le professeur, prise en dictée par les élèves.

[32] GALIANA, D. (1999). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *Aster*, 28 : 9-32.
[33] BELHOSTE, B. (1994). *Les sciences dans l'enseignement secondaire français. Textes officiels*. Tome 1. 1789-1914. Paris : INRP/Economica.

Les recommandations officielles ne représentent cependant qu'un aspect des sources historiques, de plus leurs applications n'étant pas toujours effectives, elles ne permettent pas de connaître l'état réel des pratiques scolaires. Par exemple, si les *Travaux Pratiques*, créés par les programmes de 1902, sont rendus obligatoires en 1905, ils restent inexistants dans la plupart des collèges et même dans quelques lycées en 1910 (Paucot, 1961)[34].

Analyse de manuels scolaires

Dans son analyse des mises en texte et des mises en scène des expériences relatives à la photosynthèse, dans les manuels scolaires édités entre 1850 et 1996, Galiana, montre une évolution des fonctions didactiques et pédagogiques de l'expérience. Pourtant, on constate des permanences. Ainsi, la "*mise en évidence*" de la photosynthèse apparaît continuellement importante, avec des manifestations visibles comme les dégagements de dioxygène ou le recours à des réactions colorées, jusqu'à l'utilisation de l'ordinateur qui permet de suivre l'évolution immédiate des phénomènes grâce à des inscriptions. En outre, la présentation d'expériences, relatives au dégagement d'un gaz par des feuilles vertes placées dans de l'eau, à la lumière, apparaît constante sur plus d'un siècle. L'instrumentation est évolutive, depuis le comptage des bulles jusqu'à l'utilisation de l'ExAO, mais toutes ces expériences dérivent de la manipulation historique de Bonnet. La simplicité (apparente) de mise en œuvre, son statut d'*expérience d'illustration*, ou d'*expérience prototypique* dans une *monstration*, caractérisée par Johsua (1989) par la désignation d'un objet d'étude et la présentation directe de sa phénoménologie, court-circuitant ainsi *"le trou béant entre le phénomène et son interprétation*"[35], pourraient expliquer ce succès.

Étude de matériel destiné à l'enseignement des sciences naturelles

Le *Musée National de l'Éducation de Rouen* conserve, dans ses archives, plusieurs catalogues de matériel scientifique scolaire. Bien qu'incomplet, ce corpus représente une précieuse source historique, encore peu exploitée.

Jusqu'à la seconde guerre, les catalogues destinés aux sciences naturelles ne proposent que du matériel d'observation et de dissection, ou bien destiné au rangement des collections : une attestation que les sciences relatives à la connaissance du vivant, dans les établissements scolaires, demeuraient essentiellement des sciences d'observation. Au lycée, des démonstrations expérimentales de physiologie étaient cependant réalisées, mais aucun matériel spécifique n'était proposé dans les catalogues de sciences naturelles. L'instrumentation et le matériel nécessaires n'apparaissent que dans les catalogues de physique (chariot inducteur de Du Bois-Reymond, etc…), et de chimie (verrerie, produits chimiques divers, etc…). La plupart représentent des maisons de matériel scientifique, telle Boubée (fondée en 1845), Emile Deyrolle ou la Société Centrale de Produits Chimiques, qui développent également un marché scolaire. La maison Auzoux est spécialisée en anatomie et histologie. Provis et Jeulin (1924)

[34] PAUCOT, R. (1961). *Bulletin de l'Union des Naturalistes*, 1.
[35] JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8 : 29-54.

mettent en avant que "*les articles figurant sur notre catalogue ne sont pas seulement des objets de démonstration mais d'excellents instruments fonctionnant parfaitement*", tandis que la maison Pierron, met l'accent sur une posture que l'on peut qualifier de plus "pédagogique". Créée par un instituteur retraité en 1871, puis développée par son fils chimiste, elle développe une politique d'adaptation de matériel scientifique destiné au scolaire. Par ailleurs certains éditeurs, dont Hachette et Delagrave présentent, dans leurs catalogues scolaires, des collections ou des boîtes scientifiques garnies (compendium).

La pratique expérimentale, en sciences naturelles, va rapidement se développer à partir des années 1950, sous l'impulsion de l'Inspection Générale, en particulier de l'Inspecteur Obré. Plusieurs dotations d'office d'équipement, donc sans choix possible pour les enseignants, sont effectuées dans les lycées, entre 1940 et 1980. Mais les budgets de laboratoire scolaire sont loin d'être négligeables, et les catalogues de matériel destiné au laboratoire scolaire s'épaississent. Tous proposent, dorénavant, une section spécifique *physiologie*. Après 1981, suite à la loi Deferre et la régionalisation, les régions investissent massivement dans les lycées, en particulier en finançant l'acquisition de matériel important, tel les ordinateurs. Cette fois-ci, c'est le rôle des Inspecteurs Pédagogiques Régionaux qui peut contribuer à la différenciation des investissements selon les régions. Les dotations d'office d'établissement disparaissant, une liberté de l'équipe éducative dans le choix du matériel se développe, et la concurrence entre les diverses maisons s'intensifie. Les catalogues deviennent plus luxueux, le nombre des maisons représentées par contre diminue, et peu à peu s'installent des positions de quasi-monopole.

Une *histoire des laboratoires scolaires* n'a jamais été entreprise en France. Une telle étude intéresserait grandement le didacticien des sciences. Elle pourrait, en particulier, contribuer à l'analyse des contraintes et des mises en œuvre des activités pratiques dans l'enseignement. Une étude historique du matériel scientifique destiné au scolaire, telle celle coordonnée par C. Balpe (1999)[36] pour l'enseignement de la physique, serait également très pertinente dans le cas de l'enseignement des sciences naturelles et de la biologie. Elle pourrait inclure l'analyse des contraintes, liées à l'utilisation de matériel scientifique par des scolaires, et celle des adaptations ou des créations didactiques.

1.3. Conceptions des enseignants

Activités pratiques ou pratiques expérimentales ?
(extrait du texte 15)

Pour contribuer à connaître les conceptions des instituteurs et des étudiants professeurs des écoles, il nous a semblé intéressant de connaître leurs souvenirs relatifs aux pratiques expérimentales "vécues" au cours de leur scolarité en biologie. À partir de ce qu'ils évoquent, d'appréhender ce qu'ils conçoivent dans "pratiques expérimentales" en classe. D'analyser leurs conceptions sur les pratiques

[36] Séminaire sur l'histoire de l'expérimentation scolaire. INRP, octobre 1999.

expérimentales des scientifiques biologistes. De préciser leurs conceptions sur les fonctions de l'expérimentation. (…) Un questionnaire a été proposé au début d'une action de formation consacrée aux pratiques expérimentales, auprès de 201 stagiaires des IUFM de Rouen et de Chartres. (…) L'analyse montre une confusion entre activité pratique et pratique expérimentale. En effet, pour une très grande majorité d'étudiants ou de stagiaires, la pratique expérimentale vécue est associée à :

- une dissection (166 sur 201),
- une observation (25) ou l'utilisation d'outils pour observer (12),
- une culture (22),
- une sortie (20),
- un élevage (19).

L'observation au sens large semble donc être privilégiée. Les actions, les manipulations sur les êtres vivants sont aussi des idées très présentes, il faut aller voir, disséquer. Peut-être retrouvons-nous là l'idée de mise en évidence, la dissection, l'ouverture d'un animal portant à notre connaissance son organisation interne.

Conceptions sur les fonctions de l'expérience

Les conceptions des enseignants sur les fonctions de l'expérience en classe apparaissent *hétérogènes*. L'enquête, effectuée avec R. Flageul (texte 15), montre que les discours des instituteurs et des professeurs des écoles mettent en avant l'importance de l'"*expérience*" en classe, mais ce terme recouvre tout un ensemble de pratiques. Le plus souvent, ce sont l'ensemble des activités pratiques qui sont désignées par ce mot : activités concrètes ou de manipulation, mais encore activités d'exploration ou d'observation, et aussi réelles expérimentations. Pour le second degré, M. Saint Georges (1998)[37] a analysé que les conceptions de PLC2 physique-chimie (professeur des collèges et des lycées stagiaire 2e année) font essentiellement référence à une démarche scientifique reconstruite : des conceptions à rapprocher de celles d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre que j'ai analysées par ailleurs (texte 17).

Si les conceptions relatives à l'expérience des enseignants du premier degré, instituteurs et professeurs des écoles, semblent représenter plutôt *l'experientia* (texte 8, texte 15), celles des professeurs du second degré se situent essentiellement sur l'*experimentum* (texte 17). En proposant un ensemble de situations pour développer des savoir-faire, pour familiariser avec des objets techniques et des phénomènes biologiques, pour enrichir les situations concrètes de référence et pour permettre de construire progressivement l'abstraction, les activités en classe peuvent, en fait, permettre *l'articulation de l'expérienciel et de l'expérimental*.

Conceptions épistémiques

Dans l'enquête (texte 15) sur les conceptions de démarche scientifique et sur l'expérimental, que nous avons menée auprès d'enseignants du primaire, l'idée d'expérimenter pour "*mettre en évidence*" est très présente. Il s'agit essentiellement de montrer par des réactifs la nature d'un produit, d'identifier un objet ou un phénomène. L'aspect collectif du travail scientifique expérimental, tel que *convaincre*, *argumenter*, ou

[37] SAINT GEORGES, M. (1998). *La pratique expérimentale en classe : le point de vue des enseignants*. Document interne INRP.

communiquer, n'est, par contre, jamais exprimé. Par ailleurs, les préoccupations "*pratiques*" qui apparaissent toujours majoritaires dans les réponses nous ont semblé représenter un obstacle important dans la conception de ce que peut être une expérimentation. Cela peut signifier une réduction à la manipulation, et masquer les rôles du raisonnement et de la créativité, essentiels dans l'activité scientifique.

Par ailleurs, une analyse plus approfondie des corrélations dans les réponses met en évidence un noyau central commun (comprenant plus du tiers des réponses) et deux pôles opposés :

- un pôle qui concerne le raisonnement, la construction intellectuelle (les indices négatifs),
- un autre pôle qui relève du concret, du réel (les indices positifs).

Nous avons interprété cette bipolarisation comme le reflet de *conceptions duelles*, fondées sur des oppositions (induction – déduction, concret – abstrait…), et nous avons envisagé qu'elles pouvaient constituer des *représentations-obstacles* lors d'une formation professionnelle.

Plusieurs autres études, concernant les conceptions des enseignants ou futurs enseignants, sur la science, ont été faites, essentiellement auprès de professeurs du second degré, et certains auteurs envisagent une "*épistémologie spontanée*" (Désautels et Larochelle, 1993 ; Orlandi, 1991)[38]. Peut-être convient-il de réserver une certaine prudence face à de telles conclusions ? Comment, en effet, valider le fait que les diverses conceptions, exprimées dans diverses situations d'enquêtes, soient assez stables et, surtout, soient assez structurées pour constituer une "*théorie*", consciente ou non ? En fait, il semble bien que les conceptions des enseignants, sur la science, apparaissent comme versatiles, et profondément hétérogènes (Guilbert et Meloche,1993)[39]. Pour qualifier celles-ci, je préférerais donc utiliser l'adjectif de conceptions *épistémiques* plutôt que celui d'épistémologie spontanée.

En SVT, un souci de rigueur de raisonnement et d'initiation à une démarche expérimentale apparaît constamment, aussi bien dans les Instructions Officielles, que dans le discours des enseignants, mais des conceptions épistémiques teintées de positivisme, influencent les démarches pédagogiques (Orlandi, 1991)[40]. L'étude réalisée par Nott et Wellington (1996)[41] souligne, par ailleurs, que les conceptions des enseignants biologistes diffèrent de celles des physiciens par leur *inductivisme* prédominant. Ces considérations sur le fréquent recours à l'induction simple peuvent cependant être

---

[38] DESAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster*, 17 : 13-39. Paris : INRP.
ORLANDI, E., (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13 : 111-132.

[39] GUILBERT, L., MELOCHE,D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? *Didaskalia*, 2 : 7-30.

[40] *Op. cit.*

[41] NOTT, M., WELLINGTON, J. (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.*, 7 : 807-818.

contredites par l'étude de Bomchil et Darley (1998)[42]. Ils objectent, en effet, que les contraintes institutionnelles conduisent, en fait, à un enseignement de biologie de type logico-dogmatique, fondé sur la déduction avec permutation de la mineure et de la majeure dans le raisonnement. Un *principe d'économie didactique* semble en effet inverser, par un jeu rhétorique le fonctionnement normal du syllogisme. Pour le professeur lui-même, *"Je vois que"* fonctionne comme la mineure d'un raisonnement dont la majeure est le savoir qu'il maîtrise (l'expérience étant pour lui illustrative de la notion). Mais lors de sa mise en scène didactique, *"Je vois que"* devient la majeure, l'expérience soigneusement choisie devenant l'argument d'un savoir qu'il s'agit de faire acquérir en donnant le sentiment de la preuve. À une "*induction molle*" qui ne prouverait rien, fait place une "*déduction dure*", qui ne prouve pas davantage mais en possède mieux les apparences.

Déficit de formation des enseignants de SVT

À l'exception notable de ceux qui ont pratiqué dans un laboratoire de recherche, la plupart des étudiants de biologie sont confrontés, lors de leurs études universitaires, à des enseignements qui ne leur font guère rencontrer les processus de construction d'un savoir, ni participer, même comme spectateurs, à aucune controverse. L'absence de *dimension épistémologique*[43], dans la formation initiale et continue des enseignants de SVT, fait que des auteurs classiques tels Popper et Kuhn, Canguilhem et Bachelard, Mayr et Jacob restent quasi inconnus des professeurs. Seul, Claude Bernard est parfois cité, mais de façon très caricaturale. Je développerai, dans la partie 3 de ce mémoire, de l'intérêt de l'utilisation de l'histoire des sciences pour contribuer à cette formation (voir aussi texte 7, texte 32).

Il est possible, par ailleurs, que les enseignants rencontrent des difficultés à adopter un modèle constructiviste de l'apprentissage, non seulement en termes d'activité de l'apprenant (où *constructivisme* s'oppose à *transmissif*), mais aussi en termes de vision du savoir (où *constructivisme* s'oppose plutôt à *inductivisme*), le "*savoir*" étant davantage conçu en termes de produit stabilisé que comme processus évolutif.

---

[42] BOMCHIL, S., DARLEY, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, 26 : 85-108.

[43] Consulter, par exemple :

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1 : 49-68.

GAGNÉ, B. (1994). Autour de l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences. *Didaskalia*, 3 : 61-78.

LAKIN,S., WELLINGTON,J. (1994). Qui enseignera l'épistémologie des sciences ? Conceptions d'enseignants et conséquences pour l'enseignement des sciences. *Aster*,19 : 175-194.

ROBARDET, G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse, Université Grenoble.

DARLEY, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia*, 9 : 31-56.

1.4. Quel "état des lieux" ?

Comment, finalement, connaître de façon objective le curriculum réel ? Comment contribuer à un "état des lieux" des pratiques expérimentales en classe ? Apprécier ce qui se passe réellement dans les classes se heurte à de nombreuses difficultés : obstacles institutionnels, méfiance des enseignants... On peut néanmoins enquêter, sur les pratiques expérimentales en classe, indirectement, par des questionnaires ou par des entretiens avec des enseignants et des étudiants. On peut également avoir recours à l'analyse de cahiers d'élèves, ou de cahiers de préparation au lycée.

Enquêtes par questionnaires
Dans l'enquête (texte 8), menée auprès d'instituteurs stagiaires sur la perception de leurs pratiques, on relevait que si tous affirmaient proposer des activités scientifiques, plusieurs contradictions apparaissaient dans leurs réponses. Ainsi, si "observer", "expérimenter" et "poser des questions" arrivaient en tête dans le classement des objectifs prioritaires des activités scientifiques, les supports majoritairement cités, pour ces mêmes activités, étaient "les livres" et "la presse". Par rapport à ces contradictions apparentes, nous émettions l'hypothèse que ces enseignants avaient bien modélisé une pratique d'activités scientifiques, mais qu'il existait un décalage entre les activités qu'ils souhaitaient mettre en place et la réalité de la classe.

Une autre enquête, réalisée plus récemment (texte 15), et relative aux "souvenirs" des professeurs des écoles concernant les pratiques expérimentales vécues au cours de leur scolarité de biologie, confirme la confusion fréquente entre expérience et activité, en particulier activité d'observation. Parmi les objets biologiques qui suscitent spontanément un souvenir d'investigation en classe, certains sont très majoritairement cités : les graines à l'école primaire, les aliments (à analyser) et les pelotes de rejection (à disséquer) au collège, les végétaux verts (pour la photosynthèse) et la grenouille décérébrée au lycée.

Dans les manuels scolaires (Galiana, 1999), et dans le souvenir des étudiants (texte 15), il semble bien qu'il n'y ait que quelques "*expériences*" et quelques objets biologiques "*prototypiques*", apparaissant comme "*paradigmes*" de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie, et qui constituent un référent empirique partagé. La *pauvreté de ces références empiriques* conduit à s'interroger sur la contribution des TP à la compréhension du vivant, dans sa complexité, sa diversité et sa variabilité.

Enquêtes par entretiens
Les entretiens, menés par l'équipe de Rouen (texte 39), auprès de professeurs de SVT enseignant dans l'option sciences expérimentales de Première S devaient, de leur côté, permettre de saisir la représentation qu'a l'enseignant des pratiques expérimentales, articulées avec le contexte expérienciel de celles vécues dans l'option Il ne s'agissait pas, en effet, de faire seulement décrire mais de "faire parler sur".

Les entretiens montrent que les fonctions des pratiques expérimentales ne sont pas toujours bien distinguées.

Difficultés des enseignants dans la mise en œuvre de pratiques expérimentales (extrait du texte 17)

Les propos des enseignants témoignent d'un bilan mitigé, d'une tendance à l'abandon du choix de cette option par les élèves. L'intérêt de l'option elle-même n'est nullement en cause, ce sont les difficultés dans sa mise en œuvre qui sont rapportées. Aux obstacles matériels et institutionnels s'ajoutent le déficit de référent empirique des élèves, leur manque d'autonomie et l'absence d'aides pédagogiques pour l'enseignant. Globalement, on assiste de plus en plus à une dérive de l'option vers des activités de soutien ou de pratiques uniquement documentaires, d'autant que les compétences travaillées au cours de l'option ne sont pas retenues pour les validations et les examens. (…) Les propos de plusieurs enseignants reflètent, en outre de conceptions maximalistes sur l'intérêt didactique des activités expérimentales dans l'enseignement de la biologie : participer, à chaque fois et en même temps, à une élaboration théorique et à une validation empirique, avec peu de place attribuée à l'exploration. Nous avons montré que ces difficultés pouvaient provenir :

- de la confusion des contrôles pédagogiques d'une situation d'investigation et d'une situation d'élaboration théorique,
- d'un déficit de situation de familiarisation pratique.

White (1996), en reprenant des catégories d'objectifs définis en Angleterre dans les années soixante (savoir-faire, concepts, habiletés manuelles, compréhension de la nature des sciences et attitudes), soulignait qu'une des difficultés principales des professeurs concernant les pratiques expérimentales était qu'ils avaient à poursuivre tous ces desseins à la fois. Si, dans les séquences de classe, les modes didactiques ne sont pas bien clarifiés, il y a confusion dans le contrôle pédagogique. Il est nécessaire de faire des choix. C'est dans cet esprit, que Jean-Pierre Astolfi (1991), avec l'exemple de la géologie à l'école élémentaire, propose différentes logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences. Dans l'exemple retenu, les séquences pouvaient être commandées par l'exploitation d'une situation, par l'acquisition d'un savoir, par la maîtrise d'une méthode ou bien par le franchissement d'un obstacle.

Cette étude (texte 17), articulée avec celle réalisée par une équipe INRP/TECNE sur l'évaluation des activités scientifiques des instruments informatisés en physique[44], pointe donc des possibilités d'*incohérences internes ou externes dans le curriculum*, et à différents niveaux (texte 5, texte 27) :

- provenant des Groupes Techniques Disciplinaires et des Inspections Générales de l'Éducation Nationale, et relatives aux déficits de validation de l'option ;
- provenant de l'enseignant, en rapport avec la cohérence que celui-ci met (ou ne met pas) dans la construction du "*milieu*" didactique, et dans les choix alternatifs de ses modes d'intervention pédagogique.

[44] BEAUFILS, D. (coord.) (1998). Évaluation des activités scientifiques des instruments informatisés dans l'enseignement des sciences physiques au lycée. Document interne INRP.

Analyse de cahiers de laboratoire

Une analyse des cahiers de laboratoire d'un lycée, document sur lequel les professeurs recensent les besoins de matériel pour des travaux d'élèves en groupe, complétée de l'explicitation de ces demandes par les enseignants, peut contribuer à objectiver des pratiques locales. L'étude (texte 39), réalisée par B. Desbeaux-Salviat (1997)[45], illustre la part restreinte des pratiques expérimentales effectives par les lycéens en SVT :

- 15 à 25 % des séances de TP/TD de terminale S et de première L comportent une activité expérimentale,
- 40 à 55 % des séances de seconde,
- 55 à 65 % des classes de première S.

Seules, les séances de l'option sciences expérimentales de Première S mettent en œuvre une importante manipulation concrète de la part des élèves (70 à 95 % des séances). Cette étude rend également compte du fait que, dans le lycée étudié, c'est bien plus les *contenus de programme* que les particularités individuelles des professeurs qui influencent la quantité de pratique expérimentale dans la classe. Si certains thèmes du programme semblent favoriser des activités expérimentales concrètes (étude du métabolisme au sens large), d'autres permettent d'exploiter des résultats expérimentaux non recueillis par les élèves (reproduction, fonctionnement d'un système de régulation...), d'autres enfin favorisent des études de documents (histoire et évolution des êtres vivants).

1.5. Questionner l'évolution des activités expérimentales scolaires

Relisons un extrait de l'avant-propos du livre de D. Pol (1994), *Travaux Pratiques de biologie*. Cet ouvrage, bien documenté et qui présente de multiples protocoles expérimentaux, est très populaire auprès des professeurs de SVT.

> *"L'idée de ce manuel part d'un constat qui paraîtra sans doute évident à tout le monde : la biologie est une science expérimentale. À ce titre, on voit mal comment elle pourrait être enseignée, mais aussi et surtout comprise sans le recours à l'expérimentation. (…) Bien que les séances de travaux pratiques au cours desquelles les élèves se doivent d'observer, de manipuler, d'expérimenter et de rédiger un compte rendu constituent une sorte d'"ardente obligation" pour tout professeur de Biologie-Géologie, un certain nombre de dérives contredisant cet objectif peuvent être observées : le contact direct avec l'expérimentation est parfois remplacé par divers substituts audiovisuels, par des polycopiés ou, plus simplement par un cours magistral. (…) Bien sûr, le professeur fait souvent des démonstrations et des expériences sur sa propre paillasse, dans ce cas, il y a bien recours à l'expérimentation de la part de l'enseignant mais, l'élève lui-même, principal intéressé n'y participe pas activement. (…) Il ne s'agit pas, ici, de nier l'apport des techniques audiovisuelles à l'enseignement de la biologie,*

[45] DESBEAUX-SALVIAT, B. (1997). *Un modèle biochimique, le cycle de Krebs : découverte, diffusion, enseignement à l'université et au lycée*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud.

mais elles ne remplaceront jamais le contact direct avec le vécu et elles ne pourront jamais se substituer à l'apprentissage sur le tas des techniques expérimentales, des savoir-faire et des raisonnements qui leur sont intimement liés. (…) L'expérimentation permet en effet un "aller-retour" entre l'activité manuelle et l'activité intellectuelle et est, de ce fait, d'une valeur unique pour les élèves dont nous avons la responsabilité. (…) Enfin, récemment, l'introduction de l'ordinateur, couplé à une interface d'acquisition de données, dans les laboratoires de Biologie-Géologie des lycées a multiplié les possibilités d'expérimentation et a rendu possibles des manipulations autrefois difficiles à réaliser tout en gagnant du temps et en épargnant des tâches monotones comme la saisie de données expérimentales."[46]

Ce texte suscite un questionnement multiple.

Quelle "évidence" ?
Il peut, en effet, sembler "*évident*" que les apprentissages scolaires relatifs à la biologie, "*science expérimentale*", s'appuient sur des activités expérimentales. "*Activité*" répondrait aux besoins de "*mise en action*" de tout le courant d'éducation nouvelle, et serait éclairée, sous certaines conditions, par la psychologie cognitive, tandis qu'"*expérimentale*" se fonderait sur l'indispensable élaboration de validité des savoirs scientifiques, et sur la contribution à la construction d'une rationalité. Cette "*évidence*" ne serait-elle pas, en fait, elle aussi à construire ?

Quelles conceptions sur le vivant développées ?
Actuellement, l'expérimental dans l'enseignement des sciences de la vie se restreint de plus en plus à l'école primaire et au collège, et apparaît essentiellement comme l'expérimental de la chimie du vivant au lycée. Quelles conceptions sur le vivant développe-t-on alors chez les élèves par une telle approche ? Quelles situations et quels dispositifs proposer pour permettre une approche du vivant dans sa complexité, dans sa diversité et dans sa variabilité ?

Quel rapport à l'instrumentation ? Quel rapport à l'écrit ?
L'instrumentation des laboratoires scolaires des lycées s'est renouvelée cette dernière décennie, en particulier par l'introduction de l'ordinateur. Mais d'autres instruments, plus "classiques" sont toujours utilisés : instruments d'aide à l'observation (microscope et loupe), instruments de mesure (thermomètre, diverses balances…), par exemple. Les activités expérimentales dans les sciences de la vie sollicitent, par ailleurs, de multiples compétences pratiques, issues souvent de la chimie (prélèvement de gaz, dosage de divers liquides, analyse chimique…). Les activités favorisent, en outre, le recueil de données expérimentales sous des formes graphiques, et aisément manipulables. Elles nécessitent également que les élèves réalisent plusieurs écrits : brouillons et comptes rendus, individuels ou collectifs. Comment s'établissent alors les rapports aux instruments et les rapports à l'écrit dans une relation expérimentale au vivant ?

[46] POL, D. (1994). *Travaux Pratiques de biologie*. Avant-propos. Paris : Bordas.

Quelle "discipline scolaire" ?
Contrairement à l'ambiguïté de la première phrase du texte, la biologie, comme enseignement, doit fondamentalement être distinguée de la biologie comme discipline de recherche. Dans le cadre d'une *discipline scolaire*, il est indispensable de se poser les questions des finalités de l'enseignement et des apprentissages, du choix des contenus, et des références des savoirs et des activités. Les disciplines scolaires ne sont jamais une simple réduction de disciplines académiques. Pour permettre la description de cette construction disciplinaire. M. Develay (1992)[47] a emprunté à Kuhn le terme de "*matrice disciplinaire*". Se définissant par des objets et par des tâches, et par des connaissances déclaratives et procédurales, la matrice disciplinaire donne *cohérence* à une discipline scolaire et représente son principe *d'intelligibilité*. D'autres questions spécifiques sont alors à poser. Par exemple, en ce qui concerne le rapport expérimental au vivant, quelles peuvent être ses fonctions et ses formes, scolaires ou non scolaires ?

Quelle légitimité et quelles références ?
Les savoirs à instituer et les activités scolaires posent, en fait, deux questions essentielles : celle de leur *légitimité* et celle de leurs *références* (Martinand, 1986 ; Johsua, 1998)[48]. En quoi, dans notre société actuelle, est-il important d'initier un apprentissage biologique à l'école fondamentale, ou de faire construire des savoirs et une compréhension du vivant au lycée ? Quels sens les apprenants accordent-ils à ce qu'ils font dans un enseignement de biologie ? Quels sont les éléments de référence affichés par l'école pour légitimer et pour donner du sens à ces savoirs ? Il n'est pas question, bien sûr, d'embrasser l'ensemble de cette vaste problématique, mais une interrogation relative au rapport expérimental au vivant en classe peut contribuer à nourrir la réflexion.

Interrogation épistémologique, psychologique et axiologique
Si, d'un point de vue épistémologique, les références se situent dans les pratiques scientifiques actuelles, rappelons que l'approche analytique et expérimentale ne représente qu'une investigation des sciences biologiques parmi d'autres : les démarches d'observation et d'enquête ne pouvant être oubliées, tandis que la modélisation, et les approches systémiques prennent de plus en plus d'importance (Legay, 1997)[49]. En outre, *les pratiques sociales*, comme la cuisine et le jardinage, l'agriculture et l'élevage, les industries alimentaires, le sport et l'hygiène, peuvent représenter d'autres éléments de référence.

D'un point de vue psychologique, et en accord avec les théories d'apprentissage socio-constructiviste actuelles, des manipulations, individuelles ou en groupe, qui s'articulent sur du "réel", peuvent contribuer à l'élaboration d'un registre empirique et favoriser les apprentissages pratiques (texte 21). Mais il apparaît également indispensable de tenter de clarifier les finalités éducatives (texte 16, texte 14, texte 50) d'un recours à

[47] DEVELAY M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris : ESF.
[48] MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
JOHSUA, S. (1998). Des "savoirs" et de leur étude : vers un cadre de réflexion pour l'approche didactique. *Année de la Recherche en Sciences de l'Education*, (pp. 79-87). Paris : PUF.
[49] LEGAY, J.-M. (1997). *L'expérience et le modèle*. Paris : INRA Editions.

l'expérimental, et *les valeurs, implicites ou explicites*, véhiculées. En quoi, par exemple, la construction d'un rapport expérimental permet-il le développement du respect du vivant, ou, au contraire, sa déconsidération ?

Quand on envisage l'apprentissage d'un concept ou d'un modèle biologique, par exemple le concept de croissance ou la modélisation du cycle de Krebs (texte 18, texte 19), sur quelle référence expérimentale, réelle ou évoquée, sur quels savoirs empiriques et de leurs pratiques associées, désignés par Martinand (1986)[50] comme constituant le "*référent empirique*" va-t-on le fonder ? Si les activités expérimentales sont abordées comme constituant, pour l'élève, un élément de référence pour la construction de ses savoirs, un important problème *d'épistémologie scolaire* sera de déterminer l'importance relative et l'articulation des deux pôles, empiriques et théoriques.

Nécessité d'un détour

Les multiples questions, suscitées par la lecture d'un simple avant-propos de manuel, destiné aux enseignants pour la pratique expérimentale dans les classes, justifient la nécessité d'un *détour* pour éclairer le rapport expérimental au vivant dans les apprentissages. Ce détour sera tout d'abord historique et épistémologique : pour analyser le contexte et les enjeux de la construction d'un tel rapport, pour comprendre ce qui est nécessaire pour aborder une phénoménologie, pour justifier les apports de l'empirisme, et pour illustrer les limites morales, matérielles et logiques de l'expérimentation du vivant.

[50] *Op. cit.*

2E PARTIE

PRATIQUES SCIENTIFIQUES EXPÉRIMENTALES DU VIVANT

"Des deux côtés il y a des expériences, des deux côtés il y a des expérimentateurs" déclarait Pasteur lors de sa conférence à la Sorbonne sur les générations spontanées, en avril 1864. Dans la controverse sur l'origine des microorganismes qui les oppose, c'est bien avec des arguments expérimentaux que Pasteur et Pouchet veulent convaincre la communauté scientifique, et au-delà le grand public, du bien-fondé de leurs théories respectives. Mais chacun fait jouer un rôle différent aux expériences entreprises : au programme de recherches de preuves expérimentales de Pouchet sur la possibilité de génération spontanée s'oppose le programme rival de Pasteur de recherche d'expériences réfutant cette possibilité (textes 3, 6, 9, 19, 45).

Chacun, en outre, cherche à expliquer le vivant, à comprendre et à préserver ses manifestations originales par rapport à la "matière brute", mais par des voies différentes. Les travaux de cristallographie de Pasteur l'ont conduit à reconnaître la dissymétrie de structure des acides organiques, et, montrant l'importance de cette dissymétrie pour les organismes, il fonde une *chimie biologique*. De son côté Pouchet, médecin et naturaliste, présente des conceptions emplies de vitalisme, et il se refuse à employer les méthodes "barbares" physico-chimiques pour approcher ce phénomène, si complexe et si fragile, qui semble caractériser "la vie". S'il recherche, par voie expérimentale, les conditions de possibilité d'*hétérogénie*, c'est-à-dire de production, spontanée et actuelle, d'œufs de micro-organismes à partir d'une matière organique, il s'interroge aussi sur les conditions historiques dans les origines du vivant. Une problématique qui sera reprise, mais reformulée, au début du XXe siècle dans l'approche expérimentale des possibilités d'origine abiotique du vivant.

Les sciences biologiques sont-elles à spécifier, ou vont-elles rejoindre, après un intermède de deux siècles, le rameau de la "Physique" ou de la "Physiologie naturelle" dont elles sont issues ? Quelles sont les hypothèses théoriques et les méthodologies qui les fondent ? Quelles sont les formes et les fonctions d'un rapport expérimental au vivant ? Quelles sont les conditions de la construction d'un tel rapport ? Dans quel contexte historique et culturel cette construction a-t-elle pu émerger ? Quelles sont les limites théoriques, éthiques et pratiques de l'expérimentation du vivant ? Si les pratiques scientifiques expérimentales représentent une pratique de référence pour le scolaire, il apparaît indispensable de clarifier ces questions.

2.1. Une ou des sciences biologiques ?

L'approche naturaliste (extrait du texte 23)

La systématique, la paléontologie et l'écologie tentent de comprendre la spécificité et la variabilité, elles font souvent appel au classement et à la statistique. L'approche naturaliste se caractérise par "*un principe de narrativité*" qui peut apparaître comme moins scientifique face à la recherche de "*loi déterministe*". C'est pourtant en raisonnant en naturaliste, en voulant comprendre l'histoire singulière de chaque grain de maïs que Barbara MacClintock a mis en évidence les éléments transposables dans la régulation des génomes.

"*Tel un pendule, la pensée biologique oscille sans cesse entre l'unité du vivant dans sa substance et dans son fonctionnement, et la multiplicité des formes et des manifestations"*, écrivais-je en 1996 (texte 23). Étudiant les difficultés des manuels scolaires à articuler ces deux approches, j'observais une présentation essentiellement fondée sur l'unité du vivant, ou bien parfois une juxtaposition de l'unité et de la diversité du vivant, sans essai de mise en relation. Si une nouvelle version était à réécrire, je compléterais "*la pensée biologique*" avec "*et les méthodes d'investigation*".

"Bicéphalie" de la théorie biologique contemporaine

La présentation de l'analyse historique et épistémologique de la structuration de la biologie (texte 40), pour une formation de formateurs des IUFM, fut l'occasion de débattre des fondements de la biologie contemporaine : éclatée en de multiples disciplines plus spécialisées, mais se fondant sur une théorie unifiée des vivants qui repose sur deux hypothèses.

En effet, c'est à la suite de questions relatives à l'inventaire du monde vivant, et de problème de classification, qu'un domaine d'investigation ne concernant que les vivants a été envisagé. La "*biologie*", mot introduit en 1802 conjointement par le vitaliste Treviranus en Allemagne et par le matérialiste Lamarck en France, se présente comme une théorie unifiée des êtres vivants. Pour J. Gayon (1993)[1], cette double introduction témoigne que, dès son origine, l'unité fondamentale des processus physiologiques de la vie repose sur deux hypothèses :

· une unité généalogique,
5. une unité physiologique.

Mais c'est tout d'abord à une "*naissance avortée*" que l'on assiste, analyse de son côté R. Rey (1994)[2]. L'introduction de la "*biologie*" perturbe, certes, les classifications des sciences antérieures, mais n'aboutit pas immédiatement à sa reconnaissance comme une discipline. Dans la première moitié du XIXe siècle, persiste une confusion entre "*biologie*" et "*physiologie*", et c'est comme "*partie de la physiologie*" en même temps que "*nouvelle définition de la cellule*" quelle est définie dans le dictionnaire de

[1] GAYON, J. (1993). La biologie entre loi et histoire. *Philosophie*, 38, pp. 30-57. Paris : Editions de Minuit.
[2] REY, R. (1994). Naissance de la biologie et redistribution des savoirs. *Revue de Synthèse*, IV, n°1-2. Paris : Albin Michel.

médecine de Littré et Robin (1845). L'émergence d'une science biologique, analyse encore R. Rey, fut un long travail d'élaboration, qui s'est appuyé sur des philosophies et des conceptions de la nature et de la vie qui ont évolué. Elle a été produite historiquement par tout un ensemble matériel et intellectuel, dont l'invention de méthodes expérimentales spécifiques, le développement de la théorie cellulaire, une problématique transformiste et un point de vue physiologique.

Actuellement, la théorie biologique apparaît profondément "*bicéphale*", selon l'expression de J. Gayon[3]. L'unité des phénomènes vitaux, en effet, apparaît conjointement en biologie moléculaire, avec l'unité matérielle des structures et des processus physico-chimiques du vivant, et dans la théorie de l'évolution. "*La biologie forme un tout",* argumente le paléontologue S. J. Gould (1987)[4], et "*il faut marier styles distincts de l'histoire naturelle et des expériences menées par les réductionnistes*". Tandis que, pour le biologiste évolutionniste E. Mayr (1982)[5], "*la biologie n'est pas homogène*", mais "*biologie évolutionniste et biologie fonctionnaliste ne s'excluent pas*" et "*en dépit d'une apparence d'émiettement continu, il y a à présent en biologie une unité bien plus grande que dans les siècles précédents*". Les éthologistes, qui tentent d'articuler approche naturaliste et approche expérimentale pour la compréhension des comportements animaux, sont conduits à développer un questionnement multiple. "*Huxley se plaît à parler des trois problèmes majeurs en biologie : ceux de la cause, de la valeur sélective et de l'évolution*" commentait N. Tinbergen (1963)[6]. "*Je tiens à y ajouter une quatrième",* continuait-il, *"celui de l'ontogénie. À l'évidence, les domaines couverts par ces questions sont distincts, (…) mais j'insiste sur le fait qu'une éthologie compréhensible et cohérente doit accorder une égale attention à chacun d'entre eux et à leur intégration*". En éthologie, comme dans toutes les branches de la biologie, se pose le problème de l'intégration des points de vue ontogénétiques, causaux, fonctionnels et phylogénétiques. Les deux approches, fonctionnelles et évolutives, apparaissent complémentaires, et beaucoup de biologistes moléculaires étudient maintenant des questions relatives à l'évolution, tandis que de nombreux biologistes évolutionnistes s'intéressent désormais à des problèmes moléculaires.

Ne nous leurrons pas cependant : chaque spécialiste considère souvent que son domaine de recherche est le plus intéressant et qu'on y développe les meilleures méthodes… Convaincre d'une "hiérarchie" dans les domaines et les approches d'investigation représente un enjeu de "pouvoir" du point de vue politique scientifique, avec non seulement la reconnaissance, mais aussi crédits et éventuels postes pour élargir la recherche à la clef. Pasteur l'avait d'ailleurs bien compris et il sut magistralement en jouer. Mais, regrette E. Mayr, il en résulte souvent un "*esprit de clocher*" et du "*chauvinisme*". Ainsi, des ouvrages se présentant comme "*biologie générale*" n'abordent, de fait, que la biologie physiologique, ou bien d'autres encore ignorent la

[3] *Op. cit.*
[4] GOULD, S. J. (1987). *Un hérisson dans la tempête*. Traduction 1994. Paris : Grasset.
[5] MAYR, E. (1982). *Histoire de la biologie*. Diversité, évolution et hérédité. Traduction 1989. Paris : Fayard.
[6] TINBERGEN, N. (1963). On aims and methods of Ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20. Cité dans FILLOUX, J.-C. & MAISONNEUVE, J. (dir.) (1993). *Anthologie des Sciences de l'Homme.* Paris : Dunod. Tome 2, p. 326.

contribution de la systématique ou de la paléontologie dans l'émergence de la théorie synthétique de l'évolution, et l'attribuent entièrement à la génétique[7]. Toute biologie véritable nécessite aussi d'articuler point de vue mécaniste et point de vue téléologique. *"Dans cette science, l'existence et le développement même des organismes vivants nous apparaissent comme manifestation des possibilités de cette nature à laquelle nous appartenons, et non comme résultats d'expériences que nous puissions faire nous mêmes",* commentait le physicien N. Bohr[8]. *"En fait, nous devons reconnaître que les conditions d'une description objective sont remplies (…) par la manière typiquement complémentaire dont en biologie l'on se sert, d'une part d'arguments fondés sur toutes les ressources de la physique et de la chimie et, d'autre part, de concepts qui, transcendant la portée de ces sciences, se réfèrent directement à l'intégrité de l'organisme".*

Au niveau scolaire, les difficultés à l'établissement d'une relation dialogique entre point de vue fonctionnel et point de vue évolutif restent escamotées (texte 23). Les programmes actuels de SVT, par une approche analytique de biologie cellulaire et moléculaire, mettent essentiellement l'accent sur l'unité du vivant, tandis que l'approche naturaliste, la systématique, la paléontologie et l'anatomie comparée ont quasiment disparu. Point de vue fonctionnel et point de vue évolutionniste ne sont, par ailleurs, que très rarement articulés. Ainsi l'enseignement du cycle de Krebs valorise nécessairement un point de vue fonctionnel, énergétique et métabolique, mais ni les limites de cette modélisation, ni les hypothèses, relatives à la signification évolutive de l'importance de ce processus physico-chimique dans tout le monde vivant aérobie, ne sont abordées (texte 19).

Différentes approches

Comme dans la plupart des sciences durant le XXe siècle, les savoirs biologiques se sont multipliés et émiettés entre de multiples disciplines, plus spécialisées dans leur approche : approche naturaliste (zoologie, botanique), approche analytique (génétique, physiologie, biologie moléculaire...), approche systémique (écologie...). Les approches naturalistes, analytiques, systémiques et historiques se complètent, et les différentes branches de la biologie développent des méthodologies et utilisent des techniques d'investigation différentes, chacune ajustée à un niveau d'organisation du vivant.

Dans de nombreuses recherches contemporaines, c'est cependant l'organisation de la matière vivante, plus que l'organisme, qui est devenu le principal objet d'investigation. S'interrogeant sur les molécules de l'organisme, sur leurs modifications, leurs interactions et même sur leur histoire évolutive, c'est à une véritable "*biologie des molécules*", selon l'expression de Mayr (1982), qu'on s'intéresse essentiellement. Par ailleurs, les relations entre la biologie, la biologie humaine, la médecine et les

[7] *Op. cit*. p.28.

[8] Niels BOHR. *Physique atomique et connaissance humaine*. Ed. Gonthier. Extrait dans *De Montaigne à Louis de Broglie*. Textes philosophiques réunis par BRUNOLD, Ch. & JACOB, J. (1965). Paris : Belin, p. 203.

biotechnologies, se complexifient. Comme le rapporte F. Gros (1999)[9], des projets, tel celui du décryptage des gènes humains, animaux et végétaux, aux enjeux financiers colossaux, nécessitant le développement d'une multitude de micro expérimentations, et la concentration d'importants effectifs de chercheurs, relèvent dorénavant de ce que l'on peut qualifier d'une "*Big Science*".

Si la biologie est une *science de laboratoire*, c'est aussi une *science de terrain*. Le terrain mobilise autant d'invention et d'instruments sophistiqués que le laboratoire expérimental mais il ne permet pas une mise sous contrôle systématique des phénomènes, et de *"dispositifs expérimentaux au sens galiléen"*, explique I. Stengers (1993)[10]. Au laboratoire, le biologiste invente des dispositifs qui doivent engager le pouvoir de *juger*. Sur le terrain, le scientifique n'est pas un juge mais un enquêteur, qui rassemble des *indices,* pour mettre à l'épreuve de la réalité les élaborations théoriques qu'il invente.

L'expérimentation ne représente donc qu'une approche parmi d'autres en biologie. D'autres méthodes, comme l'observation et la comparaison, le classement, les enquêtes statistiques, la recherche de corrélations et la modélisation, sont fréquemment utilisées, à des degrés divers, suivant le type de questionnement développé et le niveau d'investigation du vivant concerné. Mais est-il possible d'apprécier le recours à l'expérimentation dans la connaissance du vivant ? En particulier, quelle en est la validité, d'un point de vue logique et d'un point de vue épistémologique ? Et quelles en ont été les conditions d'émergence ?

2.2. Expérience et raison

Le mot "*expérience*", constamment présent dès le début du XVIIe siècle dès qu'il s'agit d'activité scientifique, reste imprécis, et l'ambiguïté de ce mot prête à tous les contresens. C'est ainsi que Pouchet (texte 3), au milieu du XIXe siècle, utilise "*expérience*" pour désigner le recours à une coloration vitale favorisant une observation microscopique. Mais c'est aussi ce terme qu'il emploie, pour décrire une expérimentation, relative à la résistance des Tardigrades à la dessiccation, avec séparation et contrôle strict de facteurs. Pour Pouchet, l'expérience semble recouvrir toute intervention humaine dans le déroulement d'un phénomène.

Si "*expérience*" date du XIIIe siècle, "*expérimenter*" du XIVe siècle, et "*expérimental*" de 1503, précise C. Salomon-Bayet (1978)[11], l'expression "*méthode expérimentale*", de son côté, est plus tardive, et date de 1785. Le milieu du XIXe siècle verra naître les mots "*expérimentation*" (1834), et "*expérimentateur*" (1845), dans un contexte professionnel et universitaire. "*Groupés*", commente l'auteur, *"ces termes désignent un*

[9] "La France veut combler son retard dans les sciences du vivant". BURSAUX, E., Article *Le Monde* daté du 9 juillet 1999.
[10] STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Pari s : La Découverte. p.158
[11] SALOMON-BAYET, C. (1978). *L'Institution de la science et l'expérience du vivant*. Paris : Flammarion.

fait comportant à la fois une signification, et une intention (l'expérience), caractérisent un acte orienté (expérimenter) et qualifient une attitude et un résultat (expérimental). Les deux derniers déterminant ensemble et l'un par l'autre, un rapport heuristique et démonstratif en même temps que l'espace dans lequel ce seul rapport peut s'établir professionnellement : le laboratoire. Alors, et alors seulement peut se constituer une "méthode expérimentale", après ce qu'elle commente et ailleurs"[12].

Rôle heuristique et fonction de démonstration, laboratoire, institutionnalisation et professionnalisation : voilà mis en place les principaux indicateurs épistémiques de fondation de sciences expérimentales, apparaissant sous différentes formes selon les domaines d'études et selon les pays[13], tout au long du XVIIe siècle.

2.2.1. Inférences et raisonnements

Du côté de l'Histoire

"*Dans le monde vivant comme ailleurs, il s'agit toujours d'"expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple*"[14]. Cette expression de J. Perrin, reprise par F. Jacob (1970)[15], décrit le projet légaliste ou modélisant des sciences modernes : projet dont nous discuterons plus loin des limites pour la biologie.

Analogie

"Méditer sur l'invisible à partir du visible" : telles sont les perspectives de l'analogie. Dans l'Antiquité, les "*expériences*" sont fondées sur un recours analogique à l'expérience commune. C'est, par exemple, par analogie du mouvement de l'air dans une clepsydre, qu'Empédocle explique le mécanisme de la respiration par la peau, relate M. Grmek (1997)[16], tandis que le développement de l'embryon est assimilé à la cuisson d'un pain. Les défauts logiques de validation par analogie, et de toute expérimentation telle qu'elle fut pratiquée pendant l'Antiquité, condamnèrent ce procédé, face à la rationalité des systèmes philosophiques de Platon et d'Aristote.

Déduction

Dans la scolastique, les "*expériences*" aristotéliciennes, qui représentent l'ensemble de faits particuliers provenant des perceptions naturelles, sont utilisées comme des postulats, dans un raisonnement déductif. Roger Bacon (1214-1292), refusant de suivre Aristote et plaçant l'expérience au-dessus de tout, fut l'un des premiers à secouer le joug de la scolastique. La validité et l'objectivité de ces "*faits*" postulats seront, plus tard, de plus en plus critiquées. "*Les savants, classe d'hommes crédules et indolents*", s'insurge Francis Bacon (1620), "*ils ont prêté l'oreille trop aisément à de simples ouï-*

[12] *Op. cit*. p. 398.
[13] En particulier en France et en Angleterre. *Les Cahiers de Science e t Vie* n°45 (1998), 1000 ans de Sciences III, XVIIe siècle.
[14] *Op. cit*. p. 24.
[15] JACOB, F. (1970). *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*. Paris : Gallimard (réed. 1983)
[16] GRMEK, M. (1997). *Le chaudron de Médée. L'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité*. Paris : Les Empêcheurs de penser en rond.

dire d'expérience, et n'ont pas craint d'employer de tels matériaux, soit pour établir, soit pour confirmer leur philosophie, donnant à ces relations si incertaines le poids d'un valide témoignage"[17]. La trop grande crédulité des "savants" quant à la véracité de "faits rapportés", alimentera toute une littérature ironique, au XVIIIe siècle et bien plus tard, de l'histoire de "*La dent d'Or*" de Fontenelle[18], à celle des "*Feux Follets*" commentée par Bachelard (1938)[19] ! "*Assurons-nous du fait avant de nous inquiéter de la cause*", écrit Fontenelle.

Induction

L'"*expérience*", pour F. Bacon, se réfère à la fois au rassemblement de faits provenant de la perception et à la production contrôlée d'un phénomène, tout en donnant une préférence à l'intervention. Il s'agit de "*torturer la nature*" et de la "*mettre à la question*", car "*la nature se décèle mieux par les tourments que l'art lui fait subir que lorsqu'elle est abandonnée à elle-même et laissée dans toute sa liberté*"[20].

L'expérience baconienne ne représente plus un postulat. Elle a un rôle de conjecture dans un raisonnement ayant recours à l'induction, pour passer du particulier au général, du singulier à l'universel. Mais ce n'est pas à une induction simple que se réfère Bacon : "*L'induction dont parlent les dialecticiens, et qui procède par voie de simple énumération, est quelque chose de puéril. (…) Dans les vraies sciences, nous avons besoin d'une induction qui soit capable d'analyser l'expérience, de la décomposer, et qui conclut nécessairement à l'aide des exclusions et des éliminations convenables*"[21].

Auteur de la première taxinomie des divers types d'expériences, et proposant un rangement des observations en différentes tables, Bacon pose les bases théoriques de ce qui constituera l'empirisme. Remarquons que cette première proposition de *formalisation*, qui prend la forme de listes et de tableaux, se rapproche d'un *formulaire*, une forme de codage écrit fondamentale dans l'élaboration de la "*raison graphique*", comme a argumenté Goody (1979)[22].

[17] BACON, F. (1620). *Novum Organum* XCVIII. In *Bacon*, introduction J. Tabucco. Paris : La Renaissance du livre (s. d.), p. 121.
[18] FONTENELLE, B. Première Dissertation IV. In *Manuel de littérature française XVIII*, LAGARDE & MICHARD, p.24.
[19] BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin. pp.41-44.
[20] *Op. cit.* p. 53.
[21] BACON, F. *Théorie de la méthode expérimentale. Plan de la grande restauration des sciences. Op. cit.*, p.46.
[22] GOODY, J. (1979). *La raison graphique*. Paris : Les éditions de Minuit.

Rangement des observations d'après F. Bacon (1620)

Observations	Table
Toutes les expériences où le phénomène cherché est présent	Table de l'essence et de la présence
Tous les cas où le phénomène est absent	Table de déviations ou d'absence de voisinage
Les observations ou les expériences où une variation concomitante est suggérée	Table de degrés ou de comparaison

"*Notre plus grande ressource et celle dont nous devons tout espérer, c'est l'étroite alliance de ces deux facultés : l'expérimentale et la rationnelle*"[23], écrit aussi Bacon. S'il n'a pas expérimenté par lui-même, ses propos semblent pressentir que la science résulterait de la collaboration de deux talents différents, celui de l'élaboration théorique et celui des pratiques expérimentales. Ses réflexions méthodologiques ont influencé les expérimentateurs qui, pendant la seconde moitié du XVIIe siècle, ont travaillé dans le cadre de la *Royal Society* de Londres.

Du côté de la Logique

Lois physiologiques ou *lois Pouchet* (1847) (extrait du texte 3)

1e loi : Il n'y a point d'exception pour l'espèce humaine et les Mammifères.
2e loi : Dans tout le règne animal la fécondation se produit à l'aide d'œufs, qui préexistent à la fécondation.
3e loi : Des obstacles s'opposent à ce que, chez les Mammifères, le fluide séminal puisse être mis en contact avec les ovules encore contenus dans les vésicules de De Graaf.
4e loi : La fécondation ne peut s'opérer que lorsque les ovules ont acquis un certain développement, et après leur détachement de l'ovaire.
5e loi : Dans toute la série animale, incontestablement l'ovaire émet ses ovules indépendamment de la fécondation
6e loi : Dans tous les animaux, les ovules sont émis à des périodes déterminées et en rapport avec la surexcitation périodique des organes génitaux.
7e loi : Dans l'espèce humaine et les Mammifères la fécondation n'a lieu que lorsque l'émission des ovules coïncide avec la présence de fluide séminal.
8e loi : La menstruation de la femme correspond aux phénomènes d'excitation qui se manifestent à l'époque des amours chez les divers êtres de la série zoologique, et spécialement chez les femelles des mammifères.
9e loi : La fécondation offre un rapport constant avec la menstruation ; aussi sur l'espèce humaine, il est facile de préciser rigoureusement l'époque intermenstruelle où la conception est physiquement impossible, et celle où elle peut offrir quelque probabilité.
10e loi : Chez l'espèce humaine et les Mammifères, l'œuf et le sperme se rencontrent normalement dans l'utérus, ou dans la région des trompes qui l'avoisine, et c'est là que s'opère la fécondation.

[23] BACON, *Novum Organum*, I, 95.

S'appuyant sur diverses observations et investigations, Pouchet publie sa *Théorie positive de la fécondation* en 1847. Il présente ses recherches sur le cycle sexuel et sur l'ovulation spontanée des mammifères sous forme de dix "*lois*". Mais quelle peut être la validité logique de cette théorie ? Les considérations avancées par Pouchet peuvent-elles être considérées comme des "*lois*" ?

La biologie est souvent présentée comme une science faisant largement appel à l'*induction*. En logique formelle, un énoncé provenant d'une induction ne peut jamais avoir statut de preuve puisqu'une affirmation universelle ne peut jamais être vérifiée par une suite d'observations singulières. Par contre, il peut être réfuté par une seule observation contradictoire. C'est le principe de *réfutabilité*, avancé et développé par Popper, pour contredire les thèses inductivistes, pour lesquelles l'accumulation de faits positifs permet graduellement de former une vérité. Mais l'expérimentation scientifique ne se présente pas comme le dénombrement d'éléments envisagé par la logique formelle. Il faut s'intéresser aux raisonnements et aux inférences qui y sont développés. Penchons-nous, à cet effet, sur ce qu'avançait la philosophie des sciences dans la première moitié du XXe siècle. C'est ainsi que Dorolle (1930)[24] distingue l'*inférence*, qui insiste sur le mouvement de la pensée, et le *raisonnement* qui exprime plutôt le sentiment de liaison.

Raisonnements

Classiquement, les raisonnements sont classés suivant le rapport d'extension de la notion principe à la notion conséquence. Différentes formes sont, de ce fait, distinguées :

- l'*induction* ou raisonnement du particulier au général,
- la *déduction* ou raisonnement du général au particulier,
- l'*analogie* ou raisonnement du particulier au particulier.

Mais, analyse encore Dorolle, les déterminations expérimentales, dans l'induction, apparaissent extrêmement complexes, et font intervenir à la fois "*des dispositifs d'expérience, l'interprétation mentale, et les constatations*". L'induction, pour l'auteur, ne saurait donc être définie comme un "*raisonnement*", c'est plutôt une façon de conduire un ensemble de pensées, une "*méthode*". C'est un "*ensemble complexe qui va des perceptions aux idées, sans homogénéité des procédés*"[25]. L'induction substitue le pensé au donné. On passe des données aux lois. Il en ressort que "*l'on ne saurait présenter l'induction comme une suite strictement logique d'opérations, puisque son point de départ, le donné, et son point d'arrivée, le pensé ne sont pas sur le même plan*"[26].

Pour Dorolle, l'induction représente donc une inférence, dans laquelle *"le raisonnement joue un rôle*" certes, "*pour rapprocher l'analyse expérimentale de tout le*

[24] DOROLLE, M. (1930). *Cours de logique*. Paris : PUF.
[25] *Op. cit*. p.104.
[26] *Ib*.

savoir qui la conditionne"[27], mais qui fait intervenir aussi une multiplicité de procédés. L'induction doit alors être envisagée comme une construction et non comme une simple généalogie, elle n'intervient pas en "terrain vierge" et fait appel à de *l'a priori*. L'induction "naïve", qui feindrait d'ignorer toute idée préconçue, ne l'est que rarement. Peut-on alors rapprocher l'induction, telle qu'elle est analysée par Dorolle de l'*abduction*, inférence appelée encore "*méthode de l'hypothèse*" qui met en œuvre des connaissances préexistantes pour interpréter des phénomènes nouveaux ? Dans l'abduction la conclusion est envisagée seulement comme vraisemblable, tandis que *"l'induction fait voir et assure de bien voir*", explique Dorolle. Mais "*la pensée demande davantage : comprendre ou s'expliquer"*[28]. La déduction, suspendue à des propositions inductives, est la forme rigoureuse de l'explication. Procédant par identifications, elle se présente sous forme linéaire et enchaîne raisons et pensées.

Orientation de la pensée

Cependant *"une pensée n'est pas seulement caractérisée par la nature élémentaire de ses procédés, mais aussi par son sens de développement, son orientation"*, argumente-t-il encore. *"Ou bien elle prend son point de départ dans une idée pour aller vers le fait à expliquer, ou elle part de celui-ci, pour dégager le principe d'explication"*[29]. Aussi, plutôt que de considérer uniquement les raisonnements, apparaît-il nécessaire de prendre en compte l'*orientation de la pensée*. Cherche-t-on à passer de l'idée au fait expliqué (la synthèse), ou part-on d'un fait inconnu pour revenir au connu (décomposition ou analyse*)* ? Pour Dorolle, cette double orientation est indépendante des mécanismes de raisonnement. Elle se retrouve aussi bien dans une démarche inductive que dans une démarche déductive. Aussi distingue-t-il une analyse et une synthèse inductives ou expérimentales, et une analyse et une synthèse déductives[30]

Lois

Pour Blanché (1975)[31] l'induction ne doit pas s'entendre de la même façon selon que l'on a affaire à un rapport entre attributs, à un rapport entre événements, ou à un rapport entre dimensions. Aussi propose-t-il de distinguer l'opération inductive, qui change dans chacun de ces rapports, et qui vise à :

- une *loi attributive*, par une généralisation conceptuelle, dans le rapport entre choses et leurs propriétés ;
- une *loi causale*, par extrapolation temporelle, dans les liaisons entre événements ;
- une *loi fonctionnelle*, par mesure des phénomènes, dans les rapports entre dimensions.

[27] *Op. cit*. p. 58.
[28] *Op. cit*. p.101.
[29] *Op..cit*. p.142.
[30] *Op. cit*. p.143.
[31] BLANCHÉ, R. (1975). *L'induction scientifique et les lois naturelles*. Paris : PUF.

Mais, *"y a-t-il des lois en biologie*" interroge, de son côté, J. Gayon ? Le modèle physicien de la science, qui apparaît le plus souvent comme l'idéal de toute science[32], avec un "*modèle idéal de la loi*", d'"*énoncés de relations qui ne comportent aucune restriction d'espace et de temps*"[33], semble, de fait, peu adapté à l'investigation du vivant.

Loi fonctionnelle

Ainsi, en Physique, la portée d'une loi fonctionnelle est limitée par des conditions abstraitement définissables, non par l'existence d'objets singuliers, comme dans les sciences de la vie. Il est très difficile, voire impossible, à reconnaître des énoncés véritablement universels en biologie. Les généralisations butent toujours sur une exception et sur une infinité de variations. Ainsi, la loi d'ovulation spontanée qui a été émise par Pouchet, en 1847, peut être généralisée à de nombreux mammifères, mais on sait depuis 1908 qu'elle n'est pas valable chez la lapine, chez qui l'ovulation peut être provoquée par l'accouplement. "*L'importance de l'évolution et des schèmes de causalité historique dans la théorie biologique contemporaine est telle"*, argumente encore Gayon, *"que l'on peut légitimement envisager l'hypothèse philosophique que les sciences biologiques ne puissent jamais aller au-delà de généralisations accidentelles*"[34]. Même si les biologistes parviennent à des "*généralisations tout à fait respectables*", les sciences de la vie restent essentiellement confinées dans la description.

Loi causale

Une loi causale est caractérisée par une asymétrie temporelle : la cause précède l'effet. Une "*cause*", rappelle Gayon, devrait donc être une condition nécessaire et suffisante : une exigence, de fait, très rarement atteinte dans les sciences du vivant ! Reprenant à son compte l'analyse effectuée par D. Hull pour la biologie, il envisage des *relations causales "faibles"*, la cause étant conçue comme "*un ensemble de conditions suffisantes pour produire un effet, chaque condition étant nécessaire à cet ensemble"*[35]. Les phénomènes biologiques et les êtres vivants apparaissent, en effet, extrêmement contingents et l'explication, en sciences de la vie, reste très dépendante d'un contexte.

La biologie n'est pas que science de laboratoire, avec démarche expérimentale et recherche de "*preuve*", c'est aussi une science de terrain, avec démarche d'enquête et recherche d'"*indice*". Peut-on envisager établir des lois causales dans des études relatives au *terrain* ? Nous pouvons reprendre, ici, l'analyse faite par A. Cailleux (1963)[36] pour la géologie. Dans la nature aussi, explique-t-il, une même cause peut avoir plusieurs effets, et la fréquence ou la probabilité de réalisation peut s'entendre dans

---

[32] Constatons que, jusqu'à une époque récente, les philosophes, épistémologues et historiens des sciences prenaient essentiellement la Physique comme objet d'analyse. Voir MAYR, E. (1982). Voir aussi BUSCAGLIA, M. (1994), Pour une histoire spécifique de la méthode en biologie. *Archives Scientifiques*, 47. Genève.

[33] GAYON, J. (1993). *Op. cit*. p. 38.

[34] *Op. cit.* p.40.

[35] *Op. cit*. p. 42.

[36] CAILLEUX, A. (1963). L'expérience. XXIV semaine de synthèse. *Revue de synthèse* 29-31. Paris : Albin Michel.. 108-114.

l'espace ou dans le temps. Autrement dit, la relation cause-effet envisagée doit être éprouvée, chaque fois qu'il se peut, par la comparaison de répartitions géographiques (cartes), ou chronologiques (stratigraphies). Une médiocre coïncidence rend la relation improbable, tandis qu'une bonne coïncidence rend probable soit une relation cause-effet, soit une liaison entre deux effets d'une même cause à rechercher. C'est donc à une probabilité des causes et à des *lois probabilistes* que s'affronte le géologue de terrain dans ce cas. Dans les deux premiers cas, on retrouve, énoncées en forme de probabilités, les règles de présence-absence de Bacon, le troisième cas est malheureusement perdu de vue par de nombreux auteurs, commente encore l'auteur.

Loi de développement

Les lois de développement, qui exposent une succession chronologique d'états ou l'évolution d'un système, sont fréquentes en sciences de la vie. Elles peuvent ainsi décrire l'embryogenèse ou bien la division cellulaire ; elles permettent encore la modélisation de réactions chimiques dans une cellule… Elles apparaissent comme de bonnes lois empiriques mais n'envisagent que la description.

Des "régularités plus ou moins franches"

Par la constitution de classes de faits et une visée légaliste, Blanché se réfère, en fait, davantage aux sciences physiques qu'aux sciences biologiques, qui ont plutôt une visée de conceptualisation. En outre, ce n'est pas qu'un questionnement analytique que sollicite la compréhension du vivant : c'est une interrogation sur les interactions complexes entre auto-organisation, structure, fonction, et histoire (ontogenèse, phylogenèse). L'induction à laquelle a recours le biologiste ne représente guère un idéal pour la logique formelle. "*Évaluées selon le canon des lois des physiciens, les sciences de la vie sont peuplées de créatures imparfaites*", selon l'expression de Gayon[37]. Le modèle physique idéal de la loi reste donc inopérant en sciences de la vie, dans la mesure où les systèmes biologiques sont historiquement contingents[38].

Par contre, conclut Gayon, on peut considérer que les sciences de la vie établissent des régularités plus ou moins franches : ce sont parfois des lois causales faibles, parfois des lois de développement, celles-ci plus descriptives qu'explicatives. De nombreuses branches de la biologie ont pour but de décrire plutôt que d'expliquer. Cette absence d'explication n'empêche pas les biologistes d'intervenir dans les processus qu'ils étudient, ou de manipuler des éléments dont ils ne connaissent pas les composantes ultimes : cultiver des cellules avant même d'avoir compris tous les processus de régulation ou inventorié tous les composants, utiliser des hormones pour provoquer certains effets, sans pouvoir expliquer précisément le déroulement de l'action.

Retour aux lois Pouchet

Alors que dire des *lois Pouchet* ? Elles proposent soit une généralisation (1^{e} loi), soit la description d'un développement (4^{e} loi), d'autres proviennent soit d'une analogie (8^{e} loi), soit d'une déduction (9^{e} loi). Il n'apparaît donc pas une forte rigueur logique dans

[37] *Op. cit.* p. 41.
[38] *Op. cit.* p. 57.

les formulations. L'ensemble représente une perspective de généralisation, formulée à la suite de séries d'observations, et qui, en outre, envisage par ses conséquences une visée utilitaire d'intervention, par la possibilité de contrôle volontaire de la procréation (9e loi). J'ai montré dans ma thèse (texte 3, texte 45) que les *lois Pouchet* ont été largement diffusées et vulgarisées par le mouvement néo-malthusien, et peuvent être considérées comme la "*méthode Ogino"* de la fin du XIXe siècle.

C'est par induction, que Pouchet a construit ses faits d'observation relatifs à l'ovulation spontanée. Il avance ensuite une interprétation analogique et non une mise à l'épreuve de validation. Si la pensée analogique facilite la créativité et permet d'envisager la généralisation de la notion d'ovulation spontanée dans tout le règne animal, y compris pour l'homme, elle fait obstacle pour la compréhension du cycle menstruel des primates. En considérant les menstrues comme équivalentes des pertes des mammifères femelles au moment du rut, notre chercheur induit une liaison entre menstruation et ovulation. Ce questionnement, centré sur le phénomène de menstruation, représentera aussi un obstacle à la compréhension plus globale du cycle féminin.

"L'induction pose l'idée"

L'induction a souvent été critiquée, mais c'est qu'elle est fréquemment présentée uniquement comme théorie empiriste naïve, avec répétitions et recueil d'un grand nombre de faits. Or, le nombre de faits n'a jamais la valeur d'une preuve ! La répétition et la contiguïté conduisent à poser l'hypothèse d'une corrélation ou d'une causalité, mais ne mènent jamais à une certitude logiquement fondée. Tout au plus peut-on poser le problème d'une loi probabiliste. Mais l'induction n'a pas à avoir "mauvaise presse" dans l'expérimentation scientifique : elle apparaît indispensable pour dégager les relations élémentaires constitutives du fait ou du phénomène. *"L'induction apporte une certitude de fait, elle pose l'idée*"[39], analysait Dorolle. Elle pose de nouvelles vérités, mais sans que ces dernières puissent prétendre à la certitude, le rappelait aussi plus récemment Gohau (1992)[40]. Finalement, argumentait encore Dorolle, les croyances fondamentales de l'induction expriment la nature mentale humaine : besoin de détermination, mouvement d'assimilation. Ces croyances fondamentales sont comme des "*hypothèses générales de construction"*. Grâce à elles une science se construit : "*malgré les insuccès, les mêmes méthodes permettent une exploration de plus en plus vaste et pénétrante, (…) on a le droit de croire qu'il y a des lois, ou encore que sur les données, il est possible d'ajuster progressivement un tissu de pensées*"[41]. L'induction scientifique n'est pas un pur raisonnement. Postulant qu'il existe des "*régularités*" et des "*invariants*" dans la nature, elle envisage des "*lois générales d'observations limitées*".

[39] *Op. cit.* p.104
[40] GOHAU, G. (1992). Esprit déductif versus esprit inductif. *Aster* 14 : 9-19.
[41] *Op. cit.* p. 67.

2.2.2. Comment aborder une phénoménologie ?

Quand on considère l'abord d'une phénoménologie, les descripteurs matériels sont fréquemment mis en avant. Les performances techniques et les auxiliaires d'observation représentent, sans aucun conteste, des facteurs très importants, mais les principes logiques et épistémologiques ne peuvent être négligés. Rappelons donc le rôle fondamental qu'accorde Dorolle à l'induction, pour passer du *donné* à l'*inféré*.

Nécessité d'attributs
Dans une investigation scientifique, il apparaît, en outre, indispensable que la description phénoménologique corresponde à un accord collectif : pouvoir passer d'une connaissance provenant d'un inféré privé à du public. Comment pouvons-nous connaître des objets physiques, publics et durables, à partir de données sensorielles privées et momentanées ? D'autres éléments, telles les "*propriétés*" et la possibilité de s'accorder sur des "*attributs*" sont donc à considérer.

La description d'un objet fait, en effet, appel à des attributs. Ceux-ci peuvent être très divers. À ne considérer que ceux qui concernent son aspect ou son évolution macroscopique, citons la forme, le poids, la température de l'objet… À certains de ces attributs peut être associée une mesure qui en précise la valeur. Le recueil de données empiriques passe donc par la mesure, les qualités et le sensible. Il s'appuie sur les indications fournies par les sens, prolongés par les instruments scientifiques d'observation et de mesure.

Sciences des phénomènes et sciences des formes
Mais les possibilités d'analyse ne sont pas les mêmes dans le domaine de la matière et dans le domaine du monde vivant. On peut, de même, examiner la proposition de Dorolle de considérer des *sciences des phénomènes* et des *sciences des formes* : "*tantôt on suit des enchaînements de phénomènes, tantôt on veut expliquer les ensembles de caractères (ou formes) des êtres*"[42]. Un objet biologique se caractérise, en effet, par des phénomènes (en particulier physiologiques), mais aussi par une forme qui se définit et se maintient pendant la durée de vie, enjeu central dans la compréhension du vivant.

Point de vue phénoménologique
Avec un point de vue de phénoménologue, A. Pichot (1991)[43], refusant une réduction de la pensée à la seule discursivité, rappelle l'enracinement de l'individu dans la vie et l'omniprésence de son corps, "*fondement d'un sujet distinct d'un monde objectif*"[44]. En effet, si la notion d'objet présuppose celle de sujet, le sujet agissant sur un extérieur de lui considéré comme objet, ce sont les informations de la sensibilité extéroceptive qui interviennent, organisées dans les termes de l'action du sujet. "*L'expérience nécessite quelque chose à expérimenter, quelque chose qui résiste en expérimentant puisque la nature même de l'expérience tient à la résolution de l'opposition entre la volonté*

[42] *Op. cit.* p. 69.
[43] PICHOT, A. (1991). *Petite phénoménologie de la connaissance*. Paris : Aubier.
[44] *Op. cit.* p. 49

expérimentante et la résistance de l'expérimenté à cette volonté"[45]. Cette action étant généralement motrice, ces données extéroceptives et les expériences kinesthésiques, en rapport avec les interventions sur l'objet, sont organisées, selon Pichot, dans les termes de l'espace euclidien en lequel la motricité est coordonnée.

Instrumenter

Pichot argumente donc de l'importance de cette forme et de l'étendue dans l'espace, dans la conception ou la perception d'un objet. Ce point de vue phénoménologique diverge du point de vue épistémologique de Bachelard (1953)[46], pour qui l'objectivation passe par une distanciation et un refus de contact. "*L'attitude objective refuse le contact, elle prend ses distances à l'égard de l'objet*", argumente Bachelard, "*mais d'abord, on veut voir l'objet, le voir à distance, en faire le tour, en faire un petit centre autour duquel l'esprit dirigera le feu tournant de ses catégories*"[47]. Mais n'est-ce pas plutôt les sciences de phénomènes qui requièrent cette distanciation et cette opposition aux données sensorielles ? Par ailleurs, nul ne peut négliger les données empiriques provenant de la sensibilité non instrumentée dans la connaissance du vivant ou en chimie. "*Je hume*", tels sont les premiers mots du livre du chimiste P. Laszlo[48].

"*Il faut arrêter net les comparaisons entre les impressions sensibles et les idées matérialistes, toute comparaison est germe de mythologie*"[49], écrit Bachelard. L'expérience première, les données sensorielles peuvent, certes, représenter des obstacles à la conceptualisation, aussi apparaît-il nécessaire, quand cela est possible, d'instrumenter l'investigation, en particulier quand le biologiste s'intéresse aux phénomènes. Mais, la volonté de rationaliser ne doit pas conduire à escamoter l'apport du corps sensible et moteur dans la connaissance. "*Tout cet aspect corporel et spatial de la pensée est occulté par le langage (ou bien il est qualifié de "vécu", comme si la pensée devait être réduite à la seule discursivité)*", estime Pichot[50]. Pour pouvoir organiser toute investigation et envisager parvenir à un accord collectif sur les données empiriques, il apparaît, en outre, nécessaire de pouvoir catégoriser et de définir des attributs aux objets biologiques de l'investigation.

2.2.3. XVIIe siècle et naissance des sciences modernes occidentales

L'institutionnalisation et l'évolution des pratiques et des raisonnements scientifiques, tout au long du XVIIe siècle, caractérisent la naissance des sciences modernes occidentales. Les aspects de cette évolution ont été analysés, par des épistémologues et des historiens des sciences, le plus souvent spécialistes de sciences de la matière. On peut

[45] *Op. cit.* p.40.
[46] BACHELARD, G. (1953, réed.1990). *Le matérialisme rationnel.* Paris : PUF.
[47] *Op. cit.* p. 10.
[48] LASZLO, P. (1993). *La parole des choses*. Paris : Hermann
[49] *Op. cit.* p. 27.
[50] *Op. cit.* p. 49.

retrouver, mais avec des nuances, comme nous le verrons, plusieurs de ces caractéristiques dans la naissance d'une science expérimentale du vivant.

Instrumenter et instituer

Au XVIIe siècle, les observations et les "expériences" s'instrumentent, avec des pratiques qui deviennent plus difficiles d'accès pour les "amateurs", et des procédures et des résultats expérimentaux plus malaisés à communiquer. En reconstituant l'histoire de "*la preuve expérimentale*" dans les comptes rendus, Ch. Licoppe (1996)[51] établit la perception qu'ont eue les savants du XVIIe siècle du caractère régulier ou capricieux des phénomènes, et du contrôle exercé sur les instruments. "*Une attente riche de sens se dégage, en effet, de la mise en scène des effets expérimentaux et des efforts qu'accomplissent les auteurs pour rendre plausibles la stabilité et la robustesse de leurs protocoles empiriques, confrontés à une récalcitrance des choses à la fois attendue et malléable, dont l'intensité supposée fait partie intégrante des outillages mentaux"*[52]. Il décrit la lente construction d'une rhétorique particulière, qui vise à transmettre le contrôle de savoir-faire empiriques : une rhétorique fondée sur la reproduction des pratiques expérimentales, et destinée à convaincre essentiellement les pairs. En effet, à la différence du reste de la société, les savants ne s'intéressent plus qu'aux faits curieux ou utiles, ils veulent construire des "*faits exacts*". *"Les faits curieux étaient avérés par le témoignage d'un public de gentilshommes qu'ils distraient par leur caractère spectaculaire*", explique Licoppe. "*Les faits utiles étaient, de leur côté, plutôt destinés à l'Etat et aux corps de métier au nom des avantages hypothétiques qu'implique leur reproduction. (…) Les faits exacts, appuyés sur la reproductibilité infinie que laisse espérer le recentrage de la pratique expérimentale autour de l'instrument de mesure s'adressaient aux seuls savants, auxquels une société implicitement prête à utiliser sans limites les conséquences technologiques des découvertes, déléguait le soin de juger de la légitimité des faits produits par leurs pairs*"[53]. Établir une preuve expérimentale, c'est alors constituer un contrôle strict et une reproduction de l'expérience, qui n'est possible que par l'évolution de pratiques matérielles collaboratives. Mais ce n'en sont que des représentations écrites qui nous sont parvenues : une forme forcément inadaptée et qui élude les savoirs tacites, souligne Licoppe.

La construction de faits exacts par le contrôle instrumental, la reproductibilité de pratiques empiriques, la conviction des pairs : trois indicateurs du développement d'une rhétorique expérimentale, destinée aux seuls savants et soutenue par l'institutionnalisation de la science. En ce qui concerne plus spécifiquement le vivant, C. Salomon-Bayet (1978)[54] a analysé l'institution de la science et le rôle déterminant de l'Académie Royale des Sciences dans la constitution d'une rationalité proprement biologique, nous le reprendrons.

[51] LICOPPE, C. (1996). *La formation de la pratique scientifique*. Pais : La Découverte.
[52] *Op. cit.* p.15.
[53] *Op. cit.* p.17.
[54] SALOMON-BAYET, C. (1978*). L'institution de la science et l'expérience du vivant.* Paris : Flammarion.

Mesure et projet de mathématisation

La naissance de la science moderne occidentale, symbolisée par la révolution galiléenne, s'est fondée sur un travail expérimental, qui a mobilisé un ensemble d'éléments théoriques et méthodologiques, dont l'utilisation de techniques et d'instruments et le recours aux mathématiques. Rappelons encore ici la nécessité d'avoir clarifié les attributs, pour aborder une phénoménologie et pour permettre l'impulsion de ce projet de mathématisation.

En contrepoint de l'impulsion donnée au projet de mathématisation de la nature, les empiristes ont contribué à clarifier le débat relatif à l'objectivité et à la subjectivité des impressions sensibles. Les philosophes empiristes, en effet, distinguaient deux sortes de qualités de corps : les propriétés géométriques, telles la résistance et l'étendue, représentaient les "*qualités premières*" d'un corps, tandis que les qualités sensibles, telles la couleur, la saveur ou le son, en étaient les "*qualités secondes*". Parmi celles-ci, le "*sensible propre*" ne peut être senti que par un seul sens (c'est le cas de la couleur, par exemple), tandis que le "*sensible commun*" n'est propre à aucun sens particulier (le mouvement, par exemple, peut être appréhendé à la fois par le toucher et par la vue). Le sensible commun recouvre donc des "qualités", comme le nombre ou le mouvement, qui seront privilégiées par la physique mathématique. La conceptualisation et la séparation de ces deux sortes de qualités, vivement critiquées par la phénoménologie, a néanmoins représenté une étape importante dans la construction scientifique des données empiriques des sciences modernes.

En ce qui concerne l'étude du vivant, plusieurs savants, essentiellement iatromécaniciens, introduisirent la mesure au XVIIe siècle (Grmek, 1990)[55]. Ainsi, le médecin italien Santorio Santorio est le premier à systématiser la mesure de divers paramètres physiologiques, au moyen d'instruments conçus par lui (chaise-balance, hygromètre, thermomètre…). D'autres suivront : l'anglais Stephen Hales mesure une pression sanguine chez l'animal et constate qu'elle est différente dans les artères et dans les veines, Hermann Boerhaave cherche à estimer les températures maxima compatibles avec la vie….

En sciences de la vie, le recours à l'instrumentation n'a pas toujours représenté une nécessité absolue. Ainsi, les expériences d'Harvey qui aboutissent à la compréhension de la circulation sanguine sont menées quasiment sans instrumentation. Cela constitue une élégance pour la démonstration, mais une limite pour la portée de l'enquête, selon C. Salomon-Bayet, car, pour les capillaires, il faudra Malpighi et son microscope. Le travail d'Harvey est caractérisé par l'importance donnée à l'évaluation quantitative, mais le modèle d'Harvey, plus logique que mécanique pour J. Roger (1971)[56], n'a pas entraîné une adhésion immédiate de tous.

[55] GRMEK, M. (1990). *La première révolution biologique*. Paris : Payot.
[56] ROGER, J. (1971). *Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIIIe siècle*. Paris : Colin.

Analyser
En effet, l'esprit mécaniste de la première moitié du XVIIe siècle, et de Descartes en particulier, est en opposition avec les empiristes. Considérant que la seule véritable science est affaire de déduction et de démonstration, les expériences, pour Descartes, ne peuvent rien apporter sur les principes, tout au plus sont-elles utiles pour vérifier l'exactitude des pensées. Il admettait l'existence de systèmes complexes, qu'il appelait "*difficultés*", mais qu'il refusait. Aussi avançait-il une méthodologie d'analyse : découper la réalité en autant de parties qu'il était nécessaire pour que l'objet étudié devienne simple. Dans le travail scientifique, cette méthodologie s'est imposée par sa puissance et sa rigueur.

Dans l'approche scientifique du vivant, l'analyse représente une étape décisive, même si elle ne représente qu'une étape, comme nous le verrons plus loin. Pour mettre à l'épreuve des actions autres que mécaniques dans la digestion, Réaumur puis Spallanzani, séparent, isolent, font varier les causes, pour mesurer les effets. Ces actions successives ne sont possibles que par l'invention d'un dispositif expérimental.

Expérience et expérimentation
On considère, le plus souvent, que les sciences modernes opèrent une rupture entre l'expérience et l'expérimentation ; mais au XVIIe et au XVIIIe siècle les schémas méthodologiques ne sont ni nets, ni stables. Il n'y a pas toujours opposition absolue entre expérience naturelle et expérimentation artificielle, entre expérience *a priori*, servant de base à un raisonnement déductif et expérimentation *a posteriori*, conçue comme test d'hypothèse. La "*digestion artificielle*" de Réaumur (1752) est bien conçue comme une expérimentation, même si le mot n'est pas employé. C'est une expérience à tenter, qui sert à la démonstration en cas de réussite. Elle apparaît donc bien comme une rupture dans la validation, et non pas comme négation d'une origine empiriste.

Un "nouvel esprit scientifique"
Ainsi, sur quelques générations, et avec des styles différents selon les pays[57], se développe un "*nouvel esprit scientifique*" qui conjugue un ensemble de caractéristiques : analyser, diviser les problèmes, instrumenter, mesurer, créer, contrôler et reproduire les phénomènes, se confronter à des pairs, mettre en scène les expériences pour les convaincre. Peu à peu se constitue une science moderne, l'expérimentation devenant le monopole du savant.

Les historiens anglo-saxons présentent une attitude nuancée et moins orientée par le rationnel dans leur analyse historique. Les historiens allemands, par exemple, tout en distinguant expérience (*Erfahrung*) et expérimentation (*Experiment, Versuch*), considèrent pleinement le rôle de l'empirisme et de l'expérience acquise dans la naissance des sciences naturelles au XVIe et au XVIIe siècle[58]. Toujours avec une

[57] Différence de styles en particulier en France et en Angleterre. *Les Cahiers de Science et Vie* 45 (1998), 1000 ans de Sciences. III, XVIIe siècle
[58] Par exemple, le livre coordonné par HEIDELBERGER, M. & THIESSEN, S. (1981). *Natur und Erfahrung.* Munich : Deutsches Museum.

perspective de "revaloriser" l'apport historique des empiristes dans l'origine des sciences expérimentales modernes, rappelons également l'effort d'un empirisme rationnel et contrôlé qu'a représenté, en médecine, la description des symptômes et l'élaboration d'une *sémiologie*, qui sera reprise dans l'approche anatomico-clinique de Laennec (Villey, 1979)[59].

2.2.4. Expérimenter et rationaliser le vivant

Le rapport au vivant (extrait du texte 14)

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. 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. Ainsi les pratiques de classe se sont radicalement modifiées au cours de ces dernières années, éradiquant la vivisection : les grenouilles décérébrées et démédullées 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.

Rapport au(x) vivant(s) et rapport expérimental au(x) vivant(s)

Les rapports de l'humain au vivant, les attitudes de l'homme à l'égard de l'animal en particulier ont, de tout temps, apparu complexes, contrastés ou même contradictoires. Actuellement, nous n'avons pas la même attitude vis-à-vis d'espèces, que nous considérons comme très proches, et vis-à-vis d'autres. "*Visiblement nous n'avons pas le même sentiment pour l'ours que pour certaines petites plantes discrètes*", rappelle J.-C. Mounolou (2000) dans sa percutante conférence sur la biodiversité. "*Nous n'avons pas non plus de sentiments très gentils pour protéger l'agent de la tuberculose, pourtant c'est un être vivant aussi. Nous avons donc des espèces en voie de disparition, des espèces protégées, un droit des classements, des mesures*"[60]. L'homme établit ainsi une hiérarchie entre les espèces, une hiérarchie entre les animaux sauvages et les animaux domestiques... Cette hiérarchie joue dans l'appréciation du droit de vie et de mort, et dans la prise en compte ou non de critères éthiques dans l'expérimentation du vivant. La construction d'un rapport expérimental au vivant, à un moment donné et dans un lieu précis, dépend, en fait, des *représentations* que ce font cette culture et cette époque des êtres vivants.

Les premiers rapports au vivant semblent relever d'un *fondement utilitaire*. Dans les plus vieux écrits relatifs aux animaux ou aux végétaux, ce sont des dénominations, et l'indication des qualités par lesquelles les êtres désignés sont utiles comme aliments

[59] VILLEY, R. (1979). *Histoire du diagnostic médical*. Paris : Masson.
[60] Conférence sur la biodiversité, J.-C. MOUNOLOU. *Université des tous les savoirs*, 6/01/2000, Paris CNAM. Extraits dans *Le Monde* daté 11/01/2000.

et remèdes, ou comme aides dans les travaux ou amusements, qui apparaissent. Ce rapport utilitaire a permis la construction de tout un ensemble de *connaissances empiriques* : les pratiques agricoles et les remarquables ouvrages d'art de la chasse en témoignent. Des pratiques usuelles, comme celles de sélection dans les élevages, ont, par la suite, pu servir de fondement empirique pour une approche expérimentale, dans un dessein de connaissance de la reproduction. Buffon (1778)[61], par exemple, effectue des expériences d'hybridation. Divers essais de croisement d'espèces, domestiques ou non, entre bouc et brebis, entre chien et louve, sont tentés pour rechercher quelle amélioration pourrait en découler. Pour Darwin (1868), l'évolution historique des races de chiens représente une preuve de modification par sélection : "*Plusieurs races ont été sensiblement modifiées dans le court espace de un ou deux siècles, par la sélection des meilleurs individus, aidée dans bien des cas par le croisement avec d'autres races (…) nous pouvons conclure que la sélection, même appliquée occasionnellement, nous offre un puissant moyen de modification*"[62].

Mais, dès les premières civilisations, un rapport *mystique*, et parfois même *sacré*, vis-à-vis de la nature se développa. Les vivants, animaux et végétaux, furent incorporés dans des dogmes philosophiques et religieux. L'animal, en particulier, a souvent été un objet de culte. J. Graven (1965)[63] distingue ainsi les cultes pastoraux, où l'espèce est épargnée et où, parfois, un spécimen choisi reçoit des honneurs spéciaux ; les cultes chasseurs, dans lesquels le gibier est tué mais où, soit une partie des victimes, soit la totalité, reçoit un hommage ; le culte des animaux dangereux, qui aurait pour but d'apaiser l'esprit de l'animal tué ou encore d'éviter d'irriter ses congénères ; le culte d'animaux qui sont considérés comme abritant les morts, de façon temporaire ou permanente, et qui doivent donc être respectés. "*Ce furent les pratiques religieuses qui, par l'art de l'embaumeur, du sacrificateur, amenèrent la connaissance des organes internes et fournirent les premiers renseignements sur l'anatomie des animaux*" rappelait déjà F. Houssay (1908)[64], dans un livre qui constitue un formidable témoignage et une mise au point synthétique de l'évolution des connaissances biologiques au début du XXe siècle. "*Accomplis par des hommes réfléchis, avec un certain calme professionnel propice à l'investigation, au souvenir, à la comparaison, ces rites étaient plus propres à la première édification du savoir que la hâte affamée du dépeçage par le chasseur*"[65]. Dans l'ancienne Babylone, en effet, des traités entiers sont consacrés à l'interprétation par le prêtre ou le devin des signes observés sur les entrailles des animaux sacrifiés.

La construction d'un rapport expérimental au vivant est très dépendante d'un contexte culturel et historique. L'utilisation domestique ou religieuse constitue une composante de notre propre humanité. "*L'animal — qu'il soit consommé ou vénéré — constitue un horizon familier avant d'être objet, puis moyen de connaissance*", écrit C. Salomon-

[61] BUFFON, *Histoire naturelle, générale et particulière*, supplément édité en 1778
[62] DARWIN, Ch. (édition française 1868). *De la variation des animaux et des plantes sous l'action de la domestication*.
[63] GRAVEN, J. (1965). *L'homme et l'animal* . Paris : encyclopédie Planète
[64] HOUSSAY, F. (1908). *Nature et sciences naturelles*. Paris : Flammarion, p. 20.
[65] *Op. cit.* p. 20.

Bayet. "*Objet de connaissance, il est l'animal de l'histoire naturelle, de la description, des anatomies qui vont de Pline à Buffon, et au-delà ; l'animal domestique est l'objet d'une connaissance et d'un art qui sont ceux des éleveurs, et qui ne sont pas minces ; l'animal sauvage relève de l'art de la chasse, des traités de vénerie*"[66]. Pour le XVIIe siècle occidental, E. de Fontenay (1991)[67] analyse la révolution épistémologique que représentent le mécanisme et le cartésianisme. "*Descartes porte la responsabilité de ce qui, aux gens de sens, aux femmes de cœur et aux hommes de cour entichés de chevaux, de chiens et de faucons, apparut comme une impitoyable élucubration*". Avec le mécanisme et le modèle de l'automate, Descartes proposait un nouveau modèle qui permettait de décrire le corps et rendait possible l'autonomie de la science. "*A des précautions de méthode, on a objecté le vécu et l'intuition sensible, la vie quotidienne et la chasse*", argumente-t-elle. "*Descartes a levé l'interdit qui pesait sur l'objectivation de la vie et les animaux ont perdu leur âme*". L'interdit libéré, se développe alors la manipulation expérimentale sans arrière-pensée. Au Jardin du Roi, et ailleurs en Europe, commence l'ère du laboratoire et les naturalistes du XVIIIe siècle s'acharnent à d'implacables vivisections. "*Qui dit vivisection dit exigence de maintien en vie le plus longtemps possible*", écrivait Canguilhem, mais "*c'est la définition même de la torture"* remarque E. de Fontenay ! Tous ces naturalistes ne se préoccupent guère des contradictions qui surgissent entre pratique mécaniste et convictions vitalistes. "*Malgré quelques bouffées de sensiblerie chez les adversaires de l'iatromécanisme, une légitimité s'installe et constitue désormais le cadre où l'histoire naturelle va institutionnaliser son grand rêve indiscret et sanglant*" conclut-elle. Plusieurs savants, médecins et philosophes, dont Maupertuis et La Mettrie, proclameront au nom du droit naturel, de ne pas faire souffrir "inutilement", et inciteront à un double mouvement, à la fois d'objectivation dominatrice et de compassion envers les animaux.

Le rapport expérimental à l'animal s'est construit, dans l'Occident cartésien, à partir d'une relation qui désacralisait le vivant et il aboutit à un important déficit symbolique. Mais, sans doute, serait-il important d'étudier et d'approfondir comment s'est établi ou non un tel rapport, dans d'autres cultures et dans d'autres contextes culturels, et selon les représentations que l'homme se faisait de lui-même, des vivants et de la nature. Constatons, qu'à l'époque actuelle, la mort animale n'est ni perçue, ni réglementée de la même façon selon les cultures. En Occident, la mort de l'animal de boucherie, par exemple, est sévèrement réglementée et tenue au maximum cachée, à l'écart de la société. Dans les abattoirs français, seul du bétail, c'est-à-dire des animaux élevés en troupeau, est tué, non des individus. Tout ce rapport à la mort de l'animal de boucherie se différencie d'autres pays, d'autres cultures et d'autres traditions, par exemple des pays du Maghreb et de la religion musulmane, où la mort symbolique du mouton représente une grande occasion festive de cohésion sociale.

[66] *Op. cit.* p.411.
[67] FONTENAY de, E. (1991). La bête est sans raison. *Alliage* 7-8 : 13-24.

Les représentations de la nature, du vivant, de l'humain, diffèrent, en effet, selon les cultures et les religions. On peut, explique Pichot (1990), "*concevoir l'homme comme dès l'origine séparé de la nature, et celle-ci comme ce qui est posé devant lui, ce qui est fait pour lui et dont il est le maître, offert à son pouvoir et à ses capacités manipulatrices*". C'est la conception véhiculée par la Bible. "*Mais ici encore, la vie pose problème",* argumente-t-il, "*si dans cette optique les êtres vivants , animaux et plantes, sont faits pour l'homme (…), leur vie lui échappe cependant. Il peut certes les domestiquer, mais pas totalement les contrôler, ils conservent une certaine autonomie.(…) Il domine les êtres vivants, mais il n'a pas réellement prise sur la vie, tandis qu'il manipule beaucoup plus facilement le monde inanimé*"[68]. La vie est alors chargée d'un certain mystère. Dans d'autres religions, en particulier dans les religions orientales, tel le bouddhisme, le respect de la vie prend une dimension mystique, *"sur-naturelle*" selon l'expression de Pichot. "*Cependant on pourrait également considérer qu'au fur et à mesure que le vivant devient plus manipulable, il quitte le domaine du supra-naturel (âme et force vitale) pour se naturaliser. En accroissant son contrôle sur la vie, l'homme la désacralise et la réintègre dans la nature*"[69].

La construction d'un rapport expérimental et les interventions sur le vivant sont donc en constante interaction avec les représentations de la vie et du vivant, qu'en retour, elles modifient. Le paradigme actuel qui domine la biologie reste essentiellement bernardien, fondé sur la notion de régulation à quoi la biologie moléculaire ajoute celle d'information. "*La vie rejoint la nature, en ce que l'être vivant est étudié de manière purement physico-chimique*", commente Pichot. "*La chimie a remplacé la mécanique, mais l'être vivant n'en est pas moins conçu comme un automate régulé (et programmé), parfaitement intégré à une nature comprise sur le même mode*"[70].

Ces différences culturelles de conceptions du vivant peuvent éclairer les différents rapports expérimentaux au vivant qui, au-delà d'une similitude apparente, semblent se construire à notre époque contemporaine. Ainsi, dans certains pays, tel le Japon, les chercheurs maintiennent, par-delà tout aspect simplement législatif, un rapport "*sacré*" dans l'expérimentation du vivant, l'ensemble des *rites symboliques* qu'ils effectuent régulièrement visant à la reconnaissance et à la conscience de l'enfreint au droit qu'ils s'octroient ainsi sur le vivant

[68] PICHOT, A. (1990). La vie entre la nature et l'artifice. In J.-Ch. Goddard (dir.), *La Nature*. Paris : Vrin. p. 245.
[69] *Ibidem*
[70] *Op. cit.* p. 249.

Cinq indicateurs épistémiques

En ce qui concerne plus spécifiquement le vivant, C. Salomon-Bayet (1978)[71] considère, qu'au regard de l'expérience, l'Histoire Naturelle, qui propose un objet à décrire et non un problème à résoudre, a fonctionné comme un obstacle épistémologique. Aussi repère-t-elle, et désigne-t-elle cinq indicateurs épistémiques, représentant autant d'efforts pour franchir cet obstacle, et pour constituer l'objet d'une science expérimentale du vivant.

· Tout d'abord, une science expérimentale ne peut se fonder qu'avec l'installation d'un lieu permanent d'expérimentation du vivant. Le passage de l'amphithéâtre, lieu d'observation et de dissection, au *laboratoire*, emprunté à la chimie représente ce premier indicateur.

· Deuxième indicateur manifeste : la mise en œuvre d'une *exploration instrumentale* du vivant. Si, le plus souvent, la physiologie importe les instruments et les procédures du laboratoire de chimie, nous verrons plus loin qu'elle doit inventer ses propres dispositifs expérimentaux.

· Pour assurer l'installation, l'équipement et le fonctionnement de ce lieu permanent, un financement est nécessaire. L'apparition d'un *crédit de fonctionnement*, pouvant provenir de fonds propres au savant, du pouvoir ou d'un mécénat, représente un troisième indicateur.

· Ces trois premiers indicateurs concernent toute science expérimentale ; le recours à *l'animal d'expérience*, que C. Salomon-Bayet nomme joliment le "*bestiaire*", ne concerne par contre que la science du vivant. Cette pratique signale une prévalence méthodique de la singularité du vivant, malgré la multiplicité des formes. Elle témoigne également d'une conversion dans le regard porté à l'animal. Utiliser l'animal comme objet de substitution, pour la connaissance anatomique est une pratique ancienne. Agir sur l'animal de manière opératoire, par l'intervention vivisectrice, et explorer expérimentalement ses processus physiologiques, témoignent par contre d'une nouvelle conception dans l'utilisation du vivant, qui sera fortement remis en cause par le mouvement antivivisectionniste au XIXe siècle.

· Un dernier indicateur épistémique concerne l'*homme* ou, plus exactement, la séparation des visées dans les considérations à envisager une expérimentation sur l'homme. Durant tout le XVIIIe siècle va, peu à peu, s'établir une nette distinction dans les réticences à expérimenter sur l'homme, entre les recherches qui doivent éclairer la thérapeutique et l'art médical, et celles qui concernent "l'économie animale".

[71] *Op. cit.*

L'ensemble de ces différents indicateurs définit, selon C. Salomon-Bayet, la constitution d'un domaine d'expérimentation sur le vivant qui aura pour nom *physiologie générale*, puis *biologie* après 1802, avec souvent confusion entre les deux.

Du naturel à l'artifice

Comme dans l'investigation de la matière, le passage au laboratoire et l'instrumentation font basculer l'exploration du vivant du naturel à l'artifice, de la collecte de perceptions à la construction de protocole, du récit de faits curieux ou utiles à la validation de faits exacts, avec l'élaboration de comptes rendus expérimentaux destinés à convaincre les pairs, et avec une action réciproque de la recherche et de la technique. Il ne s'agit plus de recenser des phénomènes naturels, mais de construire des faits expérimentaux. La connaissance du vivant suppose, en effet, des actions successives : séparer, isoler, faire varier les causes pour apprécier et mesurer la variation des effets. *"Le prix à payer est celui du dispositif expérimental*"[72], écrit C. Salomon-Bayet. Cette conversion n'est possible que par l'institutionnalisation et la professionnalisation de la science. Elle analyse les méthodes et les expériences présentées à *l'Académie Royale de sciences*, de ses origines à la fin du XVIIIe siècle. À son origine, en effet, l'Académie est "*moins le conservatoire de la science élaborée que le laboratoire où la science est au travail, avec ses imprécisions, ses erreurs, science militante au nom de l'expérience*". Si le mot *expérience* a précédé l'institution qui l'incarne, "*à son tour l'institution a donné un statut, un contenu, un programme à un terme vide à force d'être polyvalent*"[73]. Le XIXe siècle amplifiera et précisera le mouvement. *"Quand la recherche tient du métier et qu'elle peut, à la rigueur, se passer, pour un temps, de passion, une science expérimentale mérite son nom*"[74], commentera G. Canguilhem.

Des obstacles doubles

C. Salomon-Bayet démontre que la fondation d'une rationalisation expérimentale du vivant en Occident, au XVIIe siècle et sur plusieurs générations, a nécessité une conversion dans le regard porté sur l'animal et le franchissement de plusieurs obstacles :

- l'analyse et la séparation des phénomènes, qui requièrent de scinder la totalité du vivant et l'exploration instrumentale ;
- l'utilisation d'un modèle d'étude, prévalence méthodique du vivant singulier sur la multiplicité des formes, qui nécessite de dépasser la spécificité et la singularité du vivant pour reconnaître une communauté dans les mécanismes ;
- l'acceptation d'une identité dans la mise en évidence de processus *in vivo* et *in vitro*, qui exige le dépassement du vitalisme.

Chacun de ces éléments, expérimentalement fondés, sera repris dans la révolution scientifique de Lavoisier, analyse encore C. Salomon-Bayet : "*Répondre au triple impératif de diviser pour comprendre, d'expérimenter pour prouver, et d'élargir le*

[72] *Op. cit*. p. 418.
[73] *Op. cit.* p. 21.
[74] CANGUILHEM, G. (1961). Techniques et problèmes de la physiologie au XIXe siècle.In R. Taton (dir.), *Histoire générale des Sciences*, tome 3 La science contemporaine, le XIXe siècle. Paris : PUF, p. 484.

champ d'application". Ce que Lavoisier appellera "*élémenter* " la science. "*La reprise de tout ce travail de la connaissance du vivant aura Bichat pour auteur mais biologie comme nom*".

Mais un obstacle étant toujours double, si cette posture analytique a représenté une étape historique dans l'approche et la compréhension du vivant, elle a pu, par la suite, en limiter la conceptualisation.

2. 2. 5. Deux emblèmes : Louis Pasteur et Claude Bernard

Sûreté dans les idées, audace de l'imagination, rigueur des mises à l'épreuve, attention dans les observations et habileté dans la pratique (extrait du texte 9)

Les cahiers de Pasteur contiennent quelques dessins d'observation, mais le chimiste n'est pas à l'aise avec la morphologie. Excellent observateur et dessinateur, il décrit parfaitement les micro-organismes rencontrés mais, hormis la levure de bière qu'il connaît bien, il hésite à nommer les espèces rencontrées. "L'îlot de la fructification était en membrane vert foncé, je ne puis dire si c'est le penicilium (sic)", écrit-il en février 1860. Avec une mémoire visuelle remarquable, il procède par comparaison entre les différentes productions : "Cette production 2, je l'ai trouvée souvent et notamment p. 53 verso dessin C, mais je ne sais pas davantage quelle était sa signification. C'est aussi celle que j'ai reconnue et dessinée p. 48 verso n°2" ; "Je me rappelle avoir déjà rencontré souvent ces chapelets mais ils n'étaient pas seuls". À l'observation directe, il préfère les manifestations indirectes, essentiellement les odeurs et les acides de ces productions. La précision est constante : dans la description des dispositifs, dans le déroulement de l'expérimentation, dans toutes les mesures effectuées. Aucun détail ne semble manquer, ce qui contribue à son assurance lorsqu'il compare des expériences effectuées à des intervalles de temps pouvant atteindre des mois, voire des années. Il relit, en août 1871, une expérience sur la levure brune réalisée le 9 février 1859 ; "très bon" ajoute-t-il dans la marge. Il déplace, quinze ans plus tard, un dessin d'observation microscopique du 14 décembre 1861 ; "j'enlève ici le dessin repris le 17 juillet 1876" note-t-il. Cette précision lui permet une analyse très critique des manipulations : "Plus d'air, seulement une bulle de cette grosseur o, qui provient du mercure rentré et que j'aurais pu faire sortir par dilatation du mercure. J'ai oublié de le faire" ; "Prendre garde dorénavant à cette cause d'erreurs"."J'étire, et ébullition soutenue jusqu'à ce que le tube de platine du bouchon soit assez chaud pour brûler la main", écrit-il au 23 février 1860, "Ce n'est pas encore assez. Il faudra adopter 3'5 à partir de ce terme en ce qui concerne la pointe effilée du goulot", commente-t-il après une lecture des résultats non conformes à ses attentes. Procédant essentiellement par tests d'hypothèses, même si celles-ci ne sont pas exprimées en tant que telles, Pasteur rejette les expériences aux résultats différents de ceux espérés, les considérant "négatives". À la date du 17 janvier 1860, par exemple, un trait de crayon barre la page. Les notes décrivent une série de 11 ballons fermés qui, au lieu de rester limpides, se troublent, témoignant ainsi du développement non désiré d'organismes. Il critique le protocole utilisé : "Il faut reprendre ces expériences dans un air plus tranquille (...) Je crois que pour ce genre d'expériences, il faut un liquide qui ne soit pas très apte à donner des bacterium". Au sens de la vérification, au doute nécessaire sur la signification de quelques observations, Pasteur associe une confiance inébranlable dans ses hypothèses. Les résultats conformes à ses attentes sont décrits comme autant de victoires, et c'est d'une écriture de plus en plus large et appuyée qu'il conclut les observations du 22 février 1861 :"Cette expérience a été d'une netteté vraiment remarquable et qui ne laisse pas prise au plus léger doute".

C. Bernard et L. Pasteur, l'un à la recherche des mécanismes physiologiques et l'autre traquant les causes microbiennes, ont révolutionné la médecine explique A.-M. Moulin (1997)[75]. Ces deux figures emblématiques ont aussi influencé l'enseignement de la biologie en France, l'un comme modèle méthodologique et l'autre comme image de *"savant*". Pour G. Rumelhard (1997)[76], la façon dont leurs travaux ont été diffusés, puis transformés, accentue, chez les enseignants, une conception de la science privilégiant les problèmes pratiques, l'activité technique et manipulatoire, au détriment d'aspect plus théorique. Serait-il donc possible, à travers l'étude de ces deux cas, d'analyser et de modéliser les raisonnements expérimentaux, et les inférences développées lors de leurs investigations ?

Structure logique du raisonnement expérimental

C. Debru (1998)[77], cherchant à caractériser le raisonnement développé par C. Bernard dans l'étude de l'empoisonnement à l'oxyde de carbone, le désigne comme "*éminemment complexe*" et il le compare à un "*apprentissage*". Multipliant les angles d'approche du même problème, C. Bernard émet progressivement et successivement différentes hypothèses possibles, et structure peu à peu un "*arbre de décision*". "*La logique élémentaire, appliquée à des expériences indépendamment de leur contexte, ne détermine pas à elle seule la conviction*", analyse encore Debru[78] , "*des données de sources multiples, liées à des idées préconçues, interfèrent avec la croyance*". Toutes les expérimentations effectuées par C. Bernard participent au raisonnement expérimental et, c'est en enrichissant ses procédures expérimentales qu'il finit par acquérir une conviction.

Pour Debru, les divers types d'inférences de la logique classique, induction et déduction, analogie et abduction, sont repérables dans la démarche bernadienne, isolément, mais aussi combinés, d'une manière implicite, dans les discussions et les interprétations. À côté de l'analogie, toujours présente, C. Bernard a surtout codifié l'expérimentation comparative, et n'a jamais cessé de prôner la nécessité des expériences témoins. Les séries d'essais, et l'induction à partir d'un grand nombre de cas, interviennent également. Fondamentalement, c'est sur l'abduction que se développe la démarche bernadienne. En permettant d'inférer de la singularité d'un phénomène nouveau à son mécanisme, l'abduction constitue la clé de l'interprétation causale des phénomènes.

[75] MOULIN, A.-M. (1995). La rivalité des deux pères de la médecine moderne reste bien vivante. *La Recherche*, 279, vol 26.
[76] RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In Collectif, *La problématique d'une discipline à l'autre* (pp.157-177). Paris : Adapt.
[77] DEBRU, C. (1998). *Philosophie de l'inconnu : le vivant et la recherche*. Paris : PUF.
[78] *Op. cit.* p. 59.

Les carnets de laboratoire

Les carnets de laboratoire de Pasteur (extrait du texte 9)

Mémoire de l'expérimentateur, les notes, les croquis, représentent le temps instantané des expériences en cours, et des résultats au jour le jour. Réunissant les travaux de plusieurs années, les carnets de laboratoire contractent aussi le temps avec les commentaires postérieurs, rajoutés, ou les allusions à des résultats, parfois très anciens. Traces des expérimentations entreprises puis abandonnées, des résultats non retenus, des critiques ou des rebondissements de questionnement, ces cahiers témoignent d'une pensée en action.

En utilisant les carnets de laboratoire de Claude Bernard, M. Grmek (1973)[79] a reconstitué les découvertes sur les mécanismes de l'intoxication à l'oxyde de carbone. Il rend compte de l'oscillation de la pensée, de la variation des expériences, et de l'évolution progressive des hypothèses. Cette reconstitution atteste de la reconstruction nécessairement *a posteriori*, et avec une apparence de linéarité, de la recherche décrite par Claude Bernard dans l'"*Introduction à l'étude de la médecine expérimentale"*.

Les cahiers de laboratoire de Pasteur que j'ai étudiés (texte 9) témoignent, eux aussi, d'une "*pensée en action*". On y constate toutes les traces d'un travail théorique et pratique, une formidable capacité de travail, avec une quantité de données brassées impressionnante. On y retrouve également l'importance donnée à la comparaison et à la précision, le sens de la vérification. À la rigueur de déduction d'analyse critique, Pasteur associe une constante confiance dans ses hypothèses. "*Cette expérience a été d'une netteté vraiment remarquable et qui ne laisse pas prise au plus léger doute"*, ai-je relevé dans les carnets de laboratoire de Pasteur, à la date du 22 février 1861.

Les carnets de laboratoire témoignent aussi du "droit à l'erreur" et des errements fréquents lors d'une recherche scientifique. Au 24 janvier 1860, Pasteur élargit son modèle d'étude à un liquide facilement altérable : le lait. Le lait, conservé dans les flacons à col sinueux, caille, mais ne se couvre pas de moisissures. La confiance de Pasteur dans la sinuosité des cols de ses flacons, pour se garantir de l'entrée des germes, le conduit à déduire une action chimique de l'air dans le caillé de lait : une interprétation provisoirement fausse.

L'étude de carnets de laboratoire de scientifique démontre l'ajustement progressif des idées et des expériences, et aide à différencier ce que je qualifierai d'*expérimentation constituante* et *expérimentation constituée*. Elle permet de distinguer la création de phénomènes nouveaux, dont les expérimentateurs furent les pionniers, et l'interprétation de ces phénomènes, qu'il est difficile de délimiter clairement dans les comptes rendus et les articles scientifiques terminaux. Comme je l'argumente plus loin, l'utilisation de tels documents contribue à une formation épistémologique des étudiants (texte 7, texte 32).

[79] GRMEK, M. (1973). *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*. Genève-Paris : Droz.

"La démarche expérimentale fait flèche de tout bois"

S'il est possible, pour chacun de ces deux scientifiques, d'identifier le type d'inférence mis en œuvre, à un moment précis d'une démarche, nous pouvons conclure, en reprenant les termes de Debru. "*Une impression prévaut : la démarche expérimentale, du point de vue logique, fait flèche de tout bois*"[80]. Jamais les décisions d'un scientifique, lors d'une investigation expérimentale, ne sont contraintes par une méthodologie extérieure et prédéterminée. "*Tout est bon*", argue la provocation de Feyerabend (1979)[81]. On présente parfois l'investigation comme si le concept était toujours construit par avance. Or, les classes de faits auxquelles on veut étendre une proposition se font par le travail même de l'induction, analysait déjà Dorolle. "*Il ne s'agit donc pas de savoir si, dans tel groupe, on continuera à trouver les mêmes propriétés, mais bien de dire comment on définira le groupe. (…) Le travail scientifique forme les concepts et les détermine à mesure de l'expérience*"[82]. Pour Claude Bernard, l'expérience *travaille* non seulement au rejet ou à la corrobation de l'hypothèse, mais elle travaille aussi à son idée. Dans ses écrits, il insiste sur l'importance donnée à l'hypothèse. Passant de l'hypothèse à la conclusion anticipée, il revient à celle-ci en intégrant les résultats expérimentaux. "*Il faut assurément questionner la vie, mais recueillir surtout les réponses qu'elle donne en marge ou en dehors du discours attendu*" commente Dagognet (1984)[83].

C'est à une "*pensée empirique inventive*" que Bachelard (1938) fait appel dans le raisonnement expérimental. "*Il faudrait ici créer un mot nouveau entre compréhension et extension pour désigner cette activité de la pensée empirique inventive*", argumente-t-il. "*Il faudrait que ce mot puisse recevoir une acceptation dynamique particulière. En effet, d'après nous, la richesse d'un concept scientifique se mesure à sa puissance de déformation. Cette richesse ne peut s'attacher à un phénomène isolé qui serait reconnu de plus en plus riche en caractères, de plus en plus riche en compréhension. Cette richesse ne peut s'attacher davantage à une collection qui réunirait les phénomènes les plus hétéroclites, qui s'étendrait d'une manière contingente à de nouveaux cas. La nuance intermédiaire sera réalisée si l'enrichissement en extension devient nécessaire, aussi coordonné que la richesse en compréhension. Pour englober des preuves expérimentales nouvelles, il faudra alors déformer les concepts primitifs, étudier les conceptions d'application de ces concepts et surtout incorporer les conditions d'application du concept dans le sens même du concept. C'est dans cette dernière nécessité que réside d'après nous le caractère dominant du nouveau rationalisme, correspondant à une forte union de l'expérience et de la raison. La division classique qui séparait la théorie de son application ignorait cette nécessité d'incorporer les conditions d'application dans l'essence même de la théorie*"[84].

---

[80] *Op. cit.* p.61.
[81] FEYERABEND, P. (trad. 1979). *Contre la méthode.* Paris : Seuil.
[82] *Op. cit.* p.60.
[83] DAGOGNET, F. (1984). Préface. In C. Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Champs Flammarion.
[84] BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin (rééd. 1967) p. 60.

Jamais, en sciences expérimentales, on ne peut concevoir une dualité entre rapport au réel et élaboration théorique, ou une opposition entre théorie et application. Jamais, on ne peut sous-estimer la matérialité et masquer le rapport à l'action. "*Pour être digne de ce nom, l'expérimentateur doit être à la fois théoricien et praticien*"[85], écrivait déjà C. Bernard.

Gingras et Godin (1997)[86], s'appuyant sur le cas de la physique, analysent l'importance de l'instrumentation dans une expérimentation. Ils commentent la succession des inférences qui en découlent, dont dépend la solidité de l'argumentation pour la validation des connaissances. À travers l'étude du cas Claude Bernard, Debru, de son côté, argumente des difficultés à formaliser un raisonnement expérimental. Présenter, dans l'enseignement de la biologie, une démarche expérimentale hypothético-déductive comme une transposition de "*démarche de chercheur*" apparaît donc une illusion, et semble bien relever d'un mythe. Que ce soit sous forme de *OHERIC*, de *PHERIC* ou de *THEORIC*[87], toute présentation de démarche linéaire constitue, de fait, une reconstruction, à finalité de démonstration.

Audace des idées et rigueur de la méthodologie

"*Pasteur et Bernard étaient tous deux des expérimentateurs, mais ils se distinguaient néanmoins sur un point méthodologique capital*", analyse Grmek. (1997). "*Bernard commençait en général par des hypothèses fausses qu'il abandonnait en cours de route. Son génie consistait à saisir l'inattendu. Pasteur, en revanche, expérimentait pour vérifier ses intuitions, pour apporter la preuve irréfutable de ses idées fondamentales*"[88]. Les carnets de laboratoire de Pasteur que j'ai étudiés (texte 9), témoignent, cependant, d'une approche parfois plus empirique, et de tâtonnements successifs, non dans la formulation des idées, mais dans la détermination et le contrôle des paramètres. Par ailleurs, une autre différence méthodologique différencie Pasteur et Bernard. Habitué à travailler sur le non visible, Pasteur utilise les micro-organismes, leurs manifestations chimiques et leurs observations microscopiques, tandis que Bernard, suivant en cela Comte, se méfiera toujours de l'usage du microscope, et utilise des organismes plus proches de l'homme comme modèle d'étude, essentiellement des mammifères.

Assuré et strict dans ses prémisses concernant une action spécifique des êtres vivants, rigoureux dans ses déductions logiques, et souple dans l'adaptation aux aléas de l'expérimentation : voilà comment F. Dagognet (1994)[89] caractérise le système théorique de Pasteur. Sûreté dans les idées, audace de l'imagination, rigueur des mises

---

[85] *Op. cit*. p. 27.

[86] GINGRAS, Y., GODIN, B. (1997). Expérimentation, instrumentation et argumentation. *Didaskalia*, 11 : 151-162.

[87] Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion .
Problème, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion .
Théorie, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion.

[88] GRMEK, M. (1997). *Le legs de Claude Bernard.* Paris : Fayard, p. 345.

[89] DAGOGNET, F. (1994). *Pasteur sans légende*. Paris : Synthélabo. Réédition de *Méthodes et doctrines dans l'œuvre de Pasteur* (1970).

à l'épreuve, attention dans les observations et habileté dans la pratique : voilà comment je caractérise sa méthodologie (texte 3, texte 9).

C. Bernard, de son côté, n'hésite pas, lui non plus, à concevoir des solutions contre intuitives au sens commun aux problèmes physiologiques. *"Il faut être hardi et libre dans la manifestation de ses idées*"[90], car les hypothèses travaillent d'elles-mêmes à leur rejet dans la confrontation à une méthodologie expérimentale rigoureuse. Mais, comme l'analyse encore Grmek, C. Bernard redoute les affirmations définitives et reste toujours très attentif aux résultats non attendus. Il entretient une *"culture du doute*", selon l'expression de A.-M. Moulin (1995)[91] et de C. Debru (1998)[92]. "*C'est le doute seul qui provoque l'expérience ; c'est le doute enfin qui détermine la forme du raisonnement expérimental*"[93].

Résistance du réel

Se confronter à la résistance du réel (extrait du texte 14)

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.
(…) 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 ?

Dans les travaux relatifs à l'origine des germes des carnets de laboratoire de Pasteur (texte 9), les résultats inattendus sont le plus souvent interprétés comme relevant d'un *artefact,* ou imputés à une maladresse de l'expérimentateur, ce qui l'oriente vers plus de vigilance, et des modifications de gestes ou de protocoles. Parfois, une observation surprenante, ou des résultats inattendus, peuvent aussi le conduire à revoir le cadre théorique qui sous-tend l'expérience. R. Dubos (1995)[94] relate que Pasteur, observant en 1859 sous son microscope une solution sucrée soumise à la fermentation butyrique, remarqua que les micro-organismes présents au bord de la goutte devenaient

[90] BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* . Paris : Flammarion Champs (éd. 1984). Chap. II, p. 73.
[91] *Op. cit.*
[92] *Op. cit.*
[93] BERNARD, C. (1865). *Op. cit.*, Chap. II, p. 83.
[94] DUBOS, R. (1995). *Louis Pasteur, Franc -tireur de la science.* Paris : La Découverte. (rééd PUF 1955).

immobiles, contrairement à ceux du centre. Pour Dubos, cette observation fortuite, orienta Pasteur vers l'hypothèse, opposée à la doctrine reçue, de toxicité de l'oxygène dans certaines conditions.

Les carnets de laboratoire témoignent de la résistance du réel, une résistance qui provoque une mise en tension entre idées et matérialité, et un ajustement graduel de la pensée et de la réalité. Le réel, et en particulier le vivant, résiste à la conceptualisation et oblige l'expérimentateur à des conceptualisations successives, mises à l'épreuve par de nouvelles confrontations au réel, avons-nous analysé (texte 9, texte 14).

Dans l'étude (texte 14) que nous avons consacrée aux enjeux éducatifs relatifs à la confrontation, lors de travaux pratiques de biologie au lycée, à un réel "moins aménagé", nous avons tenté de caractériser la résistance du réel, rencontrée lors d'une investigation du vivant. Le vivant, même s'il semble trivial de le rappeler, ne se réduit pas à quelques lois simples. Il ne se conceptualise, ni ne se modélise facilement. La résistance du réel est due à la variabilité du vivant, à ses dimensions, à sa complexité, à sa variabilité, à son irréversibilité. 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)[95]. Par ailleurs, afin de "prendre prise" sur cette résistance du réel, l'investigation du vivant nécessite souvent la mise en œuvre d'une somme de "*savoirs empiriques*" ou de "*savoirs locaux*"[96] (Clarke et Fujimura, 1996).

"Parce qu'il est expérimenté dans sa résistance, le monde physique ne peut pas être un simple fantasme", estime Pichot (1991)[97]. "*Jamais dans les sciences expérimentales la logique seule ne suffit*", pourrait-on conclure, en citant de nouveau Debru (1998)[98]. L'aspect instrumental et la confrontation matérielle dans l'expérimentation provoquent une mise en tension entre la pensée et la réalité qu'elle cherche à conceptualiser ou modéliser.

2.2.6. Les multiples dépassements de l'expérimentation

Dépassement des sens, dépassement des mains, dépassement des inférences

Une expérimentation représente un ensemble compliqué de mise au point de protocoles, de procédures, de recours à des instruments, matériels et théoriques.

- Cherchant à éviter les illusions provenant des sensations, prolongeant les sens en les instrumentant, objectivant les variations par la mesure, l'expérimentation apparaît comme un *dépassement des sens*.

[95] CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie.* Paris : Vrin.
[96] Les bulletins professionnels des professeurs de SVT contribuent, d'ailleurs, à mutualiser de tels "trucs", et les enseignants évaluent la qualité d'un manuel pratique de TP à la quantité et à la précision de tels savoirs.
[97] PICHOT, A. (1991). *Petite phénoménologie de la connaissance*. Paris : Aubier, p. 40.
[98] *Op. cit.* p.160.

- Au-delà de la simple manipulation, et envisageant la pratique expérimentale comme une création et un contrôle des phénomènes, l'expérimentation se présente comme un *dépassement des mains*.
- Nécessitant de multiples interactions entre les idées et la résistance du réel, les raisonnements dans l'expérimentation du vivant *dépassent les inférences* de la logique formelle.

Je propose de synthétiser, sous forme d'un tableau comparatif, les indicateurs caractérisant les changements entre perspective empirique et perspective expérimentale.

Tableau comparatif des indicateurs
Perspective empirique et perspective expérimentale

Perspective empirique	**Perspective expérimentale**
La nature et les pratiques sociotechniques	Une pratique sociotechnique : le laboratoire
Le vécu et le rapport pratique aux objets, la description d'objets et de phénomènes	Le détour et le rapport construit aux objets, la création de phénomènes
Le familier et le naturel	L'artificiel
Effort de catégorisation.	Effort d'analyse, d'objectivation et de mesure
Collecte d'observations et manipulations	Expérimentation
Données hors cadre théorique	Données avec cadre théorique
Savoirs et pratiques empiriques inclus ou issus des pratiques sociales	Mise au point de pratiques empiriques reproductibles et application
Recherche de régularités	Recherche d'invariants
Corrélations empiriques	Relations causales
Faits curieux et faits utiles	Faits exacts reproductibles
Récits et descriptions, recettes et formules Rapport d'expérience chronique	Comptes rendus expérimentaux. Rapport d'expérimentation méthodique

"Océan expérienciel" et "îlots expérimentaux"

Bachelard oppose les conceptions de l'empirisme et du rationalisme : aux conceptions de *continuité épistémologique* et *d'ancrage positif* dans le vécu de l'empirisme, le rationalisme oppose une *discontinuité épistémologique* et *l'ancrage polémique* dans le vécu. Mais ce n'est pas dans un rapport de filiation continue que j'envisage l'articulation d'une perspective empirique et d'une perspective expérimentale — c'est bien par rupture et par une permanente reconquête que la pensée rationnelle se construit —, mais dans un rapport de construction et de changement de postures. D'un point de vue didactique, et considérant l'épistémologie scolaire, le principe d'ancrage psychologique reste en effet indépassable : tout commencement chez le jeune élève ne peut être que psychologique.

Pour caractériser l'épistémologie des sciences, J.-L. Lemoigne (1995)[99] utilise la métaphore de l'"*île volcanique des sciences*", avec son "*cratère de l'Epistémé*", qui émerge de la "*mer de l'Empirie*". Je serais tentée, avec un point de vue didactique d'épistémologie scolaire, de retenir une image analogue pour caractériser, dans la construction d'un rapport expérimental au vivant, un "*océan continu expérienciel"* qui s'ouvre sur un vaste *"golfe d'empirie"* duquel émerge, de façon discontinue mais en réseau, des "*îlots expérimentaux*"[100].

L'expérimentation sollicite un dépassement des sens, un dépassement des mains et un dépassement des inférences. Elle nécessite une mise en tension entre la pensée et la réalité qu'elle cherche à conceptualiser ou modéliser. Une autre mise en tension provient des aspects sociaux, avec la nécessité d'argumentation dans les débats scientifiques, et le recours à une mise en texte et à une mise en scène d'expérimentation, comme moyens de conviction. Fonder les sciences du vivant présente, en outre, tout un ensemble spécifique de défis théoriques, éthiques, et pratiques.

[99] LE MOIGNE, J.-L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Paris : PUF Que sais-je ?

[100] G. Fourez emploie aussi une métaphore d'îlot dans "*îlot de rationalité*", mais dans un tout autre contexte qui est celui de l'interdisciplinarité. Les "îlots de rationalité" désignent la construction engagée par les sciences soit autour de questions concrètes, soit autour de notions courantes. FOUREZ, G. (1988). *La construction des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université (rééd. 1992) p. 112.

2.3. Défis théoriques, défis éthiques et défis pratiques

La spécificité de l'objet biologique a souvent été niée par les savants de courant scientiste. Les cas de Pouchet et de Pasteur (textes 3, 6, 9, 45), et l'examen plus particulier de la question des origines du vivant, permettent d'analyser quels sont les obstacles épistémologiques, pratiques et éthiques à l'expérimentation du vivant.

2.3.1. Pouchet et Pasteur

Deux programmes de recherche différents

La controverse sur l'origine des micro-organismes (1859-1864), ou querelle de la génération spontanée, est l'un des rares débat scientifique présenté dans l'enseignement de la biologie. Mais la présentation qui en est faite reste le plus souvent emprunte d'une vision scientiste et hagiographique. Dans ma thèse (texte 45, texte 3), j'ai étudié les composantes idéologiques qui avaient pu influencer le débat scientifique. J'ai analysé aussi les programmes de recherche de chacun des contradicteurs, qui forment le cœur de la controverse.

Programmes de recherche comparés de Pasteur et Pouchet (extrait du texte 3)

Félix-Archimède Pouchet	**Louis Pasteur**
Travail en **réseau** de chercheurs	Travail **solitaire** sur cette recherche
Thèse épistémologique "*Hétérogénie*" Possibilité de produire un nouvel être vivant sans parents, aux dépens de la matière organique. La force créatrice qui a donné naissance, à diverses époques, à tout ce qui vit sur Terre, ne produit plus actuellement que des formes inférieures.	**Thèse épistémologique** "*Omne vivum ex ovo*" Tout être vivant provient du germe, bien que la possibilité théorique d'une abiogenèse soit évoquée.
Modèle d'étude L'eau de foin et les infusoires qui montrent la déconstruction-reconstruction de la matière	**Modèle d'étude** L'eau sucrée albumineuse et la levure de bière. Les fermentations de liquides naturellement putrescibles (lait, sang, urine).
Recherche Dans un laboratoire de naturaliste, puis sur le terrain en appliquant les méthodes du chimiste	**Recherche** Dans un laboratoire de chimiste, puis sur le terrain avec des techniques de laboratoire
Démonstration (positive) Association d'arguments issus d'observations et d'expérimentations pour prouver la possibilité d'une génération spontanée	**Argumentation (réfutatrice)** Expérimentations personnelles. Réfutation de certaines expérimentations des hétérogénistes qualifiées de "fautives" (cuve à mercure).
Nombreuses observations microscopiques Dans l'air : constat de la rareté d'éléments organisés dans les poussières. Dans l'eau : observation des phases embryologiques de la formation de "l'œuf spontané".	**Observations microscopiques réduites** Habitude prise avec les cristaux de travailler sur du non visible. À l'observation directe au microscope, le chimiste adjoint les manifestations indirectes des micro-organismes, essentiellement les odeurs et les acides de leur production.

S'il y a eu victoire de Pasteur sur Pouchet, c'est une victoire par abandon, et non pas par KO, contrairement à une vision, encore fréquemment développée dans la vulgarisation ou l'enseignement, de progrès linéaire et de victoire de la vérité sur l'erreur, héritée du XIXe siècle. Les théories hétérogénistes ont fonctionné avec des concepts dont l'heuristique s'est éteinte, et des méthodologies, partiellement sanctionnées par réfutation expérimentale de Pasteur qui a imposé un nouveau paradigme.

Choix d'un modèle d'étude

Comme le souligne G. Canguilhem (1965)[101], rien n'est plus important pour un biologiste que le choix d'un matériel d'étude. Pasteur utilise essentiellement l'eau de Levure, un matériel qu'il connaît bien, depuis ses travaux sur les fermentations. Il élargira, par la suite, ses modèles d'étude aux liquides organiques : le lait, le sang, l'urine. Pouchet a recours aux infusions de foin : un choix malchanceux, car on ignorait alors la phase endospore, hautement résistante, du cycle du Bacille subtil. Si Pasteur avait repris le matériel d'étude de Pouchet, et les pratiques de stérilisation de l'époque, il aurait pu constater une "génération spontanée". C'est la controverse, dans les années 1876-1877, entre Pasteur et Bastian, qui mettra en évidence la résistance extrême des spores bactériennes.

Importance du vitalisme

Avant de travailler sur l'origine des micro-organismes et de proposer une validation expérimentale d'une théorie de génération spontanée, Pouchet avait étudié les cycles sexuels des mammifères femelles et de la femme. Il avait mis en concordance cycles ovarien, utérin et vaginal, et démontré l'ovulation spontanée, à un moment précis du cycle sexuel. Dans la théorie de l'*Hétérogénie*, il n'envisage aucune possibilité de production spontanée d'adultes, mais une génération spontanée d'œufs qui procède par les mêmes voies que la génération sexuelle. En effet, pour lui la "*force plastique*" rassemble dans un organe particulier les éléments primitifs de l'organisme : ovule dans l'ovaire, œuf spontané dans la membrane proligère (qui se forme à la surface des infusions de foin et qui montre la déconstruction/reconstruction de la matière organisée). L'Hétérogénie apparaît donc comme un prolongement de la théorie de l'ovulation spontanée, fortement emprunte de vitalisme. Son approche expérimentale cherche à éviter une entrée éventuelle de germes, tout en respectant les "*conditions vitales*" pour permettre un développement spontané (température, oxygène…).

Le vitalisme de Pouchet constitue un obstacle dans son approche des phénomènes biologiques, mais il est constructif lors de la controverse avec Pasteur : l'analyse critique des techniques chimiques conduit à faire évoluer les protocoles expérimentaux.

[101] CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.

Séparer sans détruire

Contrairement à d'autres chimistes, l'un des fondements théoriques de Pasteur est fondé sur la distinction du vivant et de l'inerte. Pasteur, bien que refusant tout vitalisme, est soucieux du respect des conditions de viabilité. Par le recours à des ballons à col effilé, il invente un procédé qui permet de séparer les germes, sans les détruire par ébullition. Pour une approche réellement biologique de la chimie du vivant, il faut donc concilier une méthodologie respectant la vitalité et l'analyse matérielle physico-chimique.

Contrôler pour convaincre

Conquérir les germes, pour Pasteur, c'étaient contrôler leur entrée, et mettre en scène leur apparition dans des flacons de verre, pour convaincre la communauté scientifique. La mise en scène de la preuve expérimentale s'est fait brillante, y compris pour le grand public, lors d'une conférence prononcée à la Sorbonne, quelques semaines avant la deuxième commission académique qui devait juger les contenus du débat. Pasteur a compris l'impact que pouvait représenter une expérience publique, pour faire adhérer à ses théories. La vaccination expérimentale de moutons contre le charbon, organisée à Pouilly-le-Fort en 1881, constitue une démonstration magistrale.

La diffusion des résultats dans l'avancée même de la science

Nécessité de la diffusion comme mise à l'épreuve de savoirs (extrait du texte 7)

Les études sur l'histoire de la diffusion des sciences intéressent le didacticien par plusieurs aspects. La diffusion et l'utilisation du savoir dans la société peuvent tout d'abord être interprétées comme une "expérimentation à grande échelle". Elles présentent alors des éléments de réflexion épistémologique en montrant la *nécessité de la diffusion comme validation de savoirs* : l'utilisation par la société de conséquences pratiques des savoirs scientifiques, dans le domaine médical ou agronomique par exemple, contribue à tester la validité de ces savoirs. (…)

Le didacticien s'interroge sur toutes les situations d'appropriation de savoir, que celles-ci soient formelles en situation scolaire, ou non formelles comme dans le cas de la vulgarisation scientifique. Le recul historique facilite l'analyse de la diffusion des savoirs scientifiques : des aides et des obstacles à cette diffusion, en particulier sociologiques ou idéologiques peuvent ainsi être mis en évidence. Exemple de succès : le courant social hygiéniste de la fin du XIXe a facilité la popularisation des théories Pastoriennes (Salomon-Bayet, 1986). Exemple d'échec : les lois "contraceptives" de Pouchet de 1842 ont très peu diffusé dans la société alors que les lois Ogino, basées sur des principes analogues de contrôle volontaire de la fécondité par connaissance du cycle féminin et abstinence périodique, connaîtront le succès un siècle plus tard ; des obstacles idéologiques et une demande sociale différente à cette période ont pu intervenir dans cette non-réception par le public (Cantor, 1994).

La vulgarisation de savoirs scientifiques et l'utilisation de savoirs pratiques dans la société peuvent constituer des processus de validation de ces connaissances, elles peuvent également en révéler les limites d'utilisation (Canguilhem, 1961)[102]. L'incorporation culturelle devient donc une étape de mise à l'épreuve du savoir. C.

[102] CANGUILHEM, G. (1961). Nécessité de la diffusion scientifique. *Revue de l'enseignement supérieur*, 3.

Salomon-Bayet (1986)[103] et D. Raichvarg (1995)[104] l'ont montré pour le cas de l'hygiène : l'efficacité des pratiques antiseptiques issues du débat sur la génération spontanée et du développement de la microbiologie ont contribué à valider les théories microbiennes. Je l'ai discuté pour les méthodes contraceptives (texte 3) : l'échec relatif des pratiques de contrôle volontaire de la fécondité, par repérage de la période de fécondation et abstinence périodique (les *lois Pouchet*), limite la validité des connaissances relative au cycle féminin. La diffusion de pratiques issues de savoirs scientifiques représente, en effet, une application de la théorie, ce qui informe et peut contribuer à valider ou à sanctionner ces savoirs.

Une prise en compte de la morale

Extrait de *Épicrisis* (F.A. Pouchet, vers 1842)
(extrait du texte 3)

> Je n'ai pas été jusqu'à déceler les moyens d'en faire l'application, mais d'autres s'occuperont de ce soin si la philosophie et l'économie politique en reconnaissent un jour l'urgence. Car quoiqu'il me semble que la société doive gagner les avantages par la divulgation des lois pouvant apporter de l'ordre social, elles se trouveraient immanquablement souillées par quelques nouveaux germes de corruption ainsi que par de déplorables scandales. J'aime mieux attendre (…).
> Il semble bien que le physiologiste tienne entre ses mains la boîte de Pandore, mais dans le silence et la méditation, il doute, il hésite, il ne sait pas s'il doit toucher au moment solennel et l'ouvrir en laissant s'échapper dans le sein des sociétés les biens et les maux qu'elles contiennent ? Rendons hommage à la sagesse et à la philosophie.
> J'ai publié cet écrit parce que j'y vois un remède à bien des turpitudes ou bien des maux, à bien des scandales. Je l'ai posé scientifiquement, d'autres après moi, si ces principes sont salutaires, en deviendront les vulgarisateurs.

Les recherches que Pouchet a réalisées sur le cycle féminin (1842, 1847) l'ont conduit à envisager le repérage d'une période agénésique, et une possibilité éventuelle d'un contrôle volontaire de la fécondité. Un ensemble de fiches manuscrites, découvertes dans les archives du muséum de Rouen, et classées sous le vocable de *Épicrisis*, témoignent d'une réflexion philosophique et morale de Pouchet à propos de ses recherches, avec une préoccupation que l'on pourrait, de nos jours, qualifier "*d'éthique*".

Choisir un matériel d'étude adéquat, inventer des protocoles expérimentaux qui respectent la vitalité, développer un souci éthique : trois préceptes que j'ai commentés pour les cas Pouchet et Pasteur. Plusieurs obstacles, épistémologiques, pratiques et éthiques sont, de fait, à surmonter dans l'expérimentation du vivant.

[103] SALOMON-BAYET, C. & *al*. (1986). *La révolution pastorienne*. Paris : Payot.
[104] RAICHVARG, D. (1995). *Louis Pasteur l'empire des microbes*. Paris : Découvertes Gallimard.

2.3.2. Obstacles à l'expérimentation du vivant

Obstacles épistémologiques à l'expérimentation du vivant (extrait du texte 14)

> Le réel, et le vivant en particulier, ne se conceptualise, ni ne se modélise facilement. La résistance du réel est due à la diversité, à la variabilité (inter-individuelle et intra-individuelle) et à l'irréversibilité du vivant, à ses dimensions, à sa complexité. (…) 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 oestrus ou qu'elle allaite ses souriceaux ?
> 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.

Canguilhem (1965)[105] a déjà analysé plusieurs problèmes généraux relatifs à l'expérimentation du vivant : la spécificité, l'individualisation, la totalité et l'irréversibilité. Remarquons que certains de ces problèmes sont en relation avec les caractéristiques fondamentales de tout être vivant, d'autres concernent les individus retenus par l'expérimentateur. Rappelons, en outre, la difficulté dans une investigation biologique ou en sciences humaines à bien séparer sujet observant et objet observé ou expérimenté (texte 53).

La singularité et la variabilité

La spécificité de l'objet biologique

L'expérimentateur choisit un matériel biologique privilégié pour effectuer ses recherches : les investigations, en effet, n'ont lieu que sur une, voire quelques espèces, utilisées comme modèle biologique ou *modèle d'étude*. Certains modèles biologiques sont "utilisés" tels quels, d'autres sont "fabriqués" par manipulation génétique, par exemple les souris SCID. La standardisation de ces modèles d'étude conduit à une industrialisation, pour les besoins de la recherche et de l'enseignement, de leur production. Les raisons du choix du modèle peuvent être soit négatives (impossibilité éthique d'expérimenter sur l'homme pour la biologie humaine, disponibilité des animaux, taille, coût d'entretien…), soit positives (particularités anatomiques ou physiologiques, caractéristiques du cycle de vie…). Nous avons vu, auparavant, l'importance de ce choix. Certains modèles d'étude, en effet, apparaissent *a posteriori* comme particulièrement judicieux ou chanceux, par exemple le choix de Morgan de la drosophile pour la génétique. D'autres se révèlent malencontreux : l'infusion de foin utilisée par Pouchet pouvait contenir des endospores de Bacille subtil hautement résistantes, tandis que la lapine, utilisée tout au long du XIXe siècle pour l'étude de

[105] *Op. cit.*

l'ovulation, représente une exception chez les mammifères, avec une ovulation provoquée par le coït (texte 3, texte 45).

L'individualisation.
La singularité de chaque organisme est irréductible. Contrairement au physicien qui travaille sur des classes d'objets, le biologiste n'expérimente que sur des ensembles. La variabilité peut être diminuée par des procédés expérimentaux : utilisation de lignées pures au niveau des organismes, recours au clonage au niveau cellulaire. Les objets biologiques expérimentaux sont ainsi "normalisés". Avec le clonage, il est possible de produire de l'identique et, de ce fait, d'expérimenter sur des cellules équivalentes. Avec le concept de soi et de non soi et l'immunologie, cette singularité devient, par elle-même, un objet d'étude.

Prise en compte de la variabilité
C'est donc un principe de méfiance qui prédomine vis-à-vis de toute généralisation incontrôlée. "*Aucune acquisition de caractère expérimental ne peut être généralisée sans d'expresses réserves*", explique Canguilhem, "*qu'il s'agisse de structures, de fonctions et de comportements, soit d'une variété à une autre dans une même espèce, soit d'une espèce à une autre, soit de l'homme à l'animal*"[106]. Lors de l'expérimentation, le biologiste doit prendre en compte cette variabilité :

- soit en développant une pensée statistique (Schwartz, 1994)[107], la thèse en cours de J.-M. Lange étudie d'ailleurs les rapports entre mathématisation et expérimentation ;
- soit en relativisant ses résultats, et en développant de la prudence par rapport à toute extension. L'approche déterministe de C. Bernard refusait l'utilisation de la statistique, mais évitait toute généralisation excessive.

La flèche du temps
La normalisation des organismes utilisés dans la recherche biologique est recherchée mais difficile car, en plus de la variabilité, le vivant présente une constante évolution temporelle. Les modifications que présentent les organismes sont conséquentes de processus physiologiques normaux tels les rythmes biologiques, ou bien la croissance, la gestation, ou la sénescence, ils peuvent aussi provenir d'altérations qui aboutissent à des états pathologiques. Il est nécessaire, en outre, de prendre en considération le fait que l'expérience, elle-même, transforme l'organisme : ainsi un individu, immunisé à l'égard d'un agent, réagit différemment à son égard après l'intervention, ainsi les conditions matérielles dans lesquelles est maintenu l'animal de laboratoire (captivité, isolé ou bien en groupe…) le modifie. Le vivant est définitivement dans le provisoire. L'organisme vivant se transforme au fur et à mesure de l'étude, les populations de micro-organismes mutent et évoluent, s'adaptent au milieu.

[106] *Op. cit.* p.27.
[107] SCHWARTZ, D. (1994). *Le jeu de la science et du hasard. La statistique et le vivant.* Paris : Flammarion.

Le tout et la partie

Cuvier, considérant que l'expérimentation séparait des parties organisées qui devaient rester réunies, estimait qu'elle n'était pas applicable aux êtres vivants. La totalité d'un organisme constitue, en effet, un obstacle pour une approche analytique. Pour l'expérimentation, le biologiste coupe, sépare, divise. Mais l'expérimentation ne détourne-t-elle pas de la connaissance de l'état normal, interroge Goldstein (1951)[108] ? L'organisme, en effet, réagit dans sa totalité, et tente de s'adapter malgré les mutilations subies. Pour l'expérimentation, le biologiste doit fractionner les difficultés, mais de multiples régulations et coordinations relient les fonctions du vivant, et les organes sont souvent polyvalents. C. Bernard, lui-même, défend les principes méthodologiques de l'harmonie et de la solidarité[109]. "*Proscrire l'analyse des organismes au moyen de l'expérience, c'est arrêter la science et nier la méthode expérimentale ; mais d'un autre côté, pratiquer l'analyse physiologique en perdant de vue l'unité harmonique de l'organisme, c'est méconnaître la science vitale et lui enlever tout son caractère*"[110], commente-t-il. Une extension indispensable, après une étape de réduction au laboratoire, est la prise en compte de l'organisme entier.

La physiologie, la constance du milieu intérieur et le métabolisme, se prêtent bien à l'expérimentation et offrent nombre de paramètres à mesurer. La *forme* du vivant, qui assure la persévérance de l'être tout au long la durée de vie reste, par contre, plus difficile à appréhender. Les expériences de régénération du vivant ou celles réalisées en embryologie apparaissent décisives dans la compréhension du vivant comme auto-organisation, mais de nombreux obstacles persistent dans l'analyse de la capacité du vivant à se constituer et à se maintenir en une entité distincte par elle-même.

Vitalité et réduction

Le biochimiste doit se préoccuper de la "vitalité" (extrait du texte 19)

La problématique du biologiste est différente d'une problématique uniquement physico-chimique. La décomposition, l'analyse du "niveau d'organisation supérieur" par "un niveau d'organisation inférieur" (Jacob,1970) principe méthodologique de "réduction" du vivant, s'oppose à la prise en compte de la "totalité". Décrire les réactions chimiques isolées en tubes à essai constitue un progrès, mais ne suffit pas. Le métabolisme est localisé, régulé, adapté aux changements de milieu : les réactions chimiques du vivant sont couplées en chaînes, en cycles, en réseaux, dans des conditions spatio-temporelles particulières. Voilà ce qui conduit à se préoccuper de la "vitalité" du vivant, en plus de sa "matérialité".

"*Il est remarquable*", soulignait Bachelard, "*que, d'une manière générale, les obstacles à la culture scientifique se présentent toujours par paires*". Pour inventer des procédés d'analyse et d'investigation, le biochimiste doit surmonter deux paires d'obstacles interagissantes: *vitalisme et mécanisme*, *réductionnisme et holisme*.

(…) D'une manière générale, on range sous la dénomination de vitalisme les théories biologiques qui tendent à distinguer nettement les processus vitaux des autres phénomènes physiques ou chimiques. Les analyses épistémologiques de Bachelard et de Canguilhem ont mis en évidence qu'un vitalisme

[108] GOLSTEIN, K. (1951). *La structure de l'organisme*. Paris : Gallimard (1934).
[109] *Op. cit.* Chapitre 2 de la partie 2 : "Considérations spéciales aux êtres vivants".
[110] BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, p. 139.

latent pouvait se développer dans l'inconscient avec une valorisation de la vie et de la mort. Si, depuis la moitié du XIXe siècle jusqu'au début du XXe siècle, le vitalisme classique s'est réduit peu à peu à une illusion de théorie scientifique, on doit reconnaître qu'en certains de ses aspects, le recours à une prise en compte de la "vitalité" reste une tendance naturelle de toute biologie qui tente de rendre compte de la spécificité des phénomènes biologiques étudiés.

L'article, rédigé conjointement avec B. Desbeaux-Salviat, propose une analyse historique et épistémologique des fondements de la biochimie, et critique les approches réductrices, uniquement physico-chimiques, de l'abord de la biochimie dans l'enseignement des SVT au lycée (texte 19).

Prise en compte de la "vitalité" dans l'investigation du vivant

La prise en compte de la vitalité conduit tout d'abord à restreindre l'intervention dans la limite des phénomènes vitaux. L'expérimentation *in vivo* nécessite le maintien en vie de l'organisme. L'expérimentation *in vitro* (cellules, tissus ou organes) réclame la mise au point et l'utilisation d'un milieu artificiel, et de conditions qui puissent préserver l'organisation des systèmes biologiques et le déroulement des fonctions, celles-ci exigeant, pour leur entretien, un continuel échange de matière et d'énergie avec l'entourage.

La "*vitalité*" se traduit par la croissance et le renouvellement constant de l'organisme, selon une forme spécifique, par l'auto-organisation et une régulation de régulations. L'organisation du matériel biologique lui confère, en outre, des propriétés fonctionnelles que ne possède pas le matériel minéral : mobilité, excitabilité (ou sensibilité), adaptation et autoreproduction. *"La méthode, exclusivement analytique et expérimentale, a considérablement renforcé l'efficacité et la scientificité du travail du biologiste*", constate Pichot (1993). Il manifeste, cependant, contre la méthode analytique et expérimentale de la biochimie et de la biologie moléculaire, à laquelle tend à se réduire parfois la physiologie. Elle a *"amené une "physicalisation" telle que l'on a parfois l'impression que, pour rendre scientifique la biologie, il a fallu nier toute spécificité à son objet*"[111]. Peut-on réduire la biochimie à la chimie ? Non, argumentait déjà le biochimiste Hopkins (1913)[112] car le vivant "*crée l'inattendu*", et sa compréhension passe par une prise en compte de la "*vitalité*" et une sensibilité particulière du chercheur (texte 19). Ainsi est-il fondamental de se poser la question de la signification biologique des produits analysés. Est-ce qu'un produit a une importance structurale, fonctionnelle ou ne s'agit-il que d'un déchet métabolique ?

Par ailleurs, l'organisme peut être un sujet d'étude, il n'en demeure pas moins un être vivant, et à ce titre, il peut innover et ruser avec l'expérimentateur. 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*

[111] PICHOT, A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris : Gallimard, p. 937.

[112] HOPKINS, F.G. (1913). The dynamic side of biochemistry. *B.A.A.S.*, 83th meeting, Birmingham, 652-668. Traduit par B. DESBEAUX-SALVIAT (1997). *Un modèle biologique , le cycle de Krebs : découverte, diffusion, enseignement à l'université et au lycée*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud.

lois physiques, aux problèmes physiologiques proprement dits"[113]. En outre, la mobilité et la sensibilité de l'organisme permettent de nombreuses interactions avec l'environnement physico-chimique, dont les conséquences resteront longtemps difficilement modélisables dans les voies moléculaires.

Prise en compte des interactions avec le milieu

Les recherches analytiques et expérimentales ne prennent pas toujours en compte le milieu de vie de l'organisme. Pourtant de très nombreux facteurs écologiques peuvent intervenir pour modifier les caractères d'un individu, même dans le milieu contrôlé que représente le laboratoire. "*Il reste beaucoup à faire pour définir l'état nutritionnel des animaux utilisés*"[114], notait M. Sabourdy, en 1967, à propos de l'expérimentation animale. Son ouvrage présente les facteurs écologiques qui peuvent intervenir dans l'expérimentation animale et qu'il serait nécessaire de contrôler. Ceux-ci apparaissent multiples : facteurs physiques, tels la température, l'humidité de l'atmosphère, la lumière, les facteurs saisonniers, ou le bruit ; facteurs nutritionnels et régime alimentaire ; facteurs biologiques avec les effets de groupe, la manipulation, les facteurs olfactifs, le rythme nycthéméral, les facteurs maternels (milieu utérin, condition de gestation de la mère…), les facteurs infectieux… Il paraît bien difficile que des expérimentateurs puissent contrôler l'ensemble de ces facteurs.

Tous les organismes, y compris les micro-organismes, dépendent d'un milieu, qu'en retour, ils transforment. C'est, peut-être, la prise en compte du milieu qui a constitué les racines de "*l'exception française*" dans la biologie moléculaire et la génétique expérimentale des années 1960. J.-P. Gaudillière (1998) analyse, en effet, qu'en France à cette époque, la montée en puissance de la génétique biochimique est entrée en résonance avec des préoccupations plus physiologiques. Les scientifiques français s'attachèrent à "de*s systèmes qui permettaient de tenir ensemble gènes, métabolisme et influence du milieu de culture*"[115]. Alors qu'outre-Atlantique, l'école de T. Morgan développe une génétique uniquement chromosomique, fondée sur des pratiques de comptage et de cartographie, la prise en compte, par les généticiens français, des liens entre gènes, capacité d'adaptation et mécanismes de réponses du vivant à des changements de milieu, fonde ce que Gaudillière dénomme une "*génétique physiologique*" qui conduira à la découverte et à la compréhension des gènes de régulation.

Limites des approches uniquement physico-chimiques

Les recherches expérimentales sur les organismes complets sont de plus en plus rares : expériences sur l'adaptation à l'apesanteur, en physiologie et en biologie, investigations relatives au comportement en éthologie, études sur la dynamique des populations en écologie, croisement contrôlé en génétique des populations ou bien encore test de culture en pleins champs en agronomie… La plupart des recherches biologiques actuelles se situent au niveau des tissus et des cellules *in vitro*, et avec des méthodes

[113] Cité par G. CANGUILHEM (1965). *La connaissance de la vie*. Vrin (rééd 1980) p. 33.
[114]SABOURDY, M. (1967). *L'animal de laboratoire dans la recherche biologique et médicale*. Paris : PUF. p.16.
[115] GAUDILLIERE, J.-P. (1998). *La Recherche*, 1108 : p. 91.

essentiellement physico-chimiques. Pour Comte et de nombreux physiologistes de la fin du XIXe siècle, la biologie devait se subordonner à la chimie. "*Les phénomènes de la vie sont des phénomènes physiques et chimiques*", écrit Charles Richet, titulaire de la chaire de physiologie à la faculté de médecine de Paris, en 1893. "*La physiologie est un chapitre de la physique et de la chimie. (…) Je serais tenté de mettre à l'entrée d'un laboratoire de physiologie : "Nul n'entre ici s'il n'est physicien ou chimiste*"[116]. Pasteur et Claude Bernard ont milité tous deux pour une approche physico-chimique de l'être vivant, mais tous deux également ont argumenté de l'impossibilité d'expliquer le vivant uniquement par des mécanismes physico-chimiques. L'essentiel de la biologie est "*non l'analyse de substances et de phénomènes organiques, mais l'analyse de substances et de phénomènes organisés*"[117], notait Claude Bernard. "*Si un chimiste fait de la physiologie, il la fait trop simple et il veut absorber la physiologie dans la chimie (…) C'est l'inverse qu'il faut faire… En un mot, le physiologiste fait la physique et la chimie des corps vivants*"[118].

On peut, dans une approche systémique, considérer le vivant comme un ensemble de systèmes biologiques dynamiques, organisés et régulés. Ainsi, c'est bien en tant que systèmes concrets, dont il rappelle la définition, et qui constituent autant d'objets biologiques que le biologiste F. Chevallier (1984)[119] envisage la modélisation du vivant, en particulier la modélisation compartimentale.

- Une ou plusieurs parties d'un système constituent un *sous-système*. Il est fréquent qu'une de ses parties devienne elle-même décomposable en un certain nombre d'autres sous-systèmes. Ainsi, la topologie d'un système n'est parfaitement définie que lorsque la description de celui-ci ne comporte que des parties indécomposables nommées *compartiments*.
- Le système étant un *objet structuré,* celui-ci est défini par rapport à un environnement, son *biotope*. Ainsi un système n'est défini qu'en prenant en considération l'objet et l'extraobjet dans lequel il baigne. Il peut exister, hormis des relations intercompartimentales, des relations entre les compartiments du système et son biotope.
- Un système n'est pas un objet immuable en soi. Une propriété fondamentale, mais pas forcément générale, des systèmes concerne leur *capacité à évoluer*.
- Un système possède un degré de complexité supérieur à celui de chacune de ses parties prises individuellement. Certaines des propriétés du système sont irréductibles à celles de ses parties. C'est dans l'*émergence* de propriétés particulières et propres à un système donné que réside l'originalité de la notion de système.

Les principes d'organisation et de fonctionnement de ces systèmes font, bien sûr, appel aux lois communes de la physique. Mais ces systèmes sont, d'un point de vue thermodynamique, ouverts, avec échange de la matière et éventuellement d'énergie avec le milieu extérieur. Pour maintenir constamment une évolution disjointe de celle de

[116] RICHET, Ch. (1893). *Travaux du laboratoire*. Tome 2. Paris : Alcan, p. 12.
[117] BERNARD, C. *Principes de Médecine expérimentales*. Paris : PUF (publié en 1947). Préface p.XVII.
[118] *Op. cit.* p. 245.
[119] CHEVALLIER, F. (1984). *Systèmes et modèles. Une introduction à la méthode des indicateurs*. Paris : Éditions du CNRS, pp.18-19.

l'environnement, le métabolisme de tout système vivant tend à réguler les multiples déséquilibres et à maintenir l'écart physico-chimique entre lui et son milieu. "*La capacité unique qu'a le matériel biologique d'associer des réactions endergoniques à des réactions exergoniques, pour construire un édifice moléculaire ordonné, le distingue sans aucune ambiguïté possible du matériel minéral*"[120] notait F. Chevallier. De plus, cette propriété originale est limitée à la durée qui définit la durée de vie. Les réactions chimiques dans le vivant se présentent, en outre, dans des structures hiérarchisées dans l'espace (importance de la compartimentation) et dans le temps (existence de fonctionnement en cycle). La compartimentation des systèmes vivants a pour conséquence que les réactions chimiques sont beaucoup plus hiérarchisées et localisées que ce qui se passe dans un tube à essai. Il ne s'agit donc jamais d'une transposition pure et simple des méthodes de la physique et de la chimie.

Par ailleurs, la complexité des phénomènes biologiques nécessite de prendre de multiples précautions, aussi bien dans le recueil de données expérimentales que dans leurs résultats. Si, en Physique, on peut intervenir sur un phénomène par variations séparées et plus ou moins grandes de l'intensité de facteurs, en Biologie, il est souvent nécessaire de procéder par des modifications extrêmement graduelles : par exemple, en embryologie expérimentale, détruire progressivement et avec précision certaines cellules pour pouvoir suivre leur lignée. De plus, si en Physique les facteurs contrôlés relèvent uniquement de la "physico-chimie", en Biologie, ces facteurs peuvent interagir avec des facteurs biotiques, par exemple dans le cas de la levée de dormance d'une graine.

Une expérimentation biologique véritable

"*Ces difficultés de l'expérimentation biologique ne sont pas des obstacles absolus mais des stimulants de l'invention*"[121], argumente encore Canguilhem. Le biologiste, et plus particulièrement le physiologiste, importe du matériel et des techniques d'autres disciplines, mais il doit inventer des stratégies originales pour combler ces difficultés : les greffes d'organes, l'utilisation de poisons, la recherche de modèles expérimentaux spontanés… Il n'y a pas de sciences expérimentales sans instrumentation. Dans le cas de la biologie, le *scalpel chimique* apparaît comme particulièrement approprié. "*Il revient aux biologistes d'inventer des moyens ingénieux et souvent obliques, qui leur permettront d'ouvrir sans casser, de surprendre les liens sans les lacérer ni les déchiqueter. C'est cela la Biologie véritable",* commentait Dagognet. Les parties de tout système biologique n'existent que par la totalité du système. Ne pas les séparer, c'est rester dans la confusion, mais les séparer conduit à la réduction. *"Nous devons définir la physiologie comme une des ruses les plus efficaces et prométhéennes, une stratégie de guerre par laquelle on sépare sans décomposer et sans altérer"*[122]. Tout expérimentateur doit tenir compte de ces obstacles, dans le protocole de l'expérimentation et dans l'interprétation des résultats.

[120] *Op. cit.* p. 42.
[121] *Op. cit.* p. 32.
[122] DAGOGNET, F. (1975). *Pour une théorie générale des formes*. Paris : Vrin.

Finalement, et comme le décrit si joliment la métaphore de Canguilhem, une méthode expérimentale, c'est une *"route tracée dans le monde du hérisson"*[123], hors de la logique biologique propre à ce dernier. Actuellement, il n'y a qu'une minorité d'étudiants scientifiques qui bénéficie d'une formation épistémologique, en France. Une réflexion épistémologique contribue, pourtant, à mieux comprendre une discipline scientifique, ses objets d'étude et ses méthodes. Prendre en considération les questions de méthodologie et d'histoire des sciences représente aussi une base de réflexion culturelle et de formation professionnelle. Le soutien au développement de tels enseignements, dans l'ensemble des universités scientifiques et technologiques, ne peut donc être que positif. En outre, pour permettre aux jeunes de mieux appréhender la spécificité du vivant, ne peut-on pas envisager une initiation de tel ordre dès le lycée, non pas de façon disjointe mais associée aux apprentissages scientifiques ? Bien sûr, cela nécessiterait que la formation initiale et continue des professeurs de SVT s'accorde à un tel projet.

En plus des obstacles épistémologiques et pratiques, plusieurs défis éthiques dans l'expérimentation du vivant sont à relever.

Des défis éthiques

Expérimentation de l'homme et de l'animal

L'expérimentation sur l'homme a, en premier, suscité de vives interdictions, prises ou non en considération, selon l'époque ou les cultures, la tragique histoire récente ne nous le rappelle que trop (Mûller-Hill, 1989)[124]. Développer des considérations sur l'homme, comme un objet quelconque d'expérience, indépendamment d'une visée ou d'un prétexte thérapeutique est l'un des indicateurs retenu par C. Salomon-Bayet (1978)[125] dans l'institutionnalisation d'une science de la vie, nous l'avons vu. Maupertuis et D'Alembert ont marqué la progression de ce qui leur semblait licite : le cadavre, l'animal, le criminel poussé par appât d'une remise de peine et l'auto-expérimentation. Magendie est contre toute intervention : considérant l'étherisation, pourtant destinée à anesthésier, comme une expérimentation sur l'homme il la qualifie d'"*immorale*". Plusieurs chercheurs ont recours à l'auto-expérimentation : Davaine s'auto-infecte avec des parasites, Brown-Séquard s'injecte des extraits tissulaires, tandis que Claude Bernard a recours au jeûne volontaire et au changement de régime alimentaire afin d'en contrôler les conséquences sur ses urines…

Pasteur, n'étant ni physiologiste ni médecin, confie à des collaborateurs l'intervention expérimentale sur l'animal ou sur l'homme malade, mais il écrit, en 1884, à l'empereur du Brésil pour proposer des expériences d'inoculation sur des condamnés à mort (Raichvarg, 1995)[126]. Tandis qu'à la même période, Paul Bert, dont les recherches sur

[123] *Op. cit*. p. 39.
[124] MULLER-HILL, B. (1989). *Science nazie Science de mort*. Paris : Odile Jacob.
[125] *Op. cit.*
[126] *Op. cit.*

la respiration l'ont conduit à une importante expérimentation animale, s'offusque publiquement des expériences de physiologie menées sur les têtes des décapités (Raichvarg, 1997)[127]. "*Il y a bien longtemps qu'on observe et expérimente sur le corps des suppliciés. Ces pratiques ont même été jadis une ressource très sérieuse pour l'éducation anatomique du médecin. Mais ce n'est que dans ces derniers temps qu'on leur a demandé des renseignements purement physiologiques*". Des expériences de remise en circulation artérielle de tête de chien ayant été tentées par Brown-Séquart, certains physiologistes envisagent, en effet, de renouveler l'"expérience" sur une tête humaine. "*Halte là !"* clame Paul Bert dans son article, *"cette expérience, vous n'avez pas le droit de la tenter !"*. Il rappelle le Code Pénal et la loi de 1791. "*Aucune torture ne peut être exercée envers les condamnés. Tout condamné à mort aura la tête tranchée* (…) *Le législateur n'avait pensé qu'aux tortures sur le vivant. Il ne pouvait prévoir que l'ingéniosité d'un physiologiste arriverait à torturer un mort*"[128].

Entre le geste thérapeutique, à visée de bienfait pour le malade, et le geste expérimentateur se situe une infime frontière que seul le médecin est à même de différencier, nous rappelle Canguilhem (1965). Mais la frontière entre médecine et biologie humaine est mince également. L'intrication des deux domaines est le lieu de conflits institutionnels, recouvrant des attitudes différentes, où le biologiste paraît conserver une certaine distance à l'égard de l'humain.

J'ai rappelé que la construction d'un rapport expérimental au vivant dépendait des représentations que se faisaient une culture et une époque des êtres vivants. Actuellement, dans les pays européens, des commissions d'éthique, à rôle consultatif, recommandent l'interdiction de différentes expérimentations sur le vivant et limitent de façon volontaire l'investigation et l'instrumentation du vivant. L'expérimentation animale est souvent vivement critiquée, et l'on encourage des recherches de méthode de substitution. Certaines associations antivivisectionnistes, n'hésitant pas à mettre sur un même plan d'égalité l'humain et l'animal, exigent même l'interdiction totale de toute expérimentation animale. Nombreux, parmi ceux qui s'opposent à toute expérimentation animale, considèrent une équivalence entre toutes les espèces à partir d'une donnée : la vie. Mais la vie n'a pas de valeur en tant que telle, ce sont les vivants et le respect qui leur est dû qui sont à considérer, la différence entre l'homme et l'animal restant incontournable.

A.-M. Brisebarre (1995)[129] rappelle cette confusion entre statut de l'homme et statut de l'animal dans certaines ligues antivivisectionnistes, une position radicale que ni la rationalité ni l'éthique ne peuvent soutenir. Elle cite P. Yonnet (1990)[130] : "*L'affaiblissement de l'idée d'humanité et la réduction de l'homme qu'il véhicule sont aujourd'hui entrés dans les mœurs*, (…) *rares sont devenus ceux qui s'indignent de voir l'animal et*

[127] RAICHVARG, D. (1997). *La vulgarisation des sciences en sa poétique.* Mémoire d'Habilitation à Diriger des recherches, Université Paris-Sud.
[128] Paul BERT. Journal *Le Voltaire*, juillet 1885. Cité dans D. Raichvarg (1997) *op. cit.*
[129] BRISEBARRE, A.-M. (1995). Les représentations de l'expérimentation animale. In Collectif, *Livre blanc sur l'expérimentation animale*. Coéditions CNRS/INSERM, 267-278.
[130] YONNET, P. (1990) article paru dans *Esprit*. Cité par A.M. BRISEBARRE, *op. cit.* p. 272.

l'homme situés sur un plan égal, quand la balance ne penche pas carrément du côté de l'animal". Elle rappelle le résultat d'une enquête sociologique relative à la perception de l'expérimentation animale selon différentes catégories sociales. Nombreux sont ceux qui se déclarent hostiles à toute expérimentation, y compris parmi les chasseurs et les tueurs des abattoirs, et y compris parmi les personnes ayant bénéficié de traitements médicaux lourds mis au point par recours à l'expérimentation animale. Contrairement à d'autres, les agriculteurs et les éleveurs qui, dans leurs professions, manipulent le vivant, se montrent favorables ou expriment de l'indifférence à cette expérimentation. Deux conceptions différentes du statut de l'animal domestique s'affrontent ici, analyse A.-M. Brisebarre. À la différence de nombreux citadins qui considèrent les animaux de compagnie comme des membres de la famille, la hiérarchie du vivant apparaît sans ambiguïté dans le monde rural.

Aux "*droits de l'animal*", réclamés bruyamment par certains, ne conviendrait-il pas mieux de substituer les "*devoirs de l'homme"* ? En France, à la loi de 1963, relative à l'utilisation des animaux utilisés pour l'expérimentation, s'est ajoutée, en 1976, la loi de protection qui donne aux animaux le statut d'"*êtres sensibles*", qu'il convient de protéger pour eux-mêmes. Le décret de 1987 précise les conditions réglementaires dans lesquelles l'expérimentation animale en laboratoire peut être pratiquée, tandis que les nouvelles mesures de 1992 obligent les laboratoires à utiliser des animaux provenant exclusivement d'élevages spécialisés, et à soumettre les animaleries à des contrôles de conformité avec la réglementation (Chapouthier, 1992)[131]. Malgré le développement de méthodes alternatives, parmi lesquelles la culture de tissus *in vitro*, le modèle animal reste indispensable dans plusieurs secteurs de recherche biologique et médicale. Le nombre d'animaux utilisés tend cependant à diminuer[132] et, dans un souci de transparence, les laboratoires CNRS et INSERM doivent justifier la nécessité du recours à l'expérimentation animale pour chaque projet de recherche et publier le nombre d'animaux utilisés[133].

Produire le vivant

D'autres défis éthiques sont à relever. Nous savons manipuler les génomes, manipuler les espèces, sans même en imaginer les conséquences. En recourant par exemple aux plasmides, capables de transporter et d'inclure des morceaux d'ADN dans le chromosome des bactéries, l'"*expérimentateur prométhéen*", selon l'expression de F. Dagognet (1988)[134], intervient sur la variabilité des êtres et induit des transgénoses, dans le but de produire industriellement telle ou telle protéine. Le développement des biotechnologies permet la production industrielle d'Organismes Génétiquement Modifiés, avec une dispersion dans les agrosystèmes dont les effets écologiques ne sont pas bien connus. Ces manipulations, à dessein qualifié de "*démiurgique*" par D. Lecourt

[131] CHAPOUTHIER, G. (1992). *Les droits de l'animal.* Paris : PUF, Que sais-je ?

[132] 3 645 000 pour la France en 1990, dont 94% de rongeurs.

[133] COLLECTIF (1995). *Livre blanc sur l'expérimentation animale*. Coéditions CNRS/INSERM. Voir aussi la constitution d'un comité d'éthique sur l'expérimentation animale à l'Université de Rouen, impulsé par Annie REBER, professeur de Neurophysiologie.

[134] DAGOGNET, F. (1988). *La maîtrise du vivant.* Paris : Hachette.

(1996)[135], raniment les mythes de Faust et de Frankenstein. Le vivant est de plus en plus "chosifié", considéré comme un matériau ou un objet technologique, et brevetable ; aux problèmes de compréhension de sa reproduction, se substituent des problèmes économiques relatifs à sa production.

Plusieurs chercheurs en sciences de l'éducation développent une réflexion essentielle sur les finalités de l'enseignement et sur les questions du sens que doit donner l'École (Develay, 1996 ; Fourez, 1988). La prise en compte de ces finalités dans le questionnement didactique relève bien d'un enjeu primordial (texte 16). Une des missions de la construction d'un rapport expérimental au vivant à l'école serait de permettre l'explicitation des valeurs et de contribuer à fonder une éthique.

2.4. Place et fonctions de l'expérimentation du vivant

2.4.1. Quelles pratiques expérimentales du vivant ?

Dans l'analyse des démarches du physicien, I. Hacking (1989)[136] met en avant l'intervention, l'expérimentation et l'observation, la mesure et surtout "*la création et la stabilisation de phénomènes*". Le biologiste expérimentateur cherche, certes, à *créer des phénomènes : "Entre s'attendre à tout et provoquer l'insolite, entre supposer que tout ce qui peut être est, et pousser l'organisation à devenir tout ce dont on la suppose capable, il y a toute la différence qui sépare une histoire naturelle spéculative et une biologie expérimentale"*[137] écrivait Canguilhem, à propos de l'embryologie expérimentale. Mais fondamentalement, et contrairement au physicien, c'est à l'existence même des organismes vivants et aux phénomènes physiologiques que le biologiste doit s'affronter. Intervenir, contrôler et analyser, instrumenter et mesurer, rendre visible ou lisible des phénomènes, observer et comparer, concevoir et réaliser des plans expérimentaux, modéliser aux différents niveaux d'organisation du vivant : telles sont les principales pratiques expérimentales relatives à l'expérimentation du vivant.

Un cas : l'approche expérimentale de la génétique

La transmission des gènes a été étudiée expérimentalement chez les animaux et les végétaux en utilisant des lignées pures et en pratiquant des croisements contrôlés. Ce sont la pathologie et l'étude des maladies génétiques qui ont servi de base à la génétique humaine, avec des démarches d'enquête pour réaliser des arbres généalogiques, et avec la réalisation, l'observation et la comparaison de caryotypes. Avec les nouvelles méthodes d'exploration du génome, techniques de séquençage (enzymes et vecteurs), technique de visualisation des gènes (méthode de Southern, 1975), et technique d'amplification d'ADN (1985), la génétique vise, actuellement, à décrypter le génome et à identifier des gènes. À moyen terme, l'intervention et la thérapie

[135] LECOURT, D. (1996). *Prométhée, Faust, Frankenstein. Fondements imaginaires de l'éthique*. Paris : Syntélabo.
[136] HACKING, I. (1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Christian Bourgois Editeur.
[137] CANGUILHEM, G. (1968). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin (rééd. 1989), p. 219.

génique sur l'œuf sont envisagées. Soulignons que la France est le seul pays à s'être doté d'une réglementation puissante, réglementant l'analyse génétique de la population. Les biotechnologies utilisent, par ailleurs, certaines de ces méthodes pour manipuler et transformer le génome. Actuellement l'intervention et la manipulation du génome, aux conséquences inconnues ou incontrôlables, suscitent de nouvelles réflexions éthiques.

Intervenir, contrôler et analyser

L'intervention dans le déroulement naturel d'un phénomène biologique a pu représenter un dépassement d'obstacle vitaliste. Quand Trembley retourne le polype d'Hydre d'eau douce, comme un doigt de gant, ou quand il le coupe, induisant par la même une régénération, la vie est conçue comme malléable et auto-organisatrice. C'est en séparant les facteurs, tout en conservant les conditions de "*vitalité*", et en contrôlant l'entrée et la sortie des germes que Pasteur fonde les gestes et les pratiques du micro-biologiste. Mais, nous avons vu également que la complexité du vivant et la résistance du réel conduisent à un contrôle très difficile des phénomènes biologiques. C'est l'invention et la mise au point de nouvelles techniques qui ont facilité le dépassement de certains obstacles : la possibilité de culture de tissus et de cellules *in vitro* donne le pouvoir de séparer l'indivisible, tandis que la possibilité de greffes d'organes et de génomes permet d'unir des différents. L'application de ces techniques conduit à une nouvelle approche de la biologie.

Instrumenter et mesurer

Un moteur : l'évolution des techniques (extrait du texte 19)

La composante technique et ses évolutions sont souvent négligées dans la présentation d'une matrice disciplinaire. Parmi les instruments et les procédés fondamentaux impliqués dans l'évolution de la biochimie, soulignons en particulier ceux en relation avec des problèmes de mesure et de séparation des constituants, l'importance des techniques de microdosage, les colorations, la maîtrise des tampons, l'utilisation des isotopes radioactifs ...

Souvent, c'est par une alternance de validations, expérimentales dans la confrontation au réel et sociales dans la confrontation aux pairs, que se modifient les théories et les modèles. Par exemple, dans le cas de la controverse sur la génération spontanée, quand Pasteur rend publics ses résultats, ses contradicteurs pointent des insuffisances théoriques qui le conduisent à relativiser sa théorie (notamment à propos de la répartition des germes), à effectuer des tests de réfutation des pratiques expérimentales de ceux qui le contredisent et à perfectionner les gestes techniques qui contribueront à fonder la bactériologie (Cantor, 1994).

Les modèles successifs de cycles de Krebs en constituent une autre illustration (Desbeaux-Salviat, 1997). La littérature pédagogique laisse souvent penser que les étapes du métabolisme intermédiaire ont été identifiées grâce à l'utilisation d'isotopes radioactifs. Dans le cas du cycle de Krebs, l'utilisation de ces isotopes a, en fait, conduit dans un premier temps à des interprétations erronées, qui ne faisaient jouer à l'acide citrique qu'un rôle annexe et qui ont momentanément entraîné un recul de la connaissance scientifique.

En physique, l'objet est souvent fondé par la mesure. Le biologiste a, certes, recours à la mesure de différents paramètres, physiques, chimiques ou géométriques, lors d'une expérimentation, mais il faut remarquer que, le plus souvent, ce sont des variations, ou bien encore une approche statistique, plutôt que des valeurs absolues, qui sont significatives. Le recours à la mathématisation et à la mesure apparaît, certes, comme un indicateur de scientificité mais comme tout obstacle est double, trop de mesure peut nuire. Rappelons-nous "*la démesure de la mesure*" des paramètres anatomiques et physiologiques à la fin du XIXe siècle, et l'usage idéologique qui a pu en être fait !

Le biologiste a recours à des instruments variés et à des techniques différentes, selon l'échelle de structure du vivant. La plupart de ces instruments et de ces techniques ont été importés d'autres disciplines : l'utilisation de l'instrumentation physique remonte à Poiseuille, Marey emprunte la technique de la chronophotographie, Pasteur, comme tout bon chimiste étire et effile le verre… À partir de la seconde moitié du XIXe siècle le laboratoire de physiologie s'est rempli d'instruments de physique et de mécanique. "*Il existe aujourd'hui une physique des nerfs, des muscles et des organes des sens, une mécanique du squelette, de la circulation et de la respiration due surtout aux travaux si élégants et si précis de M. Marey*"[138] commentait É. Picard dans son bilan de l'état des sciences à l'orée du vingtième siècle. Les instruments adoptés de la physique-chimie facilitent, en effet, la détection et la mesure des phénomènes physiologiques. Le biologiste doit, cependant, inventer des stratégies et des dispositifs propres, et il apparaît souvent nécessaire d'adapter les instruments. Pasteur invente les gestes qui fonderont la microbiologie. Les physiologistes anglais Haldane et Barcroft mettent au point un micro manomètre, destiné à mesurer de petites quantités de gaz : ce sera un instrument d'investigation fondamental en biochimie expérimentale (Holmes, 1996)[139]. Certains instruments et certaines techniques sont conçus spécifiquement pour l'investigation du vivant : on peut citer les micromanipulateurs de Chabry pour l'embryologie expérimentale, ou les techniques de culture de tissus de Carrel pour lesquelles il recevra le Prix Nobel en 1912. L'importance de l'intellect dans l'investigation scientifique est parfois présentée réduite aux seules préoccupations théoriques, alors que la créativité et de puissants efforts intellectuels sont mis en œuvre pour traiter certains aspects pratiques.

De nombreux biologistes se sont longtemps méfiés de la complexité ou de la multiplication des instruments, considérant les démonstrations expérimentales faisant appel à une instrumentation simple comme "les plus élégantes". Démonstration de la circulation de Harvey, ballons à col de cygne de Pasteur ou instrumentation rudimentaire de Claude Bernard sont, souvent, mis en avant pour montrer que la rationalisation du vivant ne passe pas, obligatoirement, par une instrumentation sophistiquée. "*Plus un instrument est compliqué, plus il introduit des causes d'erreurs dans les expériences (…) l'expérimentateur ne grandit pas par le nombre et la complexité de ses*

[138] PICARD, E. (1905). *La science moderne et son état actuel*. Paris : Flammarion, p. 233

[139] HOLMES, F. (1996). Manomètres, coupes minces de tissu et métabolisme intermédiaire. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo.

instruments, c'est le contraire[140]*"*, estime C. Bernard "*Un instrument peut servir à explorer, mais n'est d'aucun secours pour questionner*"[141], commente Canguilhem. Ce n'est pas une nouvelle instrumentation, mais une réorganisation de connaissances qui conduit Krebs à proposer sa première modélisation. En outre, le recours à de nouvelles techniques n'implique pas, obligatoirement, une aide dans la conceptualisation. Ainsi, toujours dans le cas de la modélisation du cycle de Krebs, l'utilisation d'isotopes radioactifs a conduit, dans un premier temps, à des interprétations erronées qui ont momentanément entraîné un recul de la connaissance scientifique (Desbeaux-Salviat, 1997).

L'exemple de l'exploration du génome représente une illustration de l'éruption de la technique dans le changement des méthodes biologiques depuis quelques années. De nombreux laboratoires ne peuvent obtenir des financements que si leur projet de recherche mentionne le recours à des techniques d'investigation "lourdes". Actuellement, et dans certains domaines comme la biologie moléculaire, on constate une évolution des pratiques expérimentales vers des techniques automatisées de recueil et de traitement de données. Enfin, avec le développement des biotechnologies et de l'informatique, on constate une double tendance d'instrumentation et d'instrumentalisation du vivant. On utilise des cellules vectrices pour insérer des molécules d'ADN, modifier des génomes et donc comme instrument d'investigation. On instrumentalise l'humain, en envisageant, par exemple, des greffes de puces informatiques[142], avec des visées non thérapeutiques mais socio-économiques. L'évolution de la technique suscite de nouvelles interrogations éthiques.

Rendre visible

Pour Rumelhard (1997), colorer, ou bien rendre visibles de façon indirecte des objets biologiques hors d'atteinte de l'observation, représentent des pratiques essentielles du biologiste. "*De l'invisible au visible, tel semble être le trajet fréquent qu'emprunte la recherche biologique*"[143], commente-t-il. Les techniques de visualisation des gènes ont ainsi grandement contribué à l'investigation expérimentale en génétique. En fait, la technique, l'instrumentation et la mesure ont souvent comme rôle principal de rendre visible ou lisible des phénomènes, grâce à des inscriptions graphiques. Pensons aux cylindres d'enregistrement du physiologiste ou aux chronophotographies de Marey. D'un point de vue anthropologique, Latour et Woolgar (1988)[144] démontrent l'importance, dans les diverses arènes de négociation scientifique, de ce qu'ils nomment les "*inscriptions*", lisibles et manipulables, provenant de la technique.

---

[140] BERNARD, C. (1865). *Op. cit*. p. 210.
[141] CANGUILHEM (1968). *Op. cit*. p. 232.
[142] "Greffe de la machine sur l'homme". *Le Monde* (1999*)*. M. Warwick, cybernéticien a effectué une autoexpérimenation en se greffant une puce, destinée à la commande de la domotique, dans la bras.
[143] RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In Collectif, *La problématique d'une discipline à l'autre*. Paris : Adapt. p.166.
[144] LATOUR, B., WOOLGAR, S. (1988). *La vie da laboratoire : la production des faits scientifiques.* Paris : La Découverte

Concevoir et réaliser des plans expérimentaux

En relation avec la variabilité et la complexité du vivant, l'investigation biologique est souvent abordée statistiquement et sur des groupes suffisamment nombreux, ce qui nécessite des procédures complexes et la mise au point de "*plans expérimentaux*" plutôt que des expériences simples. Pour Legay (1997)[145], la conception et la réalisation de plans expérimentaux correspond à une troisième étape méthodologique, après celle d'analyse et celle d'expérimentation bernadienne. Historiquement, ce furent des problèmes agronomiques, comme la question de connaître la meilleure variété de pommier, qui conduisirent Fisher à une réponse statistique. La situation agronomique, en effet, est complexe car il n'est pas possible de la découper, et la technique de l'analyse de variance, proposée par Fisher, apparut révolutionnaire. L'analyse à un, puis à plusieurs facteurs contrôlés, permet d'accepter une multiplicité de causes et d'effets, avec un examen hiérarchique des causes. Elle nécessite non plus une seule expérience, fut-elle répétitive, mais la conception et la réalisation de plans expérimentaux complexes. De ce fait, commente encore Legay, plutôt que quelques personnes isolées, les plans expérimentaux requièrent une équipe de divers spécialistes qui se répartissent la tâche : spécialistes de la planification expérimentale, spécialistes de l'acquisition des données, spécialistes de l'analyse des données et de leur interprétation.

Modéliser

L'élaboration de modèles nécessite, elle aussi, un travail d'équipe. G. Israël (1996)[146] voit dans l'évolution des sciences de la vie une tendance irréversible au développement de la démarche par modélisation. Dans l'analyse qu'il effectue, il met en évidence une rupture dans les années vingt. Avant 1920, les essais de modélisation, qu'il qualifie de "*classique*", s'inscrivent tous pleinement dans le projet newtonnien de mise en équation de la nature :

- analyser au préalable le phénomène réel, éliminer les aspects qui apparaissent "accessoires" et déterminer des variables d'état,
- construire un modèle,
- rechercher une mise à l'épreuve expérimentale du modèle ou des lois qui en sont déduites.

Prenant comme prototype les travaux de Van der Pol sur la modélisation du fonctionnement cardiaque, il démontre qu'après 1920 se met aussi en place une autre façon d'élaborer un modèle, qualifiée de "*moderne*" :

- imaginer une analogie générale,
- légitimer *a posteriori* le modèle en comparant les conséquences de son fonctionnement avec le phénomène naturel étudié, ce qui permet de mettre à l'épreuve, de façon indirecte mais efficace, le modèle.

[145] LEGAY, J.-M. (1997). *L'expérience et l e modèle. Un discours sur la méthode* . Paris : INRA Editions.
[146] ISRAEL, G. (1996). *La mathématisation du réel*. Paris : Seuil

Il distingue ainsi deux processus de modélisation , rejoignant en cela Legay qui définit une méthode d'élaboration de modèle descendante (théorie - modèle - situation) et une méthode ascendante (situation - modèle - théorie) : la première pourrait être qualifiée de *moderne*, la deuxième de *classique* selon la rupture décelée par Israël.

Pour Legay, l'approche systémique et l'ère des modèles représentent la dernière étape actuelle dans l'évolution des méthodes biologiques. *"La méthode du modèle permet de comparer des totalités indécomposables. Or, en biologie, la décomposition est moins une partition qu'une libération de totalités, d'échelle plus petite que la totalité initiale"*, remarquait Canguilhem. *"Dans cette science, l'usage de modèles peut passer légitimement pour plus "naturel" qu'ailleurs"*[147]. Les modèles s'imposent, en effet, de plus en plus dans les recherches aux différents niveaux de la structure du vivant, avec des fonctions qui apparaissent très différentes. Legay distinguent les *modèles d'hypothèse*, les *modèles de mécanismes* (actuellement les plus répandus), et les *modèles de décision et de prévision* (les moins développés mais les plus demandés par la société). Instruments pour explorer la réalité, les modèles peuvent avoir des rôles très différents. Ils peuvent décrire : par exemple le fonctionnement cardiaque, la filtration rénale au niveau d'un néphron, ou bien encore les flux compartimentaux en biologie cellulaire ou en écologie (Orange, 1997)[148]. Ils peuvent expliquer : par exemple des régulations physiologiques en boucle. Ils peuvent aider à la prise de décision, comme en médecine ou en science de l'environnement.

L'extraordinaire puissance du calcul et d'analyse des données, offerte par l'ordinateur, et la simulation informatique autorisent, en outre, des traitements statistiques sur des masses énormes de données, et facilitent la mise en scène et la lisibilité des résultats. Elles renforcent le caractère empirique et inductif de la recherche, et elles impliquent un nouveau type d'expérience. "*La méthode du modèle consiste, compte tenu, d'une part, de la connaissance de la structure du système (caractérisation) et, d'autre part, d'informations relatives à ses états passés (observation), à déterminer les valeurs des paramètres (identification). Si la caractérisation et l'identification sont correctes, l'expérimentateur constatera l'adéquation entre les réponses simulées du modèle mathématique et celles réelles et passées du système (restitution)"* commente le physiologiste Chevallier[149]. "*À un certain niveau de complexité des systèmes, du reste très vite atteint, le biologiste n'a qu'une seule ressource, celle de la collaboration*" note-t-il encore. Il estime, en effet, que la modélisation instrumentale présente deux autres intérêts majeurs : représenter une méthode dynamique d'une part, nécessiter la collaboration du modéliste et de l'expérimentateur; d'autre part, ce qui conduit à ne pas rester enfermé dans des hypothèses.

[147] CANGUILHEM, G. (1968). *Op. cit.* p.311.
[148] ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie.* Paris : PUF.
[149] *Op. cit.*

Les différentes formes de l'"expérience scientifique"

Au lieu d'envisager une recherche de causalité simple, du type "une cause = un effet", avec une expérimentation qui supprime la cause, les plans expérimentaux visent à un recueil de données pour une analyse statistique et une recherche de covariation. En outre, l'expérimentation n'apparaît plus exclusivement comme un test d'épreuve pour corroborer ou pour réfuter une hypothèse, elle peut aussi prendre la forme d'application de théorie ou de modèle. Par ailleurs, ce n'est plus seulement une phénoménotechnique (avec par exemple l'utilisation de "lignées pures"), qui caractérise la biologie actuelle, c'est aussi une application de techniques, essentiellement biochimiques, et qui nécessite de longues périodes de recueil de données en "routine" (comme c'est le cas, par exemple, pour le projet génome humain). Enfin, la méthode des modèles permet d'envisager le recueil de données ailleurs que dans l'enceinte du laboratoire

La science avance par "*cohérences successives"*, "*expérience et théorie sont inséparables*", commente Legay, mais on ne peut se retreindre à une vision bernadienne de l'expérimentation. Ainsi, il n'existe pas de "*témoins*", il n'existe que des individus "*traités*". Rejoignant ainsi l'analyse de Lakatos, Legay rejette l'idée qu'il puisse exister une *expérience cruciale*, qui puisse, à elle seule, résoudre un problème ou mettre fin à une controverse scientifique. Finalement, au lieu d'envisager l'expérimentation biologique uniquement dans une version bernadienne de test d'hypothèse, l'analyse des pratiques expérimentales actuelles permet de conclure à une grande diversité possible.

Nous sommes donc conduits à retenir une définition "élargie" de l'expérience scientifique en biologie. Legay propose d'appeler "expérience" scientifique : "*toute procédure organisée d'acquisition d'information qui comporte, dans la perspective d'un objectif exprimé, une confrontation avec la réalité*"[150]. Cette définition de l'expérience scientifique, en termes de *procédures utiles en vue d'un certain but*, permet, en effet, d'inclure un nombre plus important de formes. Ne la cantonnant plus au laboratoire, elle peut s'appliquer à la biologie de terrain et être rapprochée de celle avancée en Géologie. Caractérisant l'intention préalable dans l'obtention de l'information, le géologue Cailleux proposait, en effet, de considérer l'expérience comme "*toute intervention active dans l'extraction des données du réel*"[151].

Permettre d'atteindre au plus près les multiples interactions entre théorie et expérience : c'est aussi ce que conclut Y. Haila (1996)[152] dans son étude épistémologique de l'évolution des données quantitatives en biologie de terrain. Reprenant le cadre d'analyse de Hacking (1983), il propose de caractériser 4 types principaux dans l'orientation du recueil de données, en relation avec les différents aspects de la théorie.

---

[150] LEGAY, J.-M. *Op. cit.* p. 59.

[151] *Op. cit.* p. 110.

[152] HAILA, H.(1996).Mesurer la nature : données quantitatives en biologie de terrain. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo. 300-328.

A) Les données sont recueillies pour recenser systématiquement des phénomènes inconnus.
B) Les données sont recueillies lors de descriptions analytiques (cas de modèles conceptuels semi-formalisés de phénomènes reconnus réels mais pas encore bien compris).
C) Les données sont recueillies pour un but de comparaison
D) Les données dérivent d'intervention dans le déroulement des phénomènes et de test expérimentaux.

Cette vision "élargie" de l'expérience, incluant l'application de techniques, la démarche d'enquête et l'observation "active", apparaît particulièrement pertinente dans le problème didactique de la construction d'activités scolaires expérimentales. Loin d'une conception dualiste, la construction d'un rapport expérimental au vivant sollicite, par ailleurs, de multiples interactions.

2.4.2. Des déplacements, des mises en tension et des interactions

Le cas Pasteur
Reprenons le cas Pasteur. Le questionnement et les expérimentations le conduisent au croisement de maintes disciplines et à la jonction des recherches théoriques et pratiques. Les brasseurs l'interpellent sur les accidents de fermentation, sur les problèmes de conservation et de contrôle de la putréfaction. Pour mieux comprendre le phénomène, Pasteur est amené à changer de modèle d'étude. À l'eau sucrée albumineuse et aux levures, viennent se joindre les liquides de l'organisme, en particulier le lait, l'urine et le sang. Pasteur va ensuite être de plus en plus en contact avec l'organisme complet. Toujours pour mieux comprendre la putréfaction, il rend visite à des malades atteints de gangrène, hospitalisés au Val de Grâce, et il effectue plusieurs prélèvements. La traque de ce que Sédillot dénommera "*microbes*", en 1878, ne fait que commencer.

Théorie de fondement, qui distingue le vivant et l'inerte, chimie fondatrice de la méthode et des techniques, interrogations des manufacturiers et du physiologiste, confrontations aux naturalistes et aux médecins, laboratoire et terrain, hôpital et laboratoire : le cas Pasteur représente une remarquable illustration des multiples déplacements, mises en tension et interactions que suscite l'expérimentation du vivant.

Visée pragmatique et visée épistémique
Résolution de problèmes pratiques et désir d'abstraction et de théorisation coexistent tout au long de la carrière scientifique de Pasteur. Ce sont les problèmes rencontrés par les brasseurs dans le contrôle de la fabrication de la bière qui conduisent Pasteur à s'interroger sur les fermentations, et c'est l'argent provenant des brasseries qui finance les études de chimie qui transformeront la biologie. Les sériculteurs l'interpellent sur la maladie des vers à soie : Pasteur ne se contente pas de fournir une pratique pour obtenir des œufs exempts de pébrine, ses expérimentations le conduisent à s'interroger

sur la contagion et à construire une base théorique pour l'étude des maladies infectieuses. À la fin du XIXe siècle, le mouvement hygiéniste s'approprie la théorie microbienne pour provoquer la *révolution pastorienne* de la société.

"*L'activité que la science suscite dans l'agriculture, le commerce ou l'industrie détermine des actes qui l'entraînent elle-même, crée des besoins nouveaux qui lui posent des problèmes*" commentait Houssay (1908)[153] dans le tableau qu'il brossait des sciences naturelles au début du XXe siècle. "*Et l'histoire scientifique se trouve de la sorte emportée, mêlée, brassée avec celle des autres actions humaines d'une façon tellement intime qu'elle ne peut plus être dégagée, si ce n'est par l'artifice même consistant à isoler de l'ensemble auquel il tient en réalité le phénomène que l'on veut faire connaître à part".* Visée pragmatique et visée scientifique semblent s'entremêler. Blanché (1975)[154] estime que l'idéal scientifique oscille entre deux pôles : la recherche de propositions contrôlables (position positiviste, empiriste ou phénoméniste), et un souci d'intelligibilité par la recherche d'explication. Ces deux buts distincts entraînent des postures de recherche différentes, avec possibilité de tensions, selon que l'on valorise l'une ou l'autre de ces exigences. Cette analyse est à rapprocher de celle de Bacon qui considérait que, par la science, l'homme est la fois "*le ministre et l'interprète de la nature*" : se donner les moyens, tout à la fois, d'agir et de comprendre. Mais les deux entreprises ne s'accordent pas toujours.

Hôpital et laboratoire

En biologie humaine, les interactions entre hôpital et laboratoire sont constantes. L'hôpital, lieu à la fois de problématisation et d'application, apporte un empirisme rationnel et contrôlé, la clinique, et cherche à considérer le *sujet malade*. Le détour analytique par le laboratoire considère *l'objet de la maladie* et tente de construire une validation expérimentale. En s'appuyant sur les cas Broussais, Magendie et Claude Bernard, Canguilhem (1977)[155] en présente une analyse historique et épistémologique approfondie.

Terrain et laboratoire

La biologie de terrain et l'intervention-conseil développent leurs propres démarches, mais des interactions avec le laboratoire peuvent, là aussi, s'établir. Ainsi une intervention-conseil de Pasteur auprès des sériculteurs a nécessité un détour par le laboratoire pour être résolu, tandis que pour mettre à l'épreuve sa théorie de répartition non uniforme des germes, il expérimente sur la Mer de Glace, transportant instruments et techniques de laboratoire sur le terrain.

De nombreux domaines de la biologie ont comme objet d'étude le terrain. La pratique de terrain et l'intervention-conseil restent essentiellement fondées sur l'observation, et nécessitent l'appropriation et le développement de nombreux savoirs empiriques sur le

[153] *Op. cit.* introduction.
[154] BLANCHÉ, R. (1975). *L'induction scientifique et les lois naturelles.* Paris : PUF. Chapitre 3.
[155] CANGUILHEM, G. (1977). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie.* Paris : Vrin.

long terme. L'interview, réalisé par C. Orange (1998)[156] auprès d'un géologue de terrain, en représente un témoignage. Si biologie de terrain et intervention-conseil fonctionnent plus comme une recherche d'indice que comme une recherche de preuve (Stengers, 1993)[157], les investigations peuvent néanmoins nécessiter un détour par le laboratoire. Ainsi, en écologie, des systèmes expérimentaux sont parfois construits au laboratoire, pour explorer ou pour mettre à l'épreuve certaines modélisations d'interactions. Mais, analyse Haila (1996)[158], l'extension au terrain des résultats obtenus sur systèmes artificiels montre, le plus souvent, les limites de validité du modèle : ainsi l'extension de la "*loi de Gausse*" ou loi d'exclusion compétitive, issue d'expériences de laboratoire, n'a nullement résolue la compréhension de la compétition dans les communautés naturelles, bien au contraire.

Technique et science

Les relations entre la technique et la science sont parfois présentées avec une vision de la technique comme application de la science. Mais technique et science apparaissent de plus en plus entremêlées. En biologie, "*se lient indissolublement connaissance et technique*", commentait Canguilhem[159]. Dans la construction d'un rapport expérimental au vivant, la technique représente, certes, un *outil* mais elle peut aussi apparaître comme un *modèle*, comme c'est le cas dans la conception mécanique du vivant, ou constituer un *obstacle* à la conceptualisation, comme l'analyse Canguilhem avec la circulation sanguine conçue comme une irrigation. Enfin, avec le formidable développement des techniques d'analyse standardisées, en génétique ou en biologie moléculaire, la biologie peut apparaître parfois comme une application de la technique.

Déplacements disciplinaires

Le long débat sur l'origine des micro-organismes qui opposa le biologiste et le chimiste fut à l'origine de l'invention de nouvelles méthodes d'analyse, qui fondèrent la microbiologie. Pasteur instaure une *chimie biologique* et une biologie expérimentale, fondées essentiellement sur les sciences des isomères et les cultures artificielles, avec solidarité méthodologique entre les deux disciplines. D'un autre côté, des termes hybrides, tels que *biochimie* ou *biophysique*, révèlent la précarité des clivages entre disciplines scientifiques. Les transferts d'outils, qu'ils soient conceptuels, opératoires, ou instrumentaux, sont constants.

L'Institut Pasteur, dès sa création, mobilise biologistes, chimistes, vétérinaires et médecins. De nombreuses recherches se placent, d'office, dans un cadre pluri-disciplinaire, tandis que la méthode des modèles nécessite un constant travail d'équipe (Legay, 1997). Ainsi, un important projet de recherche CNRS, relatif à la modélisation

[156] Rapport de l'équipe des IUFM de Caen et de Nantes, coordonné par C. Orange (1998). Document interne INRP.
[157] *Op. cit.*
[158] *Op. cit.*
[159] CANGUILHEM, G. (1965). *Op. cit.* p. 39.

des structures et des fonctions du vivant, requiert nombre de physiciens et de chimistes[160]. La recherche nécessite une coordination de compétences dispersées.

Différents niveaux d'organisation du vivant
L'investigation expérimentale peut se faire à toutes les échelles de structure du vivant. J'ai argumenté des limites des approches réductrices, et j'ai montré les problèmes que pose la mise en interaction de ces différents niveaux d'organisation dans la compréhension des phénomènes biologiques.

Explorer et prouver
L'expérimentation nécessite une tension entre prudence et audace, un essor de l'imagination spéculative et une constante soumission à l'expérience. Démarche heuristique, démarche de conviction, et démarche de réfutation se complètent dans l'investigation expérimentale. Les différents écrits qui accompagnent les différents épisodes de ces démarches ont des fonctions spécifiques : écrits pour soi ou pour les autres, écrits pour mémoriser, pour aider à inventer et à penser, écrits pour communiquer ou pour convaincre. Le rapport à l'écrit représente, de façon constante, un moment dans la relation expérimentale au vivant.

Observer, comparer, expérimenter, modéliser

> *"La physiologie n'est point une science naturelle, mais bien une science expérimentale ; les sciences naturelles et les sciences expérimentales étudient bien les mêmes objets ; mais ces sciences se distinguent néanmoins radicalement, parce que leur point de vue et leur problème sont essentiellement différents. Toutes les sciences naturelles ont des sciences d'observation, c'est-à-dire des sciences contemplatives de la nature, qui ne peuvent aboutir qu'à la prévision. Toutes les sciences expérimentales sont des sciences explicatives, qui vont plus loin que les sciences d'observation qui leur servent de base, et arrivent à être des sciences d'action, c'est-à-dire des sciences conquérantes de la nature. Cette distinction fondamentale ressort de la définition même de l'observation et de l'expérimentation. L'observateur considère les phénomènes dans les conditions où la nature les lui offre ; l'expérimentateur les fait apparaître dans des conditions dont il est le maître"*[161].

Cet extrait du rapport de Milne Edwards, daté de 1867, c'est-à-dire deux ans après la publication de Claude Bernard *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, et en plein développement du positivisme, semble opposer observation et expérimentation. Il confronte ainsi observation systématique et expérimentation. Dans la langue des scientifiques, l'"*expérience*" s'oppose à l'"*observation*". Tandis que l'observation implique conservation, l'expérience nécessite essai, donc modification du réel, ou au

[160] La programmation scientifique au CNRS : La connaissance du vivant et ses enjeux *Le journal du CNRS* n°88, avril 1997.
[161] MILNE EDWARDS, H. (1867). *Rapport sur les progrès récents des sciences zoologiques en France.* Ministère de l'Instruction Publique, p. 132.

moins intervention sur ses données. Pour A. Cailleux (1963), dans l'observation, le réel est compris comme étant en face de nous (*ob*), et presque opposé à nous, tandis que dans l'expérience nous tirons quelque chose de lui (*ex*). L'observation, explique-t-il, est comme un mouvement à sens unique, du réel vers nous, tandis l'expérience implique mouvement à sens double, de nous vers le réel, par notre intervention, et du réel vers nous, d'où notre information, et une information motivée. Mais, sans doute faut-il distinguer les informations données *a posteriori* par les sens, des informations apportées par l'observation, dans un regard orienté intentionnel de recueil de données, ce qui nécessite d'avoir *a priori* conceptualisé l'observation pour rendre les éléments identifiables.

Certes, était-il nécessaire, pour fonder une physiologie expérimentale, de se placer en rupture, de mettre en valeur les bénéfices de l'artifice expérimental, et d'affirmer cette opposition radicale. Cependant l'histoire des sciences témoigne que la frontière est parfois bien mince entre observation méthodique et expérimentation (expériences de fécondation artificielle, de parthénogenèse…) (Salomon-Bayet, 1978)[162] ; tandis que l'épistémologie analyse les interactions entre observation de phénomènes pathologiques et expérimentation (Canguilhem, 1965)[163]. L'opposition est dans la validation et dans le changement de perspectives, non dans la négation des apports de l'observation méthodique.

L'observation et la comparaison, seules accessibles dans certains domaines d'investigation biologique, représentent des méthodologies aussi heuristiques que l'expérimentation. L'anatomie comparée, que fonde Cuvier, articule constamment élaboration théorique et recueil systématique de données, et est parfois présentée comme une "*expérience de pensée*". Par ailleurs, l'interprétation des résultats expérimentaux en physiologie, en biologie générale et en biochimie passe, de plus en plus fréquemment par la représentation du phénomène étudié au moyen d'un modèle. L'expérience "élargie" à toute procédure active dans l'extraction des données du réel et la méthode des modèles montrent bien qu'actuellement toute investigation du vivant nécessite des interactions complexes entre observer, comparer, expérimenter et modéliser.

L'analyse des formes contemporaines de l'expérience conduit à s'opposer aux théories dualistes qui conçoivent le matériel et le spirituel en opposition, et non en interaction. Par ailleurs, tous les déplacements et toutes les interactions attestent également de la nécessité du rejet de toute conception dualiste dans la construction d'un rapport expérimental au vivant. Théories et conceptions dualistes semblent cependant perdurer dans l'enseignement, en particulier dans la façon dont sont abordés les travaux pratiques.

Analyser la science comme ensemble de pratiques peut, aussi, contribuer à aider à penser les formes scolaires de l'expérimental.

[162] *Op. cit.*
[163] *Op. cit.*

2.4.3. La science comme ensemble de pratiques

Construction en synergie d'une problématique, d'une théorie, de tâches et d'outils (extrait du texte 14)

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, 1996). 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..
(…) Si les élèves font part, dans leurs commentaires, d'une appréciation positive des activités et relatent quelques 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.
(…) 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 recueils de données, ont provoqué des problèmes au sein des sous-groupes (par exemple certaines mesures de volume ou pesées). Ils ont alors sollicité de façon explicite les compétences techniques de quelques élèves, avec communication 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.

De nombreux sociologues des sciences contemporains décrivent la science comme un travail artisanal. La controverse Pouchet-Pasteur, sur l'origine des micro-organismes, peut être décrite, avec cette perspective, comme des pratiques dans un processus d'expérimentation. On peut analyser les compétences nécessaires, ou bien la nécessité d'acteurs collectifs pour résoudre le problème (Latour, 1989)[164]. Les pratiques scientifiques sont situées, en effet, dans un lieu et à un moment donnés, et c'est aux contingences historiques et sociales de la production de la connaissance scientifique que s'intéressent certains auteurs (Clarke & Fujimura, 1996)[165]. "*Les pratiques matérielles sont différemment élaborées selon les divers participants dans des situations spécifiques*"[166]. Les auteurs analysent certains processus sociaux, qui s'intègrent dans la construction en synergie des outils, des tâches et de leur adéquation. Les principaux processus retenus dans leurs études concernent :

- la construction de problèmes,
- l'artisanat, le bricolage et les arrangements *ad hoc*,
- la nécessité de discipliner les outils en vue d'une continuité,

[164] LATOUR, B. (1989). Pasteur et Pouchet : hétérogenèse de l'histoire des sciences. In M. Serres (dir.) *Éléments d'histoire des sciences*. 423-446. Paris : Bordas.
[165] CLARKE, A., & FUJIMURA, J. (1996). *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo.
[166] *Op. cit.* p. 20.

· enfin, la standardisation et la stabilisation des éléments d'une situation.

Ce point de vue, axé sur les pratiques et non plus seulement sur des questions de démarche et de rationalité, est important pour discuter des finalités et des formes scolaires de l'expérimentation à l'école. Ainsi, si certains travaux pratiques de lycée ont pour perspective de permettre de "*faire de la science*", il nous semble important qu'ils permettent une confrontation des élèves à la matérialité, et qu'ils soient l'occasion de construire en synergie une problématique, une théorie, des tâches et des outils (texte 14). La science, selon I. Stengers (1993)[167], est une mise à l'épreuve de raisons que nous inventons, c'est inventer des pratiques qui rendent ces raisons invulnérables par rapport à d'autres. C'est un dialogue instrumenté avec le réel et avec des contradicteurs, et une application de techniques, pourrions-nous ajouter. La recherche scientifique est alors conçue comme un ensemble de pratiques qui nécessite des corps habiles, des lieux instrumentés, des inscriptions, et des espaces de débat .

Recueillir et confronter des inscriptions

Latour et Woolgar (1988)[168] ont présenté l'importance des inscriptions, lisibles, manipulables et provenant de la technique, dans la négociation scientifique. La construction de faits scientifiques se réfère, en effet, à un lent travail manuel et pratique par lequel les inscriptions sont superposées et les résultats conservés ou abandonnés. Pour Rumelhard (1997)[169], le travail scientifique, de nature conceptuelle, produit de l'observable ; ma propre analyse conduit à considérer également les aspects pratiques, matériels et sociaux de ce travail. La perspective pédagogique conduit à un renversement : elle part du visible, de l'observable, et tente de construire du conceptuel. Une fois rendu visible, l'enseignement ne problématise que rarement le phénomène, elle le montre, argumenterait Johsua (1989)[170]. Nos différentes enquêtes des formes scolaires de l'expérimental confirment :

· la fréquence de l'expérience de "*mise en évidence*" (texte 39, texte 15, texte 17),
· le recours aux inscriptions, mais avec une fonction essentielle d'illustration et non pas comme une base de négociation, de débat et d'argumentation (Lika, 1999)[171].

Dans tous les cas, les formes scolaires actuelles de l'expérimentation du vivant ont des difficultés à prendre en considération la durée qui serait nécessaire aux pratiques de recueil et de confrontation d'inscriptions.

[167] STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : La Découverte
[168] *Op. cit.*
[169] *Op. cit.*
[170] JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8 : 29-54.
[171] LIKA, I. (1999). *La place des activités pratiques dans l'enseignement de la biologie au lycée*. DEA tutoré par M. Coquidé. ENS Cachan

Construire et débattre collectivement

Le collectif dans la construction des faits (extrait du texte 53)

Rappelons que, même dans les sciences expérimentales, un "fait" ne se construit pas uniquement par tests expérimentaux, mais également par des méthodes de recueil systématique de données, de descriptions analytiques, de comparaisons et de confrontations à une communauté de chercheurs. Bachelard (1949) emploie la jolie expression des "travailleurs de la preuve" et Hacking (1989), en se référant à Pierce, met en avant l'importance de "l'accord d'analyse" des chercheurs dans la construction d'un fait.

Dans un séminaire (texte 53), destiné à clarifier ce que pouvait être un "fait" en didactique, je discutais de l'importance du collectif dans la construction des faits scientifiques. Les débats apparaissent primordiaux dans la négociation scientifique, avec l'élaboration de la preuve expérimentale et le rôle des comptes rendus expérimentaux comme éléments de conviction des pairs. Plus généralement, c'est à un travail collectif des "*travailleurs de la preuve*" selon l'expression de Bachelard (1949)[172], que doit se confronter toute construction de fait scientifique. Par ailleurs, et dans une perspective psychologique et pédagogique, les modèles d'apprentissage socio-constructivistes valorisent cet appui sur le collectif dans toute construction de savoir.

Des pratiques prenant en compte des valeurs éthiques

J'ai argumenté, à plusieurs reprises, de l'importance d'une réflexion éthique pour toute expérimentation du vivant. Il conviendrait de s'interroger sur la forme scolaire que peut prendre cette préoccupation.

Pour débattre : quelle formation des futurs biologistes expérimentateurs ?

Formation des biochimistes (extrait du texte 19)

Dans les années 1910, Hopkins en particularisant la chimie biologique fonde les grandes orientations de la recherche en biochimie. Dans une conférence, il attire l'attention des jeunes chercheurs en ces termes : *"Je voudrais signaler aux jeunes chimistes qui forment le projet de s'occuper de problèmes biologiques, la nécessité de consacrer un ou deux ans à une deuxième discipline. Celui qui va simplement vers un institut de biologie avec une formation qui le prépare à déterminer la constitution de produits nouveaux provenant de l'animal et à étudier leurs réactions in vitro, sera certes utile, et pourra être reçu ; mais il ne deviendra pas un biochimiste. Ce que nous voulons, c'est savoir comment la réaction se passe dans l'organisme."*

L'aperçu des pratiques scientifiques suscite un questionnement relatif à la formation des futurs biologistes expérimentateurs. Plusieurs points de vue peuvent être cités pour enrichir le débat Historiquement, c'est un point de vue positiviste que défend Comte,

[172] BACHELARD, G. (1949). *Le rationalisme appliqué.* Paris : PUF.

en proposant de recourir à la physique comme modèle de formation pour les biologistes. Claude Bernard, de son côté, valorise la pratique au laboratoire dans la formation. "*C''est dans le laboratoire que se trouve la pépinière réelle du vrai savant expérimentateur, c'est-à-dire de celui qui crée la science que d'autres pourront ensuite vulgariser. (…) Je ne saurais m'empêcher de faire des vœux pour que mon pays (…) possède le plus tôt possible des laboratoires physiologiques, vastes et publiquement organisés, de manière à former des pléiades de physiologistes et de jeunes médecins expérimentateurs*"[173]. Dans l'article consacré aux origines de la biochimie, nous avons relaté le point de vue de Hopkins, qui soutenait l'originalité de la chimie du vivant et une particularisation de la formation, pour les chimistes qui se destineraient à la biochimie.

Apprendre à maîtriser des instruments et des pratiques, apprendre à sélectionner des arguments et à développer un raisonnement pour convaincre : voilà les principaux éléments qui seraient actuellement mis en avant pour la formation des futurs biologistes. C'est en clarifiant les finalités éducatrices, personnelles et sociales, culturelles et professionnelles d'un rapport expérimental au vivant que ce débat pourra progresser.

[173] BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. *Op. cit*. pp. 208-209.

3E PARTIE

PRATIQUES DIDACTIQUES DU RAPPORT EXPÉRIMENTAL AU VIVANT

L'épistémologie des pratiques scientifiques expérimentales peut servir de cadre d'analyse pour la didactique du rapport expérimental au vivant dans le cadre scolaire. Mais d'autres éléments sont aussi à prendre à considération, et c'est l'articulation de plusieurs registres, psychologique, épistémologique et pédagogique, qui apparaît nécessaire dans toute recherche didactique. De plus, dans toute interrogation relative à l'enseignement et à l'éducation, il apparaît nécessaire d'expliciter les finalités de ceux-ci.

Pour permettre d'interroger la construction didactique d'un rapport expérimental au vivant, cette partie propose tout d'abord une revue de questions relatives aux activités expérimentales dans les apprentissages. Les questions de l'objectivation et de l'abord d'une phénoménologie, celle des savoirs en jeu dans une expérimentation et celle de la constitution d'un référent empirique en sont le noyau principal.

Les questions didactiques relatives à expériencier et à expérimenter le vivant représentent, ensuite, un point central de problématisation. Les rapports au vivant dans l'éducation, les interdépendances entre les conceptions des élèves et le rapport expérimental au vivant, puis les spécificités de l'expérimentation du vivant en comparaison avec celle de la matière, sont successivement interrogés. Par ailleurs, l'apprentissage de la langue et l'appropriation de l'écrit constituent des enjeux majeurs de tout apprentissage scolaire : je présenterai le rapport à l'écrit comme moment dans la relation expérimentale.

L'interrogation sur les finalités éducatives conduit à analyser les fonctions, et la diversité des formes, scolaires et non scolaires, du rapport expérimental au vivant. Enfin, j'avancerai une contribution pour aider à penser et à construire une relation expérimentale au vivant dans une perspective curriculaire, recouvrant à la fois les questions de développement et de renouvellement de curriculum, et celles de formation des enseignants.

3.1. Activités expérimentales et apprentissages

Les activités scientifiques entretiennent toujours un rapport complexe avec le monde de la réalité. Entre *rapport au monde* et *rapport au savoir* existe une série d'interactions qui montrent à la fois l'effort de la pensée pour étreindre et comprendre les objets ou les phénomènes, et la résistance du réel qui oblige l'idée à se modifier (texte 14). À l'impératif pédagogique "*d'être concret*" doit s'articuler l'exigence de rationaliser et de

"*poser l'abstraction*" argumente Bachelard (1934). Cette dialectique entre empirie et raison est représentée par la méthode développée pour pouvoir articuler pensée et action, raisonnement et observation ou expérience.

Les théories de l'apprentissage, de leur côté, proposent différentes interprétations et modélisations des interactions possibles entre action et connaissance, entre savoir et action. Là aussi, ce sont plus des relations dialectiques que des relations duelles qui sont analysées. Déjà Dewey, dans *La théorie de l'enquête*[1], s'opposait à tout dualisme entre empirique et rationnel, entre théorie et pratique. Il rappelait que c'étaient les cultures orientales (assyriennes, babyloniennes, et égyptiennes) qui, les premières, avaient élaboré une distinction entre technique "*inférieure*" et "*supérieure*", et les genres de connaissance. Les techniques de ceux qui faisaient journellement des travaux pratiques (tels les travaux de charpente, de teinture, de tissage, de poterie...) étaient considérées comme "*inférieures*", tandis que les techniques "*supérieures"* appartenaient à une classe spéciale, celles des prêtres et des sorciers guérisseurs primitifs, et s'occupaient du bien-être du peuple, et principalement de ses chefs. La plupart des théories de l'apprentissage refusent également ce dualisme, et c'est plus la question de la nature des interactions mises en œuvre qui nécessite des clarifications.

Les pédagogues, et en particulier les militants pour l'Éducation Nouvelle, ont mis en œuvre des innovations pédagogiques et ont théorisé l'importance de l'activité de l'élève dans les apprentissages scientifiques. De nombreuses hypothèses, provenant de l'épistémologie, de la pédagogie, de la psychologie et des théories de la connaissance, conduisent à argumenter de la nécessité d'actions et d'expérimentations pour des apprentissages scientifiques. Mais peut-on préciser la nature de ces interactions ? En particulier, comment aborder une phénoménologie ? Ce sont les questions relatives aux articulations entre action et connaissance qu'abordera le premier point

Le deuxième point concerne la nécessaire vigilance vis-à-vis de tout dualisme entre intellectualité et matérialité. Dans les pratiques scientifiques, les relations entre champ empirique et validation expérimentale s'établissent dans une continuité dans la construction de problèmes mais avec une rupture épistémologique. Qu'en est-il du point de vue pédagogique ? Des relations peuvent-elles s'établir entre démarche empirique et démarche expérimentale ? Entre expérience et expérimentation ? Comment et sous quelles conditions ?

Le troisième point concerne la prise en compte des élèves sujets, intégrés dans une communauté sociale. Dans l'analyse des pratiques scientifiques, nous avons considéré le chercheur en tant que sujet épistémique, certes, mais intégré dans une communauté sociale. La didactique s'intéresse essentiellement à la cognition de l'élève, mais ne peut ignorer les aspects sensoriels, moteurs, affectifs et sociaux qui interagissent avec les apprentissages. Nous pouvons nous interroger en quoi l'affectif, l'émotionnel et le sensoriel, tout ce qui relève de la subjectivité peuvent-ils enclencher ou restreindre la

[1] DEWEY, J. (1938). *Logique. La théorie de l'enquête*. Paris : PUF (Rééd 1993) p.134.

construction d'un rapport expérimental au vivant ? Comment, au sein d'un groupe classe, faire partager un référent empirique ? Comment attribuer à une connaissance un caractère objectif si elle s'enracine dans une expérience privée ? Comment s'assurer de l'accord de différents sujets élèves dans l'objectivation du réel et dans sa description phénoménographique ?

Enfin un dernier point aborde la question des "*savoirs*". Les objectifs d'apprentissage découpent souvent les différents savoirs en savoirs notionnels, savoir-faire, et savoir-être ; en savoirs scientifiques, savoirs techniques et savoirs pratiques ; ou bien encore en savoirs et savoirs d'action ? Mais, finalement, qu'est-ce qui est en jeu lorsqu'il s'agit de construire un rapport expérimental au vivant ? La construction de connaissances ne peut jamais être réduite à des aspects uniquement verbaux, ni à la communication par le langage. Ce paragraphe aborde également l'interaction entre la science et la technique, et tente de briser l'opposition illusoire ou la hiérarchie injustifiée entre sciences et techniques. L'histoire montre la contingence des pratiques scientifiques, et les multiples déplacements, les mises en tensions et les interactions constatées brisent cet autre dualisme factice. Dans l'apprentissage de la biologie, en France, les contenus conceptuels sont largement mis en avant, en particulier au niveau du second degré. Mais peut-on penser des apprentissages biologiques sans s'interroger sur les technicités mises en jeu et sur les pratiques sociales de référence ?

3.1.1. Action et connaissance

La manipulation au cycle 1 (extrait du texte 2)

L'enfant agit et s'ouvre au monde, il en perçoit les messages par tous les sens. Les interactions entre le corps moteur et le corps récepteur jouent un rôle essentiel dans la découverte du monde.
L'enfant aime toucher et découvrir le monde d'abord avec les mains. La main est à la fois instrument, organe de connaissance et moyen de communication. L'action de manipuler engendre les premiers modes de représentation chez l'enfant. Les activités de manipulation sollicitent également l'ensemble de ses capacités sensorielles.
Dès le cycle 1, les activités de sensibilisation à la biologie doivent donc permettre à l'enfant d'agir concrètement. Les élèves enrichissent ainsi leurs perceptions tactiles (doux-rugueux, sec-humide, chaud-froid, etc.), mais aussi visuelles et sonores. Ils exercent leur habileté manuelle (transvaser, verser, motricité fine, etc.). Les manipulations sollicitent, en particulier pour les plus jeunes, des jeux spontanés au cours desquels les enfants se familiarisent avec des concepts scientifiques (propriétés, masse, volume, etc.).
Pour favoriser ces manipulations, le maître peut créer un environnement scolaire riche et stimulant. Par exemple, il propose aux élèves des sachets, des boîtes ou un meuble à tiroirs contenant divers objets biologiques à manipuler (des graines variées, des coquillages, des plumes, de la fourrure, etc.).

Nous avons explicité, dans un ouvrage destiné à la formation des enseignants (texte 2), l'importance qu'il y a à aménager un environnement scolaire propice à la manipulation pour les jeunes élèves, afin de favoriser la découverte du monde et la découverte de

leur corps. Mais le jeune élève, libre de son activité, pense peu à expérimenter, aussi l'enseignant peut-il organiser un environnement didactique et solliciter d'autres possibilités d'action, en particulier pour faire rencontrer à l'enfant des situations nouvelles et provoquer ainsi des déséquilibres nécessaires aux apprentissages. Le maître est donc conduit :

- à savoir dégager un problème expérimental de situations globales vécues par l'élève,
- mais aussi à proposer un matériel éducatif et des dispositifs spécialement construits, en vue de l'acquisition d'objectifs précis, en particulier avec les plus grands.

Les relations entre action et connaissance ont suscité de multiples analyses philosophiques, psychologiques, pédagogiques et didactiques.

Point de vue psychologique

Tandis que les recherches neurophysiologiques modélisent les conséquences des interactions avec l'environnement sur l'épigenèse cérébrale (Changeux, 1983)[2], la psychologie cognitive étudie les conceptualisations issues des actions sur le réel. Il est classique de considérer que l'action est source de connaissances. Ainsi, dans la théorie piagétienne, l'enfant construit son intelligence depuis la naissance, par interactions entre ce qu'il est à un moment donné et la réalité qui l'entoure, c'est-à-dire par son activité, et par l'adaptation continuelle des schèmes d'assimilation.

La sensibilité extéroceptive contribue, par ailleurs, à la connaissance que le sujet peut avoir de son corps, corps biologique et qui a une forme. La réflexivité de la sensibilité tactile apparaît alors primordiale : "*quand je touche un objet quelconque",* explique Pichot avec un point de vue de phénoménologue, *" je sens cet objet, mais en même temps je me sens touché par l'objet. (…) Ce sens du toucher, en même temps qu'il me donne des informations sur les objets, me donne "en négatif" des informations sur les limites de mon corps*"[3].

Mais comment aborder une phénoménologie ? La psychologie rend compte que la séparation des variables, par comparaison de situations naturelles et de séparations provoquées, ne se clarifie que progressivement dans le déroulement de la scolarité. Elle suppose tout d'abord la construction préalable des catégories et des attributs des objets, de leurs propriétés ou de leurs fonctions. Elle met en œuvre ce que H. Wallon appelle la pensée catégorielle. Car "*objectiver le réel, c'est le penser en puissance ou sous forme catégorielle, c'est-à-dire dans sa diversité éventuelle, ce qui a le double effet de rendre possibles le contrôle des choses et l'ajustement graduel de la pensée à leur réalité. Sans ce pouvoir qu'a la pensée de les envisager, à travers ce qu'elles sont effectivement comme un cas ou comme un résultat qui ont leur place dans des séries virtuelles, leur appréhension intellectuelle ne dépasserait pas le simple empirisme*"[4].

---

[2] CHANGEUX, J.-P. (1983). *L'homme neuronal*. Paris : Fayard.

[3] *Op. cit.* p. 91

[4] WALLON, H. (1947). *Les origines de la pensée de l'enfant. Tome 2 Les tâches intellectuelles*. Paris : PUF. p.442.

Cette indispensable mise en œuvre de la pensée catégorielle pour accéder à la pensée expérimentale reste souvent négligée. En prenant appui sur des activités techniques, ou des activités de classement, elle peut cependant être développée avec efficacité chez les enfants, et ceci dès l'école maternelle (texte 1). Elle implique, ensuite, un effort d'analyse et d'abstraction qui permet de saisir un élément répétable dans le déroulement irréversible des phénomènes biologiques. Elle nécessite, enfin tout un ensemble de ressources cognitives, tel que classer, sérier, afin de séparer des variables indépendantes et établir des relations de causalité. Par exemple, des cloportes, qui sont prélevés de la litière de la forêt et déposés sur le sol, se dirigent précipitamment de nouveau sous les feuilles mortes. Il faut pouvoir envisager qu'ils fuient la lumière ou bien encore qu'ils sont à la recherche d'humidité. Il sera nécessaire également de penser à utiliser la mesure et passer, peu à peu d'une mesure "dichotomique" (chaud et froid, sec et humide) à des séries. L'expérimentation, ou mise à l'épreuve d'hypothèses par conception et réalisation de protocoles, nécessite, dans la théorie piagétienne une pensée formelle.

Point de vue didactique

Différentes analyses posent, de façon diversifiée, des questions didactiques relatives à la mobilisation de l'expérienciel dans les apprentissages Dans le cas des conceptualisations mathématiques, G. Vergnaud (1987)[5] met au premier plan les rôles de l'action et de l'expérience, du questionnement sur les raisons des choses, et de la relation entre invariants opératoires et connaissances explicites. La mise en mots des connaissances-en-acte reste cependant difficile : leur organisation en systèmes théoriques nécessite l'explicitation, le débat avec autrui et la formalisation.

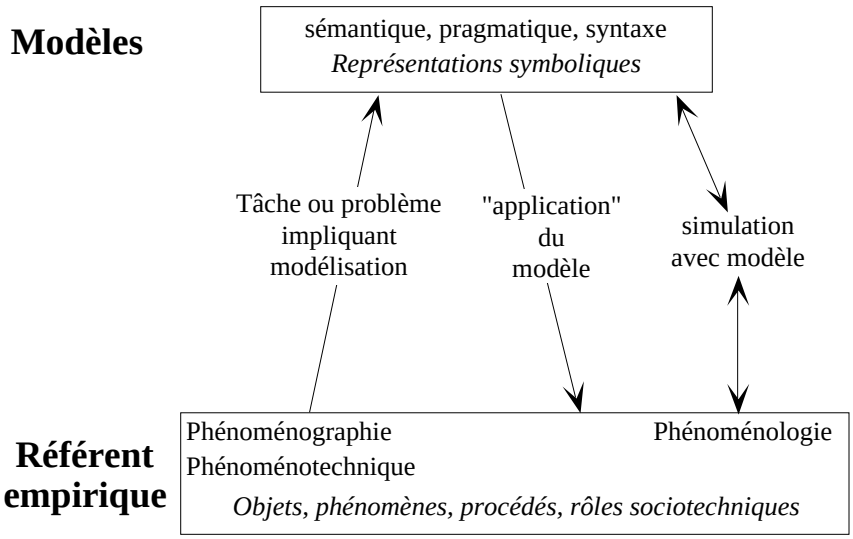
La didactique des sciences considère que le champ empirique et expérienciel est inclus dans le domaine de familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes. Il permet la constitution d'un référent empirique[6] et fournit une impulsion dans la construction de problème empirique. Le schéma de la modélisation et de la conceptualisation, présenté par J.-L. Martinand (1996)[7], apparaît adapté pour discuter des problèmes d'enseignement et d'apprentissage dans le domaine des sciences du vivant.

[5] VERGNAUD, G. (1987). Les fonctions de la symbolisation dans la formation des connaissances de l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud , & J.-P. Bronckart (Eds), *Psychologie*. Encyclopédie de la Pléiade (pp.821-844). Paris : Gallimard.

[6] Nous aborderons, dans la partie 4 de ce mémoire, la question de la constitution de ce référent empirique dans une perspective curriculaire.

[7] MARTINAND, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995*. ENS Cachan.

Registre des modèles et registre du référent empirique (Martinand, 1996)



Ce schéma de modélisation permet également de distinguer la description première (ou phénoménographie) devant donner lieu à une construction consensuelle, et la description seconde (ou phénoménologie) où le modèle (ou le concept) se projette sur le référent, descriptions souvent confondues par les enseignants. Dans ce schéma, si les modèles ou les concepts jouent un rôle analogue aux concepts et aux théorèmes envisagés par G. Vergnaud, ils réfèrent à un ordre de réalité constitué non seulement des objets, des phénomènes, et des actions et des interventions sur ceux-ci, mais encore d'un ensemble de règles d'action, de descriptions et de connaissances d'ordre pratique, ordre de réalité que J.-L. Martinand désigne sous le terme de "*référent empirique*". Par ailleurs, en reprenant le cadre théorique de conceptualisation proposé par G. Vergnaud, s'il apparaît possible, pour les conceptualisations biologiques, d'étudier les invariants opératoires dans le cas de concepts catégoriels, tels ceux de fleur ou de fruit (Boyer, 1998)[8], cela semble, par contre, bien difficile dans le cas de concepts formels, tels ceux d'assimilation chlorophyllienne, d'hormone ou de cycle de vie.

3.1.2. Expérience et expérimentation

Point de vue épistémologique

D'un point de vue épistémologique, la partie précédente de ce mémoire met l'accent sur les articulations, indispensables pour l'élaboration expérimentale de savoirs biologiques, entre construction intellectuelle et validations empiriques. Elle rappelle aussi que l'apport de l'empirisme est loin d'être négligeable dans cette élaboration, en particulier, par ses apports de description, de catégorisation, de définition des attributs et des propriétés aux objets, nécessaires pour pouvoir envisager un contrôle et une

[8] BOYER, C. (1998). *Conceptualisation de la reproduction végétale à l'école primaire*. Thèse de doctorat : Université Paris 5.

mesure des phénomènes. Mais, les besoins de substantifier les qualités peuvent, par ailleurs, représenter des obstacles épistémologiques.

Elle présente des obstacles à l'expérimentation du vivant, et montre l'importance de l'action dans une démarche expérimentale, d'où les difficultés de formaliser *a priori* une démarche convergente et linéaire. Les recherches de Pasteur illustrent, de leur côté, les multiples déplacements et mises en tension entre visée pragmatique et visée épistémique, dans la connaissance du vivant.

Point de vue pédagogique

Du côté des pédagogues, expérience, enquête et expérimentation sont souvent valorisées. C'est le tâtonnement expérimental, abordé comme constituant une méthode "*naturelle*" d'apprentissage, qui est mis en avant par la pédagogie de Freinet. L'enfant, dans l'exploration de son environnement, effectue une multitude de gestes et, par ajustements successifs, s'en tient à ceux qui ont réussi. Par contre, c'est la méthode scientifique considérée comme méthodologie éducative à toutes les étapes de l'enseignement, qui est valorisée par les pragmatistes américains, et en premier lieu Dewey.

Rejetant le dualisme sous toutes ses formes, Dewey, dans *La théorie de l'enquête* (1938), propose une matrice de l'enquête (*enquiry*), à la fois sous ses aspects psychologiques et sociologiques. Ce n'est pas à l'aspect technique de la méthode scientifique qu'il se réfère, mais à son processus et à la façon dont les expériences sont utilisées, en différenciant l'expérienciel et l'expérimental. Il dénomme "*situation*" un environnement, physique ou culturel, mis au foyer de l'expérience par un objet, c'est-à-dire un environnement privilégié et expériencié. Et c'est parce qu'une situation apparaît un moment indéterminée qu'un sujet se met "en quête". L'enquête, pour Dewey, apparaît comme une démarche organique et culturelle de l'être en quête de son équilibre, en quête de la solution de l'obscurité de son environnement, de sa situation, à un moment précis de son histoire. Une situation indéterminée, en tant que telle, n'entre pas dans l'ordre du discours, elle ne peut être qu'expérienciée. "*Il serait contradictoire de tenter de démontrer au moyen du discours l'existence d'univers de l'expérience*" (Dewey, 1938)[9]. La situation est "*indéterminée*" tant que le sujet la subit, elle devient "problématique" dès qu'il entreprend de la redresser, de la réorganiser. Dewey précise la place de l'expérimental dans un processus d'investigation, non pas au sens restreint de contrôle scientifique expérimental, instrumentalisé et mathématisé, mais au sens large où *"expérimental*" signifie à la fois "*éprouvé*", "*mis à l'épreuve*" et "*expérienciel*" c'est-à-dire en continuité organique et culturelle avec la situation (Deledalle, 1967)[10].

[9] DEWEY, J. (1938). *Logique. La théorie de l'enquête*. Réed 1993 Paris : PUF.
[10] DELEDALLE, G. (1967). Présentation. In J. Dewey. *Logique. La théorie de l'enquête* (pp. 9-50). Paris : PUF (réed 1993).

La démarche d'enquête

Cinq étapes sont distinguées entre la reconnaissance d'un problème et sa solution, mais non linéaires, de nombreuses interactions intervenant dans le processus et les règles de l'enquête apparaissant au cours de l'enquête :

6. perception par les élèves d'un problème significatif, d'un doute réel ou d'un besoin,
7. détermination ou construction du problème, ou clarification du besoin,
8. suggestion de solutions possibles (hypothèses) ou de plan d'action,
9. examen raisonné des suggestions et de leurs conséquences,
10. mise à l'épreuve de l'hypothèse ou du plan d'action retenu.

Dans tous les cas, c'est l'importance des idées et de leurs mises à l'épreuve qui est mise en avant par Dewey. "*En premier lieu, la méthode expérimentale attache plus d'importance aux idées qu'aucune méthode*", précise-t-il. Et *"il ne peut y avoir aucune expérience, au sens scientifique du mot, dont le déroulement ne soit docile à une idée directrice*"[11]. C'est ensuite l'attention perspicace aux conséquences provoquées par la mise en œuvre de ces hypothèses : *"une activité qui ne serait pas momentanément suspendue pour permettre l'examen de ses conséquences peut être un instant de joie, mais intellectuellement, elle ne conduit à rien*"[12]. Enfin, Dewey considère que le processus d'enquête n'est efficace que si des traces des idées, des activités et des conséquences observées sont réalisées et conservées, pour pouvoir organiser une réflexion : *"il faut que la réflexion soit capable de réviser et de totaliser, opérations grâce auxquelles on discerne et on enregistre les traits significatifs de l'expérience dont on est l'acteur. (…) Les expériences ne sont éducatives que si elles débouchent dans un monde gros d'un programme, un programme de faits, d'informations et d'idées, conçu par le maître*"[13].

La démarche d'enquête représente, selon Dewey, la "*fille spirituelle de la recherche scientifique*", qui se caractérise, elle, par des aspects plus techniques et plus expérimentaux. Elle peut être confrontée aux 5 étapes de ce qui, dans l'enseignement de la biologie, est dénommé "*la démarche expérimentale*", et à son utilisation en classe, souvent caricaturale.

Ce processus d'enquête peut également susciter un grand intérêt pédagogique pour une éducation scientifique, en particulier pour les jeunes élèves[14].

- Les étapes de la démarche ne sont pas construites *a priori*. Les règles de l'enquête se construisent au fur et à mesure, et prennent en compte les actions et les confrontations successives.

[11] DEWEY, J. *Expérience et éducation*. Paris : Armand Colin. Cité in J. Houssaye (dir.) (1995). *Quinze pédagogues, Textes choisis*. Paris : Arman Colin, p. 124.
[12] *Op. cit.*
[13] *Op. cit.*
[14] Voir, par exemple ci-après, la réponse que j'ai envoyé aux régulateurs du site INRP *lamap*, à la suite d'une question d'enseignant "*j'aimerais savoir si la démarche expérimentale est possible à appliquer au cycle 1* ?", parvenue au site.

- Dans cette approche, les problèmes ne sont ni donnés par l'enseignant ni imposés par une tâche. Ils naissent à partir d'une "*situation*", qui est tout d'abord "*indéterminée*" et qui devient ensuite "*problématique*". Les problèmes, qui nécessitent d'être construits, peuvent aussi bien exprimer des problèmes empiriques et pratiques[15] que scientifiques[16].

- Ce processus articule activités expériencielles et activités expérimentales, bien qu'il y ait toujours une séparation tranchée entre sens commun et science.

- L'enquête se rapproche d'une démarche hypothético-déductive, et envisage une validation des propositions en relation avec la méthodologie utilisée, mais Dewey en revendique une nature logique et non épistémologique.

- Dans la mise en perspective éducatrice de l'enquête[17], est soulignée l'importance des différentes traces écrites, réalisées tout au long de la démarche, et de la structuration.

- Le rôle de l'enseignant transparaît à toutes les étapes. Il apparaît dans l'aménagement de l'environnement scolaire, pour que les élèves vivent et expériencient ce que Dewey appelle des "*situations*". Il se manifeste également dans l'aide à clarifier le problème, les solutions possibles et leurs conséquences, dans l'organisation des mises à l'épreuve successives et des confrontations, dans l'incitation à réaliser différentes traces, et aussi dans la coordination de la réflexion et de la structuration.

- Les contenus formalisés et systématisés de l'enseignement (et qu'on trouve généralement dans les livres) sont considérés comme distants *a priori* de l'expérience du jeune, qui cherche davantage de continuité avec sa vie quotidienne. En outre, Dewey conçoit l'achèvement de l'enquête par "*l'assertibilité vérifiée*", c'est-à-dire l'ensemble des hypothèses qui résistent à toutes les épreuves auxquelles l'homme les soumet. Les modèles d'apprentissage scientifique actuels divergent de cette analyse. Envisageant la construction d'un savoir scientifique en rupture par rapport au sens commun plutôt qu'en continuité, ils considèrent le familier à la fois comme une aide et un obstacle pour les apprentissages, et ils font intervenir la nécessité d'une confrontation à un savoir scientifique socialisé.

[15] Par exemple : Comment installer un aquarium d'eau douce ? Comment maintenir l'humidité des graines ? Voir textes 17 et 28.
[16] Par exemple : Comment le poisson respire sous l'eau ? Quels sont les facteurs externes qui interviennent sur la germination ?
[17] DEWEY, J. (1968). *Op. cit.*

"J'aimerais savoir si la démarche expérimentale est possible à appliquer en cycle 1 ?"

Réponse à une question posée par un enseignant via le site INRP *lamap*

Il me semble que ce n'est qu'avec prudence, que des éléments de réponse à une question relative à "la" démarche expérimentale peuvent être proposés, avec la crainte que cette appellation désigne une démarche reconstruite et linéaire. Si, par contre, sous cette appellation, on veut désigner à la fois une sensibilisation à une démarche scientifique et une confrontation de l'élève à des "expériences", il est tout à fait possible, sous certaines conditions, de mettre en place un environnement scolaire qui favorise la "découverte du monde", et de solliciter des activités qui initient une éducation scientifique des jeunes enfants du cycle 1.

Se familiariser avec des objets scientifiques et techniques, découvrir des phénomènes.

Les activités du cycle 1 favorisent, avant tout, la socialisation et l'autonomie de l'enfant, son développement intellectuel, corporel, sensoriel, moteur et affectif. Si les petits ne possèdent pas encore certains types d'organisation de la pensée, propre à la pensée scientifique (comme l'analyse, l'induction, la déduction…), ils ne développent pas moins une immense activité intellectuelle, nourrie par un besoin d'agir, de connaître, de découvrir, de questionner. Le jeune enfant affirme sans éprouver, sans recourir au besoin de preuve, car il assimile le réel à son activité propre. Lui demander de justifier des affirmations lui paraît impossible. Par la patiente distinction du vrai à construire et du fictif qu'elles induisent, les activités d'initiation scientifique apparaissent comme un effort continu de mise en ordre de la réalité environnante. Elles aident à dépasser le réalisme de l'enfant, tout en contribuant à nourrir son imaginaire et sa créativité. Une activité scientifique ou technique à l'école maternelle ne peut jamais être ponctuelle, et des activités déclenchantes sont nécessaires pour donner du sens et de la motivation. L'école maternelle apparaît tout d'abord comme le lieu de découverte.

L'enseignant peut favoriser une familiarisation pratique des enfants à des objets et à des phénomènes scientifiques et techniques :

- en créant un environnement riche et qui sollicite des actions (organisation de "coins" bricolage, eau, nature…) ;
- en apportant et en renouvelant du matériel (objets techniques simples, en état de marche ou à démonter, instruments d'observation d'utilisation aisée comme les boîtes loupe, …)
- en mettant en œuvre des activités variées d'exploration et de manipulation.

Il semble préférable de ne pas toujours trop "guider" le jeune enfant. Une organisation de classe structurée, mais qui permette à l'enfant d'explorer, seul ou à plusieurs, du matériel (à renouveler), de mettre à l'épreuve ses actions, de tâtonner (par exemple, le laisser "rater" ses semis) se révèle souvent très riche. Si tout le monde réussit uniformément en exécutant des consignes données par le maître ou la maîtresse, les observations sont moins intéressantes ! Afin que les échecs ne soient pas improductifs, il apparaît important que les élèves, avec l'aide de l'enseignant, prennent peu à peu conscience des oublis, des maladresses, en tirent des conclusions utiles et recommencent. Il apparaît possible de :

- favoriser la prise de contact de l'enfant par des approches sensorielles et motrices, des manipulations et des explorations (libres d'abord puis guidées), pour affiner les perceptions, les catégoriser et développer le sens de l'observation ;
- permettre à l'enfant de verbaliser son vécu, chaleureusement et en prenant tout son temps, afin de favoriser le retour réflexif ;
- faire prendre conscience des contradictions, entre enfants ou avec la réalité, solliciter le questionnement, faire naître le besoin de chercher, de se confronter à autrui et à la réalité.

De temps en temps, si l'âge de l'enfant le permet, on peut solliciter, mais sans forcer, une communication plus "scientifique" (dessin, affiche…).

Poser et résoudre des problèmes

Les activités dans les "coins" (coin nature, coin bricolage, coin eau, coin cuisine…), les sorties dans un milieu proche constituent des activités fonctionnelles pour l'enfant. Au cours de ces activités, il appréhende et cherche à comprendre le monde qui l'entoure. Des projets de production ou de fabrication (faire une salade de fruits, préparer un goûter, fabriquer un clown dont le nez s'allume, construire des objets qui bougent avec le vent, installer un aquarium…) représentent également des occasions pour répondre au besoin d'action et susciter la curiosité. Au cours de ces différentes situations peuvent émerger des problèmes pratiques (comment maintenir de la glace au frais ? pourquoi le jouet ne fonctionne plus ? comment faire du pain ? où placer les plantes dans la classe pour qu'elles poussent bien ? que donner à manger à nos poissons ?…) et des questionnements (à quoi sert la levure ? pourquoi la neige est froide ? est-ce qu'on peut laver l'eau ? pourquoi des graines germent-elles plus vite que d'autres ? comment naissent les petits têtards ? pourquoi des objets flottent et d'autres non ? qu'est-ce que c'est que ces "objets" bizarres trouvés sur la plage ? est-ce que c'est vivant ?…). Le corps de l'enfant est égale-

ment à l'origine d'un questionnement intense (pourquoi le pipi est jaune ? pourquoi ça saigne ? à quoi ça sert de se laver les dents ? quand est-ce que je grandis ?…). Ces remarques, soumises au groupe classe et à une première confrontation entre enfants, peuvent représenter une première étape. La pensée finaliste des enfants les empêche souvent de cerner un problème, car ils peuvent expliquer tous les phénomènes par leur propre finalité. Toute explication les satisfait et, de ce fait, arrête le questionnement. Pour progresser, l'enseignant peut, à l'occasion, poser lui-même un petit problème à résoudre, mais celui-ci doit bien correspondre avec la motivation des enfants et les questions qu'ils ont pu être conduits à se poser. Pour prendre en compte les difficultés liées à l'égo-centrisme, on favorise, autant que possible, des moments d'expression et de réflexion en groupe réduit (8 à 10 enfants), en alternance avec des communications dans le grand groupe pour relater ce que l'on a fait. On favorise ainsi l'émergence de plusieurs idées, de différentes solutions possibles à un problème.

Émettre des hypothèses

Les hypothèses sont des solutions possibles à un problème, provisoires et qui nécessitent d'être testées. Les jeunes enfants, ne maîtrisant pas la pensée hypothético-déductive, ne peuvent, seuls, imaginer une ou plusieurs hypothèses plausibles. L'école maternelle peut cependant éveiller l'esprit scientifique et l'enseignant aider les enfants à progresser :

- en faisant verbaliser le résultat attendu par rapport à une action ("je mets plusieurs graines dans un trou parce que je m'attends à ce qu'une grosse plante pousse", "je mets une petite planchette sur l'eau et je m'attends à ce qu'elle flotte"…) ;
- en faisant rechercher plusieurs solutions possibles à un problème et ne pas se contenter d'une seule (comment le linge sèche le plus vite ? dehors, …étalé, avec du vent, … quand il y a du soleil….) ;
- en faisant apparaître la nécessité d'une mise à l'épreuve de la réalité.

Expérimenter

L'école maternelle est, tout d'abord, le domaine des activités pour voir, essayer, explorer, ce que je serai tenté de désigner comme des situations "d'expérienciation" et "d'expérience-action". L'expérimentation proprement dite ne peut réellement être possible. Cependant, une petite initiation est envisageable, lorsqu'il s'agit d'expérimenter pour tester, ou contester des solutions avancées. À l'école maternelle, les enfants éprouvent des difficultés à imaginer des tests pour confronter les solutions envisagées à la réalité. Ils ne mettent que difficilement en doute les propositions, aussi il ne leur apparaît pas nécessaire de les mettre à l'épreuve. Le doute scientifique ne se développe que peu à peu, et la pratique d'activités scientifiques contribue à cette acquisition. Il s'agit de faire prendre peu à peu conscience aux enfants de la nécessité de vérifier ce qu'ils avancent. Une véritable démarche de validation, avec contrôle des paramètres ne peut être mise en place. Il ne peut donc s'agir d'expérimentation, mais d'un tâtonnement expérimental, qui garde essentiellement une valeur heuristique : expérimenter "pour voir". L'enseignant peut, sans forcer, apporter ponctuellement une aide vers une expérimentation "pour vérifier" :

- en proposant lui-même une "expérience" (dans un problème relatif à la croissance des plantes, mettre des semis sous une boîte en carton percée sur un côté),
- ou en fournissant un matériel inducteur de comportements, en particulier de comparaison (dans un problème relatif à l'isolation, proposer plusieurs sortes de matériaux isolants, dans un problème relatifs à la séparation de constituants solides, comme dans le sable, proposer plusieurs sortes de tamis…) .

Une démarche d'enquête peut être mise en œuvre dans de nombreuses activités

Une "démarche d'enquête" peut trouver sa place dans de nombreuses activités, et dans des domaines autres que celui de *Découvrir le monde.* Un exemple :

- les enfants, au cours d'une activité artistique et créatrice utilisent des fusains sur un support papier ;
- ils s'étonnent que le fusain "n'accroche" pas bien, *émergence d'un problème pratique ;*
- la maîtresse leur demande "à quoi cela peut-il être du ?", *un problème est mieux cerné ;*
- elle demande à chacun de donner son avis, en essayant d'argumenter (le papier est trop fin, il est trop lisse…), *émission d'"hypothèses", confrontation de solutions provisoires ;*
- elle interroge "comment on peut le savoir" ? *nécessité d'une confrontation à la réalité ;*
- les élèves envisagent de tester leur fusain sur différents supports (plus ou moins fin, plus ou moins granuleux), *mise à l'épreuve des solutions envisagées* ;
- ils confrontent leurs observations et choisissent le papier qui apparaît le mieux adapté.

C'est donc bien une démarche, un cheminement, un processus, dans un état d'esprit qui suscite la curiosité et développe le doute en n'acceptant pas des réponses toutes faites. Le maître encourage avec bienveillance la recherche de plusieurs solutions possibles et le besoin de les mettre à l'épreuve, et facilite cette mise à l'épreuve de la réalité. Elle peut être mise en œuvre dans de nombreux domaines, à condition de mettre en place des situations qui fassent naître des besoins et des petits problèmes qu'il est possible de résoudre sans trop de difficultés.

3.1.3. Du côté des "élèves sujets"

Différenciation des élèves et sens donné aux activités scolaires

Les didacticiens ont plutôt tendance à considérer l'élève essentiellement comme un sujet épistémique. Pourtant, psychologues et éthologues étudient l'importance de l'affectivité dans les capacités d'apprentissage et de mémorisation. Du côté des pédagogues, les élèves sont souvent considérés de façon plus différenciée que ne le font la plupart des didacticiens. On envisage, ainsi, des "*pédagogies différenciées*" mais jamais des "*didactiques différenciées*". Pourquoi ? Les idées de Freinet, proches de la psychologie fonctionnelle de Claparède, ne dissociaient pas l'affectif et l'intellectuel dans les apprentissages et, dans sa pédagogie fondée sur les essais et les erreurs, le jeu et le plaisir de la réussite occupent une place prépondérante. Les questions de la motivation des élèves pour des activités, et du sens qu'ils accordent à celles-ci, ne peuvent être définitivement éludées[18]. Comment la didactique peut-elle se les approprier ?

L'approche microsociologique et le concept de "*rapport au savoir*" introduit récemment (Charlot, 1997)[19] peuvent conduire à s'interroger sur le type de rapport que chaque élève établit avec un domaine constitué de savoir (Chartrain, 1998)[20] et amène, dans les analyses entreprises en didactique, à considérer des rapports aux savoirs (Caillot, 1999). Afin de contribuer à alimenter ce nouveau champ d'analyse didactique, j'encadre cette année quatre DEA[21], qui abordent, de façons diversifiées, les relations éventuelles entre rapport au savoir et approche expérimentale ou modélisante chez les végétaux, ou entre rapport au savoir et appropriation de théorie biologique.

Le contexte social de l'apprentissage

Le contexte social de l'apprentissage est aussi, désormais, de plus en plus pris en considération. Dans un texte, destiné aux formateurs et clarifiant le modèle pédagogique qui avait conduit au choix rédactionnel des ouvrages scolaires que nous avions réalisés, nous soulignions l'importance de considérer que "*l'on n'apprend pas tout seul"* (texte 21).

Ainsi, en ce qui concerne l'expérimental, plusieurs recherches pédagogiques, menées il y a déjà plusieurs années par l'INRP[22] dans le cadre des activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, avaient analysé les difficultés rencontrées par les élèves dans les

[18] Voir le début de problématisation effectuée par F. KALALI dans sa thèse (1997, Université Paris 7). *Etude et analyse des stratégies de motivation dans l'enseignement et la vulgarisation de la biologie*.

[19] CHARLOT, B. (1997). *Du rapport au savoir. Éléments pour une théorie*. Paris : Anthropos.

[20] CHARTRAIN, J.-L. (1998). *Différenciation scolaire et conceptions des élèves*. Mémoire de DEA : Université Paris V.

[21] Un mémoire de DEA étudie les relations éventuelles entre rapport au savoir et franchissement d'obstacles dans l'approche expérimentale de la croissance des végétaux, en classe de 6ème. Un autre analyse les relations entre rapport au savoir et modélisation du stomate, en classe de seconde. Les deux derniers étudient les relations entre rapport au savoir et appropriation des théories de l'évolution biologique, dans des classes tunisiennes.

[22] COLLECTIF (1973). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. Objectifs, méthodes, moyens*. INRP : Collection recherches pédagogiques 62.

activités expérimentales. Elles les avaient interprétées dans un registre psychologique, en considérant :

- des difficultés pour décomposer un système, relatives au passage de la pensée syncrétique et globale à la pensée analytique et objective ;
- mais également des difficultés à se détacher du support concret de l'action, d'où l'importance à solliciter l'élève pour des activités de communication.

Si la psychologie sociale s'appuie sur les expériences empiriques vécues par l'enfant, elle développe aussi l'importance du contexte social dans les apprentissages. Ainsi, dans la théorie de Vygotski[23], si concept scientifique et concept quotidien suivent des voies de développement opposées, ces deux processus sont cependant profondément liés l'un à l'autre par des rapports internes[24]. Par ailleurs, processus de médiation et de co-construction apparaissent indispensables dans un apprentissage. La place de la communication, celle de la médiation, et celle des débats scientifiques représentent, dorénavant, un important champ d'investigation en didactique.

Objectiver des perceptions

Le schéma de modélisation proposé par Martinand (1996) permet de distinguer la description première (ou phénoménographie) qui doit donner lieu à une construction consensuelle, de la phénoménologie. Mais comment s'assurer de cette construction consensuelle entre différents sujets ? En particulier, comment développer de l'objectivité dans le domaine des perceptions individuelles ? Le recours à l'instrumentation et à la mesure peut contribuer à cette objectivation. Mais comment aider à cette objectivité dans des domaines où l'on ne dispose pas d'instrument de mesure, par exemple celui des saveurs et des odeurs ?

Pour contribuer à se libérer de la subjectivité, le travail de M.-J. Comte (1994)[25] étudie une initiation scientifique, à l'école élémentaire qui puisse conduire les élèves à passer d'une connaissance, privée et implicite, des saveurs et des odeurs, à une connaissance sociale, explicitée. Les élèves ont ainsi été engagés dans des activités les conduisant à

---

[23] VYGOTSKI, L. *Pensée et Langage*. Messidor, traduction et édition 1985.

[24] En effet, pour que le maître puisse permettre une médiation entre concepts quotidiens et concepts scientifiques, il apparaît indispensable que les concepts spontanés aient atteint un certain niveau de maturation et se trouvent dans une zone de proche développement. Le concept spontané doit s'être enrichi de l'expérience vécue de l'enfant, et avoir parcouru un contenu purement concret et empirique. Cependant, "*ce qui fait la force des concepts scientifiques fait la faiblesse des concepts quotidiens et inversement la force des concepts quotidiens est la faiblesse des concepts scientifiques*", argumente Vygotski.. *"L'enfant formule mieux ce qu'est la loi d'Archimède qu'il ne définit ce qu'est un frère. De toute évidence, cela ne peut manquer d'être la conséquence du fait que les deux concepts ont suivi une voie de développement différent*". En effet, "*les concepts scientifiques, qui se forment dans le processus de l'apprentissage scolaire, se distinguent des concepts spontanés par un rapport autre avec l'expérience de l'enfant*". L'enfant a pu enrichir le concept spontané de "frère" par tout un ensemble d'expériences vécues hors contexte scolaire, alors que c'est essentiellement à l'école que sera organisée la rencontre à un contenu empirique de "loi d'Archimède".

[25] COMTE, M.-J. (1994). *Approche des odeurs et des saveurs à l'Ecole élémentaire*. Thèse de doctorat : Paris Université Paris 7, Denis Diderot.

prendre conscience des sensations olfactives et gustatives qu'ils ressentent, à les affiner, et à élaborer des systèmes symboliques de communication.

Objectiver, dans ce cas, consiste donc à mettre au point des procédures standardisées de recueil des informations et de leur codification. Cette démarche pourrait être transposée dans des activités expérimentales sur le vivant, en particulier face à des phénomènes qui apparaissent difficilement quantifiables, tels certains comportements animaux (texte 39).

3.1.4. Du côté des "savoirs"

Mais, finalement, quels sont les "*savoirs*" en jeu dans les apprentissages scientifiques, et dans les activités expérimentales ? Une conception, classique en didactique des sciences, consiste à distinguer plusieurs catégories de "*savoirs*" (savoirs, savoir-faire, savoir-être), représentant autant de repères pour l'enseignant, en particulier dans une pédagogie par objectifs (repères relatifs à des contenus notionnels, à de la méthodologie et de la technique, ou à des attitudes) (Collectif INRP, 1974 ; de Vecchi & Giordan, 1987)[26]. Les chercheurs et les pédagogues anglo-saxons, de leur côté, mettent un accent particulier sur les savoir-faire (*skill*), et les habiletés (*abilities*). Mais une catégorisation de ces savoirs est-elle si simple ? Comme l'écrit Ph Perrenoud (1997)[27], la notion de savoir-faire est ambiguë. Elle peut désigner, selon le contexte :

- soit une compétence élémentaire d'action manuelle,
- soit une connaissance procédurale un "*savoir comment y faire*",
- soit un schème d'une certaine complexité, un "*savoir y faire*" qui procède d'un entraînement intensif, à la manière d'un virtuose ou d'un artisan dont les gestes se sont fondus dans l'habitus.

Savoirs scientifiques et/ou savoirs pratiques ?

Les savoirs élaborés par l'intermédiaire des activités expérimentales sont parfois différenciés en savoirs scientifiques et savoirs pratiques. Mais en quoi des savoirs scientifiques se distinguent-ils de savoirs pratiques ? Prenons l'exemple de l'enseignement du contrôle de la croissance et du développement des végétaux. Les savoirs pratiques relatifs à la taille des arbustes, par exemple les rosiers, ne sont pas transférables à la taille de la vigne ou à celle des pommiers, tandis que les savoirs scientifiques sur les hormones végétales, et sur leurs rôles dans le contrôle du développement des bourgeons et dans la croissance différentielle des rameaux, peuvent être mobilisés pour de nombreux végétaux. En effet, les savoirs relatifs à la taille des

[26] COLLECTIF (1974). Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. *Recherches pédagogiques* 70. Paris : INRP.
ASTOLFI, J.-P. (éd.) (1985). *Procédures d'apprentissages en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
DE VECCHI, G. & GIORDAN, A. (1987). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que "ça marche"*. Nice : Z'éditions.
[27] PERRENOUD, Ph. (1997). *Construire des compétences dès l'école*. Paris : ESF. p. 34.

végétaux sont issus d'une corrélation empirique, alors que ceux relatifs aux hormones végétales proviennent de l'établissement d'une corrélation causale. Dans le premier cas, c'est une efficacité maximale qui est visée, alors que dans le deuxième cas, c'est une recherche d'invariants.

S. Johsua (1998)[28] , dans une approche anthropologique relative à des "*objets de savoirs*" pouvant "*vivre*" dans des institutions différentes, et par une analyse tendant à rendre compte de la spécificité de la fonction de l'école par le type de savoirs qu'elle traite, rejette également tout dualisme. Séparer strictement pratique et théorie, savoir et savoir-faire, savoirs déclaratifs et savoirs procéduraux, peut, de plus, conduire à ennoblir la partie "*conceptuelle*" au détriment de la partie "*active"* et "*expériencielle*". S. Johsua conserve une distinction entre "*savoirs pratiques*" (dont on peut constater la mise en œuvre) et "*savoirs théoriques*" (marqués par leur publicité et leur organisation), mais il argumente de la nécessité de restituer la dialectique entre ces deux types de savoir. Il appelle "*savoirs techniques*" l'ensemble des cibles d'apprentissage repérables qui nécessitent une étude systématique en vue de leur maîtrise (que les cibles en question se manifestent sous une forme de "*pratique*" ou d'une "*théorie*"). Parmi les "*savoirs techniques*", il distingue ceux dont les conditions d'étude sont disposées dans l'environnement familier, et ceux qui nécessitent des dispositifs intentionnels (par exemple l'école), qualifiés de *"savoirs hautement techniques*".

Une question didactique importante est de savoir comment l'école organise la rencontre des élèves avec un environnement familier, mais qui peut ne pas être partagé par tous, ou met en place un substitut (par exemple les pratiques de jardinage). Cette interrogation pourrait être confrontée aux questions, soulevées par le cadre théorique de J.-L. Martinand : celle de la prise en compte des pratiques sociales dans les références scolaires, et celle de l'élaboration d'un registre de familiarisation pratique à des objets et à des phénomènes scientifiques et techniques.

Savoirs mobilisés dans la constitution d'un référent empirique

Savoirs pratiques et savoirs scientifiques ne peuvent pas, en effet, être simplement opposés. Ce que J.-L. Martinand (1998)[29] dénomme "*référent empirique*" pour l'apprentissage d'un concept réfère à un rapport au monde. Les savoirs mobilisés dans la constitution de ce référent empirique ont un statut "*empirique*", même s'ils sont l'aboutissement de processus antérieurs d'élaboration conceptuelle, en ce sens qu'ils sont inconsciemment projetés sur la réalité. Soulignons par ailleurs que, dans le cas de la biologie, ce référent empirique ne réfère pas qu'à des descriptions et des interventions expérimentales, mais que l'observation y tient une place primordiale. Il est constitué non seulement des objets biologiques et techniques et des actions sur ceux-ci, des phénomènes scientifiques et des interventions sur ceux-ci, mais aussi des

[28] JOHSUA, S. (1998). Des "savoirs" et de leur étude : vers un cadre de réflexion pour l'approche didactique. *Année de la Recherche en Sciences de l'Education* (pp. 79-97). Paris : PUF.
[29] MARTINAND, J.-L. (1998). Modélisation, résolution de problèmes et médiation. In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais (dir.), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 271-278). Berne : Peter Lang.

connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées. D'un point de vue épistémologique, on ne peut donc pas considérer un dualisme strict entre "*savoirs pratiques*" et "*savoirs conceptuels*", entre "*savoirs théoriques*" et "*savoirs d'action*".

Ainsi, la construction d'un terrarium par des élèves de cycle 2 (textes 39 et 47), afin de réaliser une première modélisation d'écosystème forestier, nécessite :

- l'application de connaissances concernant l'organisation d'une plante (partie souterraine, partie aérienne) et la diversité végétale,
- des savoirs pratiques, par exemple pour le prélèvement et la plantation du végétal.

Cette question se pose également quand il s'agit non pas d'activités expérimentales en laboratoire scolaire, mais d'études de milieu et d'activités de terrain (en écologie ou en géologie, par exemple). L'entretien, réalisé par C. Orange (1998)[30] auprès du géologue C. Chopin, illustre l'importance que celui-ci accorde, pour ses recherches, à la constitution, par plusieurs années de pratiques de terrain, d'un référent empirique qui permette de mobiliser rapidement un "regard orienté" et une sélection d'indices complexe. Comment initier alors la constitution d'un tel référent empirique chez les élèves ? Il faudrait pouvoir différencier ce qui, provenant de l'acquisition d'un habitus, pourrait être sollicité lors de variations mineures du problème ou du terrain, et ce qui relèverait plus de la compétence d'expert, avec une mobilisation et une adaptation de schèmes d'action et de connaissances à de grandes variations.

Savoirs et savoirs d'action

C'est une question de même nature qui pose J-M. Barbier (1996)[31], en didactique professionnelle, lorsqu'il s'agit de mieux connaître les interactions qui s'établissent entre pratiques expériencielles, compagnonnage, et savoirs d'action. Les différentes théories de l'action proposent une conceptualisation des savoirs tacites ou des savoirs empiriques, qu'il s'agisse d'acquérir un tour de main, une procédure ou un habitus, indispensables à l'expérimentateur. À ce propos, A.Vergnaud (1996), analysant les hautes compétences professionnelles acquises par un porcher dans un abattoir et devenu expert par expérience acquise lors de plusieurs années d'exercice de son métier, soulève la question des difficultés rencontrées pour formaliser des savoirs empiriques. Ce qui conduit les chercheurs à tenter d'analyser "*la relation dialectique qui intervient en permanence dans l'éducation et le travail, entre d'un côté l'action en situation, la pratique et l'expérience et de l'autre côté la verbalisation et la théorie*"[32].

[30] ORANGE, C. (coord.) (1998). *L'expérimental dans la classe*. Recherche associative IUFM-INRP coordonnée par C. Larcher. Rapport de l'équipe Caen-Nantes. Document interne INRP.
[31] BARBIER, J.-M. (dir.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.
[32] VERGNAUD, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M. Barbier (dir.) *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 275-292). Paris : PUF

Importance de la "matrice cognitive"

Une expérimentation représente un ensemble complexe de mise au point de protocoles, de procédures, de recours à des instruments, matériels et théoriques. Pour s'affronter à la matérialité de la biologie, il s'agit également d'utiliser des instruments théoriques, des éléments épistémiques indispensables à la mise en œuvre concrète de procédures expérimentales.

Les recherches réalisées sur la modélisation ont pointé la nécessité, pour construire un modèle, de mobiliser des opérations logiques et mathématiques, mais également des considérations relatives à une certaine conception du monde, du savoir et de la science : ce que Orange (1997)[33] considère comme l'aspect "métaphysique" des paradigmes et qu'il nomme "*registre explicatif*". Pour lui, le registre explicatif représente le monde mental sur lequel s'appuie la construction du modèle, et qui lui donne ses qualités explicatives et heuristiques. C'est par ce monde que ce modèle fait sens pour le scientifique, et qu'il est intellectuellement manipulable. Dans la construction d'un modèle pour résoudre un problème, il apparaît indispensable de faire fonctionner ce registre explicatif, de façon technique, avec ses règles et ses éléments formels, mais il faut aussi adhérer aux choix "métaphysiques " de ce registre.

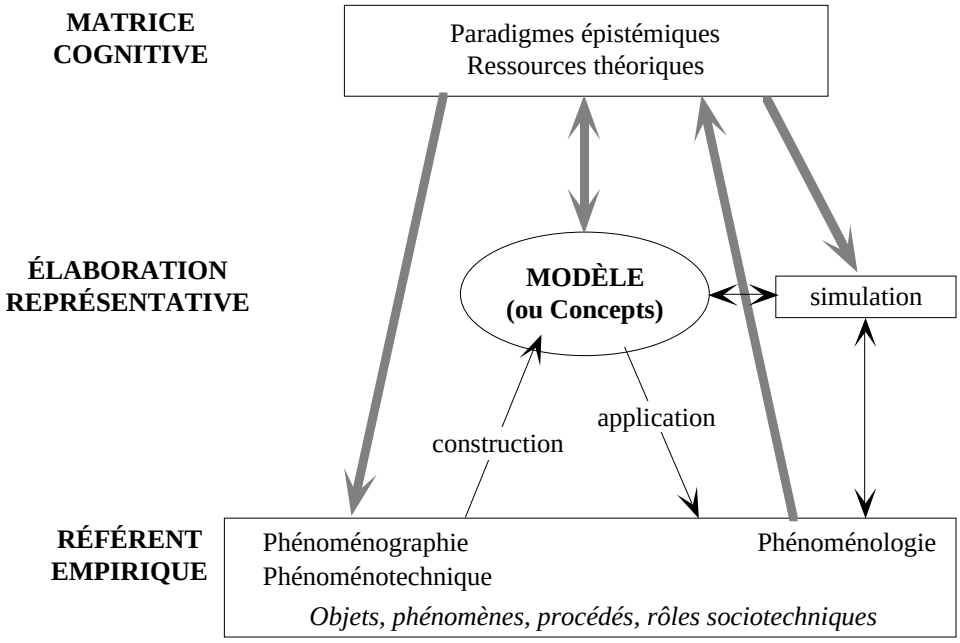
Dans l'analyse d'Orange, rendre capable un élève d'utiliser ou de construire un modèle, c'est le faire entrer dans une façon d'expliquer particulière, et lui permettre de fonctionner intellectuellement. Deux obstacles éventuels sont alors à franchir :

- le changement technique d'outils intellectuels malgré la relative pertinence de ceux que l'on utilise,
- la nécessité éventuelle d'une véritable "conversion" métaphysique.

Martinand (à paraître)[34] adhère pleinement à toutes les questions des formes de la rationalité et d'objectivité, des outillages mentaux, graphiques, langagiers, mathématiques ou théoriques pour pouvoir penser et communiquer, il considère, cependant, que toutes ces questions dépassent celle du seul "pouvoir explicatif". Par exemple, comment ces formes induisent-elles ou restreignent-elles les problèmes envisageables et les représentations possibles ? Il propose, dans son schéma de la modélisation, la mobilisation d'un ensemble comprenant à la fois la conception de ce que doit être la connaissance, les formes, les "bonnes pratiques" théoriques ou empiriques (les "*paradigmes épistémiques*") et les ressources théoriques (langages, schémas et théories), et dénomme cet ensemble "*matrice cognitive*".

[33] ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF coll. L'éducateur.
[34] MARTINAND, J.-L. (1996). *Op. cit*. et MARTINAND, J.-L. (à paraître). Apprendre à modéliser. *Actes du Colloque de Trois-Rivières.* Québec.

Schéma général de la modélisation (Martinand, 1996)



Dans l'équipe de recherche que j'ai coordonnée, nous avons repris ce schéma de la modélisation, pour tenter de comprendre et de clarifier les opérations intellectuelles et les ressources épistémiques mises en jeu par des lycéens, pour concevoir et réaliser une expérimentation.

L'investigation sur problème ouvert relatif au métabolisme des ectothermes, en classe de 1e S (textes 14 et 39), par exemple, sollicite la constitution d'un référent empirique qui mobilise :

- des procédures de mesure de masse et des procédures de mesure de température, des compétences instrumentales (utilisation de la sonde oxymétrique, utilisation du microscope…),
- la reconnaissance de différents états dans un cycle de vie.

Nous avons analysé, par ailleurs, que la matrice cognitive était constamment mise à contribution : dans la phase de problématisation, mais aussi dans celle de conception de protocole expérimental puis dans celle de mise en œuvre, de recueil et de traitement des données.

Sollicitation de la matrice cognitive (extrait du texte 55)

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

Lors du recueil et du traitement de données
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 minimes, ils tracent des pentes gigantesques. Nous retrouvons, dans cette étude, des difficultés, qui ont été analysées par ailleurs (Darley, Marzin, 1998)[35], et qui sont relatives à la compréhension de l'enjeu de la mesure. Exploiter des données quantitatives, en effet, nécessite de pouvoir définir le mode de traitement auquel les données seront soumises (choix de la représentation graphique, du calcul mathématique...), pour les transformer en résultats qui seront confrontés au cadre théorique ou aux conséquences des hypothèses testées. Par ailleurs, peu de groupes proposent un commentaire cohérent avec le problème et l'hypothèse posés. La plupart n'envisagent qu'une lecture de représentation graphique sans conclusion avec le problème initial. Rien ne laisse penser qu'il y ait eu la moindre anticipation quant à l'allure de la représentation graphique, qui aurait permis de définir les critères de validation ou d'invalidation de l'hypothèse.

Le schéma de la modélisation de Martinand permet d'interroger les rapports entre concret, abstrait, et formel, l'articulation entre expérimental et théorique, et la prise en compte des modèles. Les sciences de la vie, comme les sciences de la matière, ont de plus en plus recours à la modélisation, nous l'avons vu, mais on ne peut commencer par là dans les apprentissages. Il convient donc de questionner les modalités et les enjeux éducatifs de la construction d'un rapport expérimental au vivant à l'École. Comment interagissent conceptions du vivant et rapport expérimental ? En quoi un rapport expérimental contribue-t-il au respect du vivant ou, au contraire, à sa déconsidération ? Comment prendre en compte la matérialité des sciences de la vie dans les apprentissages ? Comment, dans les situations scolaires, développer le rapport à l'écrit comme moment dans un rapport expérimental ?

[35] DARLEY, B., MARZIN, P. (1998). *Productions graphiques chez des élèves de 1ére S. Apprendre à recueillir, traiter et interpréter des données expérimentales*. Rapport interne INRP.

3.2. Expériencier et expérimenter le vivant

Agir dans un coin : exemple des semis (extrait du texte 1)

Activités fonctionnelles
Les activités dans le coin sont tout d'abord fonctionnelles : elles répondent aux besoins d'action de l'enfant et ont comme moteur essentiel son plaisir. Les semis sont un support efficace, en parfaite adéquation avec les objectifs de l'école maternelle. Ils contribuent à la construction de la notion de temps, ils participent à la socialisation, au développement d'habiletés motrices et du langage. Peu coûteux et pouvant être mené en toute saison, ce type de projet permet à chaque enfant de manipuler et d'effectuer un tâtonnement expérimental très riche : par exemple, essayer différentes stratégies d'arrosage ou d'exposition au soleil. Les semis permettent également d'aborder des objectifs spécifiques.

Découvrir la vie sous sa forme végétale
La vie végétale est moins spectaculaire que la vie animale car les plantes ne sont pas capables de déplacements autonomes. En effectuant des semis, l'enfant constate des manifestations de la vie des plantes : sa croissance, ses besoins (découvrir les besoins en eau et éventuellement en lumière). Avec des conditions favorables au développement de la plante (terre, espace...), l'enfant peut prendre conscience du cycle végétal que constitue la germination, la croissance, la reproduction, la mort de la plante. Il peut comparer avec les plantes de son environnement.

Notion de graine
Beaucoup d'enfants pensent qu'en mettant de nombreuses graines à germer dans le même "trou", on obtiendra une plante plus grosse. Effectuer des semis et orienter l'observation permet de faire constater qu'une graine, si elle germe, donne une plante.

Approche de la notion d'espèce
En observant les germinations, en faisant des essais de semis, l'enfant découvre qu'il existe différentes sortes de graines qui donnent différentes sortes de plantes.

Suivi du temps qui passe
Arroser aussi souvent que nécessaire, mais pas trop souvent non plus... On peut organiser le moment de l'arrosage et le repérer dans la semaine (par exemple le mardi soir ou le vendredi soir, veilles des jours de fermeture d'école...). On fait constater la différence de taille des plantes en fonction du jour de semis. On organise une observation régulière de la germination et du développement des plantes.

Des activités fonctionnelles à des activités de résolution de problèmes
Lors des activités fonctionnelles, l'enfant fait des constats, compare, se posent des questions. "Pourquoi les graines de Julie ont-elles poussé plus vite que les miennes ? ". "Il y a des petites graines qui ont poussé toutes seules dans le seau de terre !". Les commentaires, spontanés ou sollicités par l'adulte, permettent de verbaliser ses conceptions sur le phénomène. Ainsi, Thomas avait versé tout un sachet de radis dans un trou. Invité à préciser son action, il explique que c'est "pour avoir vite un gros radis". Avec l'aide de l'enseignant, sa curiosité est stimulée et il s'étonne peut-être de certains résultats de ses actions. En étant attentif à ces conceptions initiales, l'enseignant peut évaluer les progrès des enfants et choisir, parmi diverses activités, celles qui seraient les plus susceptibles de faire évoluer l'enfant.

Le muscle est-il vivant ? (extrait du texte 18)

"Le muscle est-il vivant ?". La réponse à cette question divise bien souvent les élèves de première S. La manipulation présentée ici permet de constater et de faire varier la respiration de cellules placées en survie dans un milieu synthétique. Dans de telles conditions, les cellules lésées ne respirent que durant une heure ou deux,, avant d'être détruites de façon irréversible. Un tel dispositif expérimental à l'avantage de montrer la nature intime du phénomène de respiration qu'il permet de "disséquer" : en effet, on peut facilement étudier l'action de substances chimiques qui activent la respiration (les acides succinique et citrique, par exemple) et de substances qui l'inhibent (par exemple, l'acide malonique). C'est par des expériences tout à fait analogues que l'on a pu établir les mécanismes intimes de la respiration cellulaire.

Entre ces deux textes, tous deux destinés à la formation d'enseignants[36], il n'y a pas que des différences de niveau d'élèves et de niveau d'organisation du vivant abordé : activités destinées à faire vivre un ensemble de situations et à expériencier le vivant dans l'un, construction d'un dispositif visant à analyser un phénomène biologique et à expérimenter le vivant dans l'autre. Si expérienciation et expérimentation contribuent toutes deux à la construction de connaissance, la rationalité de chacune diffère et le passage de l'un à l'autre nécessite une rupture épistémologique.

Mais comment envisager les apports éducatifs suscités par le développement de rapports au vivant à l'école ? Comment les conceptions du vivant des élèves peuvent-elles intervenir dans leur construction d'un rapport expérimental ? Comment considérer alors les rapports à l'expérimental et les conceptions épistémiques développées ?

3.2.1. Rapport au vivant et éducation

À l'école maternelle (extrait du texte 1)

Les enfants se font des êtres et des phénomènes une idée personnelle, comme les adultes d'ailleurs, ou bien ignorent totalement certains domaines. Ces conceptions initiales ne cessent de se modifier par intégration successive des connaissances et des expériences. L'école a un rôle fondamental dans cette évolution des conceptions initiales. Ainsi élever un petit animal (en prenant les indispensables précautions relatives à la santé et à l'hygiène) ou faire germer des graines ne doit pas seulement relever du domaine de l'affectif. Un lapin nain n'est pas seulement un petit compagnon affectueusement soigné et dont on se sent responsable, c'est aussi un être vivant qui concrétise les grandes fonctions vitales, leurs exigences, leur cycle. Plusieurs élevages, par les comparaisons qu'ils favorisent, constituent un champ d'observations. (…) La logique disciplinaire se double constamment d'une logique de l'apprentissage pour l'enfant. Ce ne sont pas les mêmes, et la première doit servir l'autre.

À l'école maternelle, les activités scolaires sont construites pour prendre en compte le développement de l'enfant dans sa totalité. Elles envisagent aussi bien les aspects intellectuels qu'affectifs, moteurs ou esthétiques. Dès l'école primaire, lorsque le didacticien s'interroge sur les interactions entre activités expérimentales et apprentissages,

[36] Enseignants du primaire pour le texte 1, enseignants de SVT pour le texte 18.

c'est, le plus souvent, à l'élève en tant que sujet cognitif ou sujet épistémique qu'il s'intéresse. Cependant, de nombreux mouvements de rénovation pédagogique soutiennent que le développement de l'enfant ne doit pas être envisagé seulement dans un sens intellectualiste. Ils défendent l'idée d'une école active, ouverte sur tous les aspects de l'environnement, et qui puisse représenter un milieu de vie de l'élève[37]. Cette école active représente une condition d'un engagement volontaire du sujet, dans une activité de développement qui fasse intervenir la personnalité dans sa totalité physique, intellectuelle, sociale et affective. Pourquoi donc introduire le vivant, et en particulier une "*présence animale* ", à l'école ?

Se sentir *"être vivant*"

Tout d'abord, une présence animale peut-elle contribuer à faire sentir l'"*être vivant*", souvent enfoui sous l'"*être pensant*"? *"Pris à la lettre et en toute rigueur"*, remarquait déjà Canguilhem[38], *"le rationalisme, philosophie de l'homme savant, finirait par faire perdre de vue à l'homme qu'il est un être vivant*". Actuellement, constate de son côté la philosophe Elizabeth de Fontenay[39], le rapport à l'animal "*se dissout dans le biologisme, le scientisme et l'ethologisme*". Cependant, lors d'une investigation concrète, il ne peut être question que d'intellectualité : tout sujet est aussi touché par son rapport affectif et émotionnel au vivant. Par ailleurs, l'attention au ressenti de son propre corps, la découverte de sa forme et de ses fonctionnalités, la sensation de sa propre vitalité dans un organisme malade ou en pleine santé, contribuent à l'expérience de soi-même en tant qu'être vivant. Favoriser le développement de rapports au vivant conduit, tôt ou tard, à expériencier la vie *"comme ensemble des fonctions qui résistent à la mort*", selon les termes de Bichat[40], et permet, sans se restreindre à des aspects uniquement biologiques, d'envisager un accompagnement quand un enfant se trouve confronté à l'irréversibilité de la mort.

***"Présence animale*" et intégration scolaire**

Par ailleurs, Hubert Montagner[41], citant plusieurs études menées sur des enfants souffrant de troubles du comportement, en particulier des études médicales sur des enfants autistes[42], argumente du rôle structurant et médiateur que la relation avec l'animal peut jouer. En favorisant le développement de conduites d'interaction et des comportements imitatifs, une présence animale à l'école peut aider à l'intégration de certains élèves. Si le rapprochement au vivant facilite la découverte de la communication non verbale, il peut également favoriser la levée de certaines inhibitions, et le dépassement de certaines angoisses. Il est possible aussi que cette "*présence*" puisse représenter un médiateur pour découvrir la personnalité de l'élève ou pour favoriser la socialisation.

---

[37] COLLECTIF (1972). *Les mouvements de rénovation pédagogiques par eux-mêmes*. Paris : ESF

[38] CANGUILHEM G. (1947). Note sur la philosophie biologique. *Revue de métaphysique et de morale*, juillet-octobre 1947.

[39] FONTENAY de, E. (1999). Entretien à propos de son livre *Le silence des bêtes, la philosophie à l'épreuve de l'animalité*. *Res Publica* n°20, pp.4-15.

[40] Cité par CANGUILHEM G. *Etudes d'Histoire et de Philosophie des sciences*, p.225.

[41] MONTAGNER H. (dir.) (1995). *L'enfant, l'animal et l'école*. Bayard éditions/AFIRAC.

[42] Des thérapies, fondées sur le développement de relations avec certains animaux, tels les dauphins ou les chevaux, semblent d'ailleurs aider à la restructuration, au développement affectif et à la projection.

Une "*propédeutique*" d'expériences

En outre, "*l'enfant, aujourd'hui, passe plus de temps devant l'écran de télévision qu'il n'en passe à l'école*", constatait Louis Legrand[43] … déjà en 1980 ! "*L'univers urbain abstrait où il vit l'éloigne des expériences fondamentales qui étaient celles du petit paysan d'autrefois*", et il *"consomme du concept",* sans s'en apercevoir. En effet, alors que l'environnement rural favorisait une familiarisation pratique de l'enfant au monde vivant dans sa diversité, et le développement de multiples rapports, en particulier des rapports utilitaires et ludiques, l'actuel environnement urbain, dans lequel vit la majorité des élèves, ne conduit essentiellement qu'à des relations de familiarité avec des animaux domestiques d'agrément. "*Le rôle de l'école*", interroge Louis Legrand, "*n'est-il pas désormais, et de plus en plus, d'offrir à l'enfant ces expériences concrètes fondamentales que le milieu naturel disposait autour du petit paysan : cultiver, élever, construire des machines simples, toutes activités indispensables à l'élaboration des schèmes opératoires concrets sur lesquels se construit la pensée conceptuelle abstraite ?"* Comme nous le verrons plus loin, il convient sans doute d'envisager, qu'une des missions de l'école dans le développement d'un rapport expérimental au vivant pour les plus jeunes, se trouve dans la compensation de ce déficit de familiarisation pratique. Offrir des expériences de base, que l'enfant ne peut plus faire hors de l'école, lui permettre de pratiquer petits élevages et jardinage, mais également développer des pratiques corporelles, permet de constituer une véritable "*propédeutique*", en reprenant encore l'expression de Legrand.

Contribution à la structuration du temps

Ainsi que je le présentais dans un livre destiné à la formation des enseignants (texte 1), le vivant présente toujours une dimension temporelle. Sa découverte et son investigation contribuent à la construction des notions de cycle, d'âge, de rythme, de durée, et aussi de celles de croissance, de développement, et de mort.

Le respect du vivant

Des activités qui développent un rapport au vivant peuvent initier des comportements démocrates et responsables. À la fin du cycle 2, par exemple, les conceptions initiales des élèves concernant le vivant ont pu évoluer. La compréhension de l'irréversibilité de la mort et de la fragilité du maintien en vie peut alors fonder le respect du vivant. Les élèves, ayant intégré les besoins indispensables pour de bonnes conditions de vie d'un organisme, sont devenus capables d'être responsables d'un élevage ou d'une plantation. Quels que soient les cadres d'utilisation du vivant et les attentes de l'enseignant, la notion de respect, en effet, reste fondamentale. En ce qui concerne l'animal, le cadre juridique français est clairement défini dans la législation relative à la protection de la nature[44], qui précise : *"Tout animal, étant un être sensible, doit être placé par son*

[43]LEGRAND L. (1980). Freinet aujourd'hui. *Perspectives,* X, 3. pp. 389-390.

[44] Loi n°76-629 du 10 juillet 1979, article 9. Le ministère de l'Agriculture est chargé du contrôle et du respect des textes en vigueur sur la protection des animaux domestiques. Les animaux non domestiques relèvent plus particulièrement du ministère de l'Environnement. Voir aussi Recherche biomédicale et santé, complément au bulletin *Biologie Géologie* 3, 99. GIRCOR/APBG.

propriétaire dans des conditions compatibles avec les impératifs biologiques de son espèce".

3.2.2. Conceptions du vivant et rapport expérimental au vivant

Une école d'esprit critique

"*Je cherche des expériences à réaliser sur le thème de la conduction de l'eau dans les plantes, principalement dans la tige. Expérience en cours : 3 plantes, une avec racines et feuilles, l'autre sans racines et quelques feuilles et une autre encore, sans racines et sans feuilles. Ces 3 plantes sont dans des verres gradués, remplis d'eau et le but est de savoir quelle quantité d'eau a été absorbée en fonction de l'état de la plante. Donc, il me faut une deuxième série d'expériences*". Voici une question d'enseignant parvenue récemment pour "consultation didactique" au site INRP *lamap*. Elle traduit les difficultés rencontrées par un enseignant du primaire dans un rapport expérimental au vivant. Ces difficultés sont sans doute multiples.

Elles peuvent, tout d'abord, être relatives à la non maîtrise d'une démarche scientifique (voir texte 15). En effet, le questionnement concerne la conduction de l'eau par les racines (et donc une expérimentation sur les vaisseaux où la mise en évidence avec de l'eau colorée pourrait convenir...), tandis que l'expérimentation envisagée est plus relative aux facteurs intervenant dans l'absorption.

Remarquons que ces difficultés sont aussi conséquentes de conceptions du vivant inadéquates. Ainsi, le protocole envisage de séparer, un par un, ce qui pourrait apparaître comme différents "facteurs" biologiques (les racines, les feuilles...), et sur un seul échantillon. Or, dans un problème relatif à du vivant, il est souvent bien difficile que des facteurs n'interagissent pas. On ne peut pas, par ailleurs, envisager de supprimer certains éléments, s'ils apparaissent indispensables au maintien en vie (mutiler par exemple profondément une plante, en ne laissant plus qu'une tige). L'expérimentation sur le vivant à l'école est souvent plus difficile que sur la matière. Elle demande aussi le respect de plusieurs contraintes, et beaucoup de créativité dans la conception des protocoles. Ainsi, plutôt que d'envisager une causalité simple, et une suppression de la cause éventuelle pour annuler l'effet (avec une posture de "tout" ou "rien"), un protocole avec différents échantillons du même végétal, mais avec des surfaces foliaires différentes et une recherche de covariation, apparaîtrait plus pertinent. Par ailleurs, une autre question est relative au moment de la réalisation du protocole : si celui-ci est réalisé à la fin de l'automne ou en hiver, il est possible que le végétal soit entré en repos végétatif, et qu'il n'absorbe quasiment plus d'eau. La construction d'un rapport expérimental au vivant est donc une bonne école pour le développement d'un esprit critique !

Mettre à l'épreuve des conceptions du vivant

Mise à l'épreuve des conceptions du vivant lors d'une expérimentation en classe de Première (extrait du texte 14)

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, tandis que, dans un autre groupe, des ténébrions sont laissés, entassés dans une petite seringue, pendant toute la pause.

Un classement, couramment répandu dans l'inconscient collectif, place les mammifères au sommet d'une hiérarchie, reléguant les invertébrés et les végétaux à des niveaux subalternes du monde vivant. La construction d'un rapport expérimental au vivant permet de faire émerger et de mettre à l'épreuve ces conceptions.

Transformer des conceptions du vivant

Pour pouvoir transformer les conceptions du vivant, les activités scolaires nécessitent de pouvoir :

- les prendre en considération, d'une part,
- contribuer à développer une investigation réellement biologique, qui puisse prendre en compte le vivant dans sa complexité, d'autre part.

Les travaux pratiques actuels au lycée ne prennent que rarement en compte les conceptions initiales des élèves, et ils proposent essentiellement une approche analytique et physico-chimique du vivant. Or, une simple analyse chimique ne permet pas d'établir une relation certaine entre une structure moléculaire et ses effets biologiques, ce qui nécessite une connaissance fine des propriétés allostériques (texte 19). De plus, au-delà de ses composants organiques, une des caractéristique du vivant est sa formidable capacité de synthèse : une caractéristique importante qui ne semble pas être toujours prise en compte dans la constitution des activités scolaires expérimentales actuelles. Toutes ces activités ne sont pas sans conséquences sur les conceptions du vivant et de l'expérimental développées.

Une approche expérimentale du vivant peut certes faire émerger des conceptions sur le vivant, mais elle questionne aussi, et elle fait naître la nécessité d'une investigation. Ainsi (textes 18 et 19), des manipulations effectuées par des élèves de Première, inspirées par transposition didactique des expériences historiques de Krebs et consistant à évaluer la consommation d'oxygène de muscles de poulet broyés, ont fait émerger un questionnement diversifié sur le vivant, ou bien encore sur les greffes d'organes. Elles contribuent également au dépassement de certains obstacles. Si la taille des cellules ou de certains micro-organismes limite l'investigation scolaire, sans matériel approprié, le détour par les transformations ou les manifestations chimiques biologiques, telles la respiration ou les fermentations, offre en effet des possibilités de découvrir et de questionner des manifestations du vivant "non visible".

Le matériel biologique ne se prête pas facilement à l'investigation, cependant les difficultés rencontrées et la "*résistance du réel*" peuvent, elles aussi, contribuer à solliciter une réelle interrogation scientifique et transformer les conceptions du vivant (texte 14). Par ailleurs, l'approche expérimentale conduit les élèves à la nécessité de prendre en compte l'importance des facteurs du milieu en biologie, un élément souvent absent dans les conceptions initiales, dans lesquelles l'organisme est conçu de façon isolée, indépendamment de tout lien avec l'extérieur (texte 39).

Construire un rapport expérimental au vivant

Nous avons vu que la construction d'un rapport expérimental au vivant, au niveau scientifique, n'avait pu se faire que progressivement, et dans un *certain contexte culturel et historique*. Se libérer de la subjectivité, considérer le vivant comme un "*objet",* tout en prenant en compte des considérations éthiques et les différences avec un objet technique, a nécessité, en effet, le dépassement de *multiples obstacles*. En outre, si le développement d'un rapport pratique au vivant ou à son propre corps apparaît nécessaire pour entrer dans la constitution d'un référent empirique, il est possible que ce rapport, qui évite parfois les explications analytiques (Canguilhem) ou qui sollicite des explications spontanées à des expériences premières (Bachelard), puisse ensuite constituer un obstacle.

Il est possible de retrouver des obstacles analogues dans la construction d'un rapport expérimental au vivant chez des élèves. Prenons l'exemple des cycles de vie à développement indirect : alors que le vivant se caractérise par une forme qui se maintient, certains animaux présentent, à un moment de leur développement, un changement complet de leur forme et de leur mode de vie, ou métamorphose. Pour construire une conceptualisation scientifique de la métamorphose, il est nécessaire que l'élève ait développé plusieurs comportements et ait dépassé plusieurs obstacles.

- Les plus jeunes ont pu découvrir et se familiariser, lors de sorties ou par des élevages, à la diversité des formes biologiques, et au maintien de celles-ci au cours du temps. Les têtards, observés lors d'une sortie, par exemple, développent un important questionnement des élèves de maternelle (texte 1) : qu'est-ce que c'est ? est-ce que ce sont des poissons ? ont-ils des os ? Observation continue, comparaison, classement et documentation permettent, peu à peu, le dépassement d'une pensée anthropomorphique ou analogique, et contribuent à conceptualiser une transformation du même animal au cours du développement.

- L'élevage des "vers de farine", par sa simplicité de mise en œuvre, reste un "grand classique" de l'école primaire (texte 49). Conceptualiser une relation de développement entre les trois "aspects" du ténébrion : la larve, la nymphe et l'adulte, nécessite cependant le franchissement de la pensée catégorielle. Par ailleurs, pour envisager un contrôle du temps de développement, en plaçant par exemple les élevages dans des conditions de température extérieures différentes, il est nécessaire de pouvoir penser une intervention sur le phénomène biologique, tout en prenant en compte le maintien des conditions de vie.

· Un obstacle technique, en relation sans doute avec des difficultés de dosage hormonal, fait que le contrôle expérimental de la métamorphose, n'est jamais réalisé concrètement lors de la scolarité. C'est par évocation d'expérimentations sur les insectes ou sur les amphibiens, les expériences historiques sur l'Axolotl en représentant un paradigme, que la régulation hormonale de la métamorphose est abordée pour les élèves plus âgés, ou pour les étudiants.

Un rapport expérimental au vivant n'est donc jamais donné, il doit être *construit* et nous envisagerons plus loin des éléments pour penser cette construction dans une perspective curriculaire.

3.2.3. Rapport expérimental au vivant et rapport à l'expérimental

Quelles approches expérimentales du vivant ? (extrait du texte 54)

Les activités expérimentales dans la découverte du vivant à l'école élémentaire sont nettement moins nombreuses que dans la découverte de la matière et des matériaux. L'expérimentation sur le vivant a cependant toute sa place dès les premiers apprentissages : elle oblige les élèves à être imaginatifs et ingénieux pour concevoir et réaliser les dispositifs, elle développe la patience car les résultats sont rarement immédiats.
Ce sont les végétaux qui demeurent les plus accessibles pour cette approche, avec un questionnement relatif à la germination, au développement des végétaux, ou concernant la plante et l'eau. L'une des expérimentations, parmi les plus pratiquées, concerne la recherche des facteurs intervenant dans la germination. Ces facteurs (nommés facteurs abiotiques en écologie) classiquement étudiés, sont l'eau, la température, l'air et, souvent par confusion avec la photosynthèse, la lumière. Ce genre d'expérimentation, qui semble idéal du fait de sa simplicité et qui nécessite des protocoles expérimentaux qui ressemblent à ceux pratiqués en sciences physiques, n'est pourtant pas sans réserver quelques surprises ! Ainsi certaines graines, placées dans le placard pour une recherche d'obscurité, produisent des germes blanchâtres, mais d'une longueur démesurée, d'autres refusent de germer à température ordinaire tandis que des témoins, placés au réfrigérateur, laissent pointer vaillamment leurs germes. En effet, la situation réduite abusivement à une simple recherche de facteurs néglige :

· d'une part, le fait qu'il s'agit de facteurs limitants et non de stricte causalité,

11. d'autre part, un grand nombre de facteurs, dits biotiques, et caractéristiques du vivant (comme, par exemple, l'existence de mécanismes très subtils de régulation, tel la nécessité du froid pour la levée de la dormance des graines de certaines espèces).

Vivant et matière constituent des domaines dont l'investigation nécessite des protocoles et des méthodologies souvent spécifiques. Aussi la construction d'un rapport expérimental au vivant suscite un rapport à l'expérimental complémentaire de celui qui est développé par celui à la matière, développant donc des conceptions épistémiques sur la science et sur la biologie d'une nature différente que celles relatives à la physique ou à la chimie.

Nécessité d'intervention sur le phénomène
En premier lieu, l'approche expérimentale du vivant, comme celle de la matière, se distingue parfois à peine de l'action. Un tâtonnement orienté, par exemple placer des semis à différents endroits, ou proposer différents aliments pour tester le *preferendum* d'un animal, ne modifie pas fondamentalement le phénomène biologique. Cependant, pour des raisons de sécurité ou d'éthique, ou encore pour le coût financier qu'il engendrerait, le tâtonnement par essais et erreurs sur le vivant à l'école restera toujours restreint.

Nécessité d'inventer un dispositif
La séparation de variables impose, le plus souvent, la réalisation d'un montage expérimental. Dans une démarche de résolution de problème, seul un détour par analyse du système, intervention de l'abduction et de la déduction, permet d'imaginer les hypothèses possibles qui seront mises à l'épreuve dans un dispositif construit et contrôlé. Cependant, dans la construction d'un rapport expérimental au vivant, la séparation de facteurs reste souvent difficile, voire impossible, et l'approche analytique d'un système biologique est souvent plus difficile que pour un système technique ou pour un phénomène physique. Dans les situations biologiques, l'élève expérimentateur est confronté à des facteurs biotiques et abiotiques, souvent en interaction, et pour lesquels il doit renoncer à tout maîtriser.

Par ailleurs, la construction d'un rapport expérimental ne passe pas nécessairement par une "*démarche hypothético-déductive*". Il peut s'agir, comme dans l'approche expérimentale des interactions écologiques ou dans celle de l'absorption de l'eau par les végétaux, de rechercher des *covariations*. Il peut s'agir, aussi, *d'appliquer des techniques* : techniques d'analyse chimique dans le cas des constituants de la matière biologique ou bien dans celui de digestion artificielle, techniques de travail en asepsie dans le cas de culture *in vitro*.

Rapport à la causalité

Dépasser le paradigme bernardien (extrait du texte 14)

Pour dépasser le paradigme bernardien 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.

"*La légalité scientifique se distingue de la connaissance naïve par l'application de cadres logico-mathématiques de la pensée ; elle ne résulte pas d'un saut unique, mais d'un cheminement aux aspects multiples et aux paliers successifs, cheminement masqué par la présentation figée des manuels*" (INRP, 1973). Les premières recherches en "éveil scientifique" ont tenté d'analyser la fonction de l'expérimentation suivant le ni-

veau d'élaboration de la pensée scientifique. Elles distinguaient les corrélations empiriques, les lois et la représentation modélisante. "*La causalité présente 2 aspects qui se superposent incomplètement : d'une part, elle répond à la question "comment ?", elle s'exprime par des lois c'est-à-dire des systèmes de relations qui permettent une prévision de plus en plus efficace ; d'autre part, elle répond à la question "pourquoi ?", elle cherche à expliquer à partir de modèles mathématiques ou physiques qui permettent l'application du raisonnement déductif pour l'établissement de conclusions qui doivent être confirmées par une vérification expérimentale*"[45]. Avec une argumentation qui s'appuie sur des exemples provenant de la physique, une distinction entre la loi et la corrélation empirique est avancée, et "*les lois empiriques ne constituent pas une collection de données hétérogènes, mais elles sont progressivement intégrées par la pensée modélisante*".

Mais la théorisation biologique n'est pas que légaliste, et les activités scolaires expérimentales mettent en avant essentiellement un "*paradigme bernardien*" d'expériences comparatives, fondé sur la relation une cause égale un effet, une conception de protocole du type présence ou absence de la cause, et la nécessité de témoin. Ce paradigme ne permet cependant pas d'envisager des causalités pluri-factorielles, pour lesquelles des protocoles de type *covariations, approche statistique et modélisation* sont nécessaires.

Rapport à l'instrumentation

En Physique, les phénomènes ne sont accessibles que par l'intermédiaire d'un appareillage. Il se développe ainsi une phénoménotechnique, avec un écart entre le phénomène construit et l'objet en soi, rendu de plus en plus inaccessible. La phénoménotechnique de la Biologie pourrait apparaître moindre, mais il n'en est rien : non seulement les appareils d'observation et de mesure sont nécessaires, mais les objets biologiques, en particulier les lignées pures de souris blanche de laboratoire, sont eux-mêmes le plus souvent le résultat d'une phénoménotechnique !

Dès les classes du secondaire, ensuite, l'investigation du vivant nécessite l'application de nombreuses techniques. Les explications scientifiques des phénomènes biologiques envisagées dans les programmes de SVT se situent dorénavant dans les mécanismes cellulaires et moléculaires, avec l'étude des transformations physico-chimiques. Le référent empirique de toute conceptualisation biologique est, le plus souvent, imprégné de pratiques chimiques. Mais, constate le rapport *Technologies de l'Information et Apprentisssage de Base* (1986), l'instrumentation nécessaire à cette évolution n'est pas toujours accessible. Les méthodes isotopiques, les matériels de spectrophotométrie, d'électrophorèse, existent certes, et "*sont utilisés de manière croissante dans de nombreux secteurs*", mais "*le transfert dans l'enseignement reste difficile à envisager*"[46].

---

[45] COLLECTIF (1973). *Activités d'éveil scientifique à l'école élémentaire*. INRP Collection Recherches pédagogiques n° 62, p.130.

[46] *Rapport Technologies de l'Information et Apprentisssage de Base* , fascicule *Les concepts scientifiques et technologiques* (1986). OCDE-CERI, Paris. Cité in D. Beaufils & N. Salamé (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ? *Aster* 8 : 55-80.

Comment, dans ces conditions, considérer la constitution du référent empirique nécessaire aux apprentissages ? Comment, en particulier, envisager la "*reconstruction scolaire"* de pratiques ? Il semble que la question de l'instrumentation se présente, en fait, sous de multiples facettes :

- Il peut s'agir de contingences strictement matérielles : disponibilité d'outils et de matériaux, performances des instruments... ;
- Il s'agit également, du côté de l'élève expérimentateur, de mobiliser des performances sensori-motrices, de maîtriser des gestes indispensables, de constituer et de mettre en œuvre les schèmes d'utilisation des instruments (Rabardel, 1988) et de solliciter un référent empirique (Martinand, 1986).

Ces aspects s'observent, par exemple, lors de l'investigation relative au métabolisme des chlorelles (algues vertes) par les élèves (textes 14, 39). L'utilisation d'une sonde oxymétrique, qui est reliée à un dispositif d'expérimentation assistée 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...). D'autres problèmes, relatifs à l'instrumentation et à la mesure, sont apparus : pratique d'étalonnage de la sonde, choix dans le logiciel, choix des échelles de mesure.

Une volonté de politique éducative a soutenu l'implantation et le développement de l'ordinateur dans les laboratoires de classe de SVT, en France. En particulier, *l'Expérimentation Assistée par Ordinateur* a été rendue possible, dans les années 1980, par l'adoption, dans le cadre scolaire, d'interfaces de communication et d'instruments adaptés (oxymètres, photomètres, thermomètres, hygromètres). Dans leur étude, Daniel Beaufils et Naoum Salamé (1989) [47] font une analyse critique des trois modalités fréquentes de l'utilisation des ordinateurs, en contexte d'expérimentation scolaire :

- la saisie de données,
- le traitement de données,
- la simulation de phénomènes.

Ils considèrent l'ordinateur comme un nouvel élément, à intégrer dans les contenus enseignés. L'ordinateur permet, certes, le renouvellement de certains domaines d'expérimentation biologique : il facilite, en particulier, la détection et la mesure de certains phénomènes biologiques. Mais des analyses didactiques précises seraient encore nécessaires pour mieux comprendre ses intérêts et ses limites en SVT. Par exemple, dans une investigation du vivant, ce sont le plus souvent des variations, et des mesures relatives plutôt que des mesures absolues, qui sont recherchées. Remarquons, donc, qu'il apparaît parfois superflu, lors de certains TP d'ExAO, de passer beaucoup

[47] BEAUFILS, D., SALAMÉ, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ? *Aster* 8 : 55-80.

de temps à réaliser l'étalonnage strict d'un appareil, par exemple une sonde oxymétrique.

Rapport à l'expérimental et matrice cognitive

Dans les études effectuées en option sciences expérimentales de classe de Première (textes 14, 39), les élèves font spontanément part de difficultés, quand les observations ou les mesures envisagées sont relatives à des phénomènes biologiques difficiles à analyser, tels les comportements animaux. Mais nous avons analysé, aussi, que d'autres difficultés, dont les élèves ne s'apercevaient pas, pouvaient compromettre la validation de leur démarche.

Un être vivant, en effet, n'est pas un objet inerte, et il réagit éventuellement à l'expérimentation. 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.

Ensuite, 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. Ces exigences sont, parfois, prises en compte dans la conception et la mise en œuvre des protocoles mais, le plus souvent, les élèves envisagent des comparaisons directes, et sans précaution, entre différents modèles d'étude animaux. En outre, ils ne pensent jamais à un échantillonnage *a priori*. 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).

Par ailleurs, les comptes rendus des élèves mettent 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, dans les situations biologiques, l'expérimentateur est le plus souvent confronté à des causalités plurifactorielles 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 objet (variabilité de la mesure).

On a pu relever en outre, 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.

Toutes ces observations rendent compte de l'importance de la sollicitation de la *"matrice cognitive"* (Martinand, 1996) dans un processus d'expérimentation. Le terme de "*matrice"* fait certes penser à "*format*" et "*formes*" de la rationalité et de l'objectivité, mais comment envisager les relations entre "*formatage*" et "*formaté*" ? Entre les actions et les pratiques expérimentales qui, par retour, modifieront peut-être les ressources épistémiques de l'élève ? Le schéma de la modélisation propose plusieurs flèches :

- une flèche double, entre modèle et matrice cognitive,
- une flèche ascendante entre phénoménologie et matrice cognitive,
- une flèche descendante entre matrice cognitive et phénoménographie et phénoménotechnique.

Mais toutes ces flèches ne représentent-elles pas, en fait, tout un ensemble de "petites boucles", qui schématiseraient les modifications nécessaires et les ajustements successifs ?

3.2.4. Rapport à l'écrit dans les expériences

Une médiation essentielle entre l'action matérielle et sa représentation symbolique (extrait du texte 20)

Au collège, de nombreuses disciplines scolaires ont pour objet d'apprentissage un texte déjà "décroché du réel" qui est, sans qu'on le perçoive toujours, le résultat d'une première abstraction où l'on plonge d'emblée les élèves. Ce qui leur manque, et que proposent *a contrario* les activités scientifiques et techniques, c'est la référence à un réel qui soit manipulable et qui, éventuellement, puisse résister... Ce n'est pas tant, comme on le dit souvent, que les sciences et les techniques soient plus "concrètes", elles font plutôt éclater l'opposition factice entre le concret et l'abstrait, en proposant des voies de passage vers l'abstraction. Les sciences et les techniques fournissent des occasions de représentation et d'écriture, à partir des données empiriques qu'elles ont construites. La "*raison graphique*" (Goody, 1979) transforme justement les contraintes de la production en ressources pour penser.

Plusieurs études pointent les nombreuses interactions entre le rapport à l'écrit et le rapport au savoir (Charlot et *al.*, 1992 ; Charlot, 1997). La production d'écrits joue, en effet, un rôle déterminant d'outil pour l'élaboration des savoirs. Comment peuvent s'établir les relations entre écrits et expériences d'une part, entre documentation et expériences d'autre part ?

Importance des inscriptions

Nous avons vu l'importance, au niveau scientifique, des "*inscriptions"* (Latour et Woolgar, 1988). De nombreux TP de lycée visent à ce que les élèves obtiennent de tels documents, lisibles et manipulables, et provenant de la technique. Une autre raison du succès de l'ExAO pourrait, d'ailleurs, provenir de la facilité de visualisation, de la représentation graphique immédiate d'un phénomène, et de la possibilité d'obtenir sur le champ une inscription par une sortie imprimante. En recherche scientifique, ces inscriptions servent essentiellement à la négociation et au débat, mais dans les activités

scolaires, ils restent souvent restreints à un rôle d'illustration. Ils peuvent aussi représenter, comme l'a montré I. Lika (1999) [48] dans les entretiens menés auprès d'enseignants, une "sécurité" face à la résistance du vivant à l'investigation, et à un recueil de données qui apparaît difficile ou aléatoire.

Les écrits réalisés par les élèves

L'opération *Main à la pâte* des écoles primaires valorise la place et le rôle du cahier d'expériences dans les activités scientifiques. Écrire, rendre compte, représenter, formuler des résultats ou schématiser, restent cependant des opérations ni faciles, ni arbitraires. Plusieurs recherches, destinées à analyser les fonctions de l'écrit dans les activités expérimentales ont déjà été réalisées, en particulier par des équipes INRP[49]. Toutes ces études montrent l'importance des écrits, sous ses formes multiples, à la fois pour soi et pour les autres, et témoignent de la nécessité d'organiser ses observations et de schématiser, tout au long de la démarche scientifique. Les pratiques d'investigation favorisent le développement d'une raison que l'on pourrait qualifier de "*expérimento-graphique*". Les écrits sont importants dans la construction d'un rapport expérimental, mais ils ne doivent pas apparaître comme imposés ou comme frein à l'action. Une vigilance s'impose sans doute, dans la formation des enseignants du primaire, pour éviter que les activités scientifiques ne deviennent que prétextes à l'apprentissage de la lecture ou de l'écriture.

Bien que pouvant fortement influencer les rapports à l'écrit, les rapports à la science et les rapports à l'expérimental, les représentations des élèves relatives à l'écriture dans les expériences ne sont pas encore bien connues, ce qui mériterait des analyses didactiques approfondies. L'analyse de comptes rendus d'expérience de lycéens (textes 14 et 55), par exemple, montre que de nombreux jeunes semblent avoir assimilé que des comptes rendus ne présentent qu'une forme reconstruite de la démarche[50], mais on constate aussi que les discussions ou les incertitudes dans ce qui est présenté restent rares, tandis que les généralisations abusives apparaissent fréquentes[51]. Il semble que la représentation du compte rendu d'expérience, ou sa modélisation scolaire, pourrait interférer avec une représentation de la science, conçue plus comme un discours argumentatif et démonstratif, que comme une méthode.

---

[48] LIKA, I. (1999). *La place des activités pratiques dans l'enseignement de la biologie au lycée*. Mémoire inédit de Cachan.

[49] ASTOLFI , J.-P., PETERFALVI, B., VÉRIN, A. (coord) (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
VÉRIN, A. (1992). Raisonnement et écriture à propos d'activités expérimentales au collège. *Aster* 14 : 103-126.

[50] 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". La démarche scientifique reconstruite est généralement 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).

[51] Ainsi, dans les classes qui ont expérimenté sur les chlorelles, alors que les élèves travaillent sur un matériel biologique précis, certains n'hésitent pas à étendre leurs résultats à l'ensemble des végétaux chlorophylliens, ou à proposer une interprétation au niveau moléculaire.

Vincent Fontaine (1997)[52], reprenant les idéaltypes d'élèves par rapport au savoir, décrits par Charlot, Bautier et Rochex (1992)[53], a tenté de préciser ces représentations de l'écriture. En menant des entretiens avec des élèves de l'école primaire, inférés avec des analyses de productions, il a proposé un premier outil d'analyse de "*profils d'élèves*", *élèves actifs-chercheurs* et *élèves passifs-récepteurs*, par rapport à l'écriture et la construction de l'idée d'expériences. Dans cet outil, il propose de regrouper différents indicateurs selon les références que ces jeunes accordent à l'activité scientifique, à la construction d'idée d'expérience et aux fonctions des écrits dans celle-ci.

Perspective empirique méthodique et perspective expérimentale

Il apparaît nécessaire que la recherche élargisse son questionnement relatif aux écrits dans les activités expérimentales, en interrogeant, en particulier le rapport à l'écrit comme moment dans la relation expérimentale, ce qui conduit à reconsidérer les visées et les contraintes didactiques des "*cahiers d'expérience*" ou des "*cahiers de laboratoire*" d'une part, des "*communications à autrui pour convaincre*" et des "*comptes rendus*" d'autre part. À l'école, perspective empirique méthodique et perspective expérimentale correspondent à des épisodes différents, qui s'articulent dans une éducation scientifique. Le tableau comparatif de ces deux perspectives, que je propose dans la partie 2, différencie plusieurs indicateurs. Distinguant, en particulier les recueils de données *a priori* et a *posteriori*, et les différents écrits selon les perspectives, il contribue à éclairer des questions didactiques.

Le rapport à la documentation

Les acquis empiriques ne peuvent s'organiser spontanément : activités expérimentales et travail sur documents apparaissent donc complémentaires. Il semble, cependant, qu'il y ait un manque de clarté totale, concernant les relations entre documentation et expérimentation, tant pour l'enseignant que pour les élèves : comment est-elle située ? Est-ce dans un exercice artificiel ? Ou est-ce que les élèves ont accès à la bibliographie, soit pour contribuer à poser un problème, soit pour aider à concevoir et mettre en œuvre des protocoles, soit pour interpréter des résultats ?

Des équipes INRP, étudiant la place et le rôle des pratiques documentaires dans les activités scientifiques, ont analysé les intérêts mais aussi les dérives possibles, des documents ou de leurs utilisations (Ginsburger-Vogel & Astolfi,1987 ; Ginsburger-Vogel, 1987)[54]. Les analyses de manuels scolaires effectuées, par exemple, pointent des faiblesses de leur conception, dans leur structure ou dans leur lisibilité. Elles pointent également que l'approche scientifique prévaut toujours sur les observations de la vie courante : au lieu que les pratiques observées avec un jardinier ou un horticulteur puissent servir à découvrir et à s'interroger sur une propriété biologique,

[52] FONTAINE, V. (1997). *L'écriture dans l'enseignement des sciences*. Mémoire inédit de DEA, GDSTC-LIREST, ENS Cachan.

[53] CHARLOT, B., BAUTIER, E., ROCHEX, J.-Y. (1992). *École et savoirs dans les banlieues... et ailleurs*. Paris : Armand Colin.

[54] GINSBURGER-VOGEL, Y. & ASTOLFI, J.-P. (1987). Sur la lecture des manuels de biologie. *Aster* 4 : 33-64. Et GINSBURGER-VOGEL, Y. (1987). *Apprentissages scientifiques au collège et pratiques documentaires.* INRP.

multiplication végétative ou bouturage ne sont présentés que pour illustrer cette propriété biologique.

La présentation des expériences historiques dans les manuels reste, par ailleurs, souvent contestable (textes 7 et 45). S. Kassou (1993)[55] l'a particulièrement étudié pour l'enseignement de la photosynthèse. Les expériences de Priestley (1770-1780) sur les modifications de la qualité de l'air en rapport avec la respiration sont présentées dans certains manuels scolaires pour illustrer l'origine du carbone de la matière organique élaborée par la plante. Cette expérience, établie dans le cadre de la théorie du phlogistique, ne permet certainement pas de mettre en évidence l'absorption du dioxyde de carbone, et encore moins son utilisation par la plante. Si le manuel explique que l'expérience doit s'interpréter à la lumière des connaissances actuelles, on peut critiquer la présentation, avec des citations historiques dignes de figurer dans une partie documentaire mais interprétées sans aucune relation avec leur contexte.

D. Galiana (1999)[56], de son côté, a montré que les autres expériences relatives à la photosynthèse apparaissent le plus souvent prototypiques. Elles sont mises en scène pour "*mettre en évidence*" et pour illustrer un contenu biologique. En France, il n'y a pas de tradition de "*guide de travaux pratiques"* pour les élèves[57], et les expériences présentées dans les manuels scolaires ne favorisent guère l'investigation et se cantonnent plus à un registre d'illustration.

Un déficit de ressources bibliographiques adaptées

Des manuels scolaires qui facilitent un "dialogue avec le réel" (extrait du texte 21)

Pour contribuer à cet apprentissage de l'abstraction, nous avons prévu des activités qui mettent réellement l'élève en situation de réaliser des observations, des manipulations, des expérimentations, des mesures. Sans ce contact avec le monde réel, on ne peut espérer donner un sens aux savoirs qui sont en jeu dans l'enseignement des sciences.
(…) Prenons l'exemple des manuels du cycle 3 : chaque chapitre présente deux parties, chacune ayant une fonction spécifique. La première partie comprend des documents iconographiques de deux types :

- des documents "déclencheurs" qui ont pour but de faire émerger les conceptions des enfants et de conduire les élèves à s'interroger,
- des documents à analyser et à comprendre.

[55] KASSOU, S. (1993). *Élèments pour l'analyse didactique du statut de l'expérience dans l'enseignement de la biologie : le cas de la photosynthèse*. Thèse de Doctorat Université Paris 7.
[56] GALIANA, D. (1999). *Problèmes didactiques posés par l'enseignement expérimental de la biologie dans les classes scientifiques des lycées. Cas de la photosynthèse*. Thèse de Doctorat Université Paris-Sud.
[57] Les guides de travaux pratiques édités sont, en effet, le plus souvent destinés aux professeurs. Quelques rares livrets sont destinés aux élèves. Ils se présentent comme un "complément" au manuel scolaire, avec quelques informations méthodologiques, des documents déclencheurs, des documents à analyser ou à comparer avec ses propres résultats (par exemple, les livrets accompagnant l'option sciences expérimentales de première S, édités chez Nathan).

Une deuxième partie "*encyclopédique"* apporte des informations répondant aux questions posées dans la première partie et fournit des éléments qui serviront à construire les savoirs scientifiques (phase de réflexion). Elle contient également des fiches techniques qui ont pour but l'appropriation de savoir-faire scientifiques et techniques

Des activités d'investigation empirique, prenant appui sur des pratiques sociales de référence partagées, et d'un grand intérêt éducatif, ne peuvent se développer à l'école, faute de ressources bibliographiques adaptées. Prenons, par exemple, le problème pratique de la conservation des fleurs : "*on a des fleurs coupées, on veut trouver un moyen de les faire durer plus longtemps*". On inventorie ensemble des procédés qui sont proposés, extrêmement nombreux, et on les met à l'épreuve : mettre de l'aspirine, mettre les plantes au frigo, mettre un peu d'eau de Javel, mettre une substance comme le *Pokon*, etc... Cette investigation reproduit des "*essais en champs"*. Sans connaître les résultats à l'avance, on va trouver quelque chose : il y a des procédés favorables et d'autres défavorables... Le problème est dans l'analyse et dans l'interprétation des résultats : pour des raisons économiques et de concurrence, la composition chimique des produits ne peut être connue, et rien, dans la littérature, ne permet d'accéder à une explication scientifique.

Les enseignants (texte 17) considèrent que de nombreuses ressources bibliographiques, présentes dans les Centres de Documentation et d'Information, ne sont pas adaptées à l'investigation, et certains proposent à leurs élèves des dossiers *ad hoc.* Par ailleurs, les manuels scolaires, dans leur mode de conception habituelle, ne sont pas des outils bien appropriés pour rester en prise avec la réalité empirique : les documents utilisés servent le plus souvent de prétextes à l'introduction de savoirs élaborés. C'est la raison pour laquelle, pour la rédaction de l'ensemble pédagogique *Gulliver* (texte 49), nous avons pris le parti de concevoir le manuel comme un ouvrage documentaire destiné à l'élève, et de séparer les documents à analyser et les informations brutes, que nous avons regroupés dans une "*partie encyclopédique*". Des informations portant sur les activités, et en particulier pour la phase d'investigation et d'expérimentation, sont présentées dans le guide du maître. C'est donc à l'élève qu'il revient de faire le lien entre le monde des observables et l'abstrait des concepts que l'on essaie de leur faire construire.

Les Techniques de l'Information et de la Communication Éducatives, de leurs côtés, laissent envisager un renouvellement complet des pratiques documentaires et de communication en relation avec l'expérimentation, à moyen terme, mais l'impact didactique qui pourrait en résulter reste encore, essentiellement, dans un registre d'innovation ou de prospection. L'introduction et le développement de l'informatique a, par contre, d'ores et déjà profondément modifié les formes scolaires et non scolaires du rapport expérimental au vivant. Ces formes, qui répondent à différentes fonctions qu'il convient d'expliciter, peuvent apparaître extrêmement diverses.

3.3. Fonctions, formes scolaires et non scolaires du rapport expérimental au vivant

Finalités de l'enseignement scientifique (extrait du texte 28)

Il est difficile, en fait, de parler de didactique sans situer celle-ci dans une perspective axiologique, de finalités de l'enseignement scientifique. Une finalité de type utilitaire se donne des priorités et peut ne s'intéresser qu'à la dimension d'utilité sociale des savoirs scientifiques, par exemple l'apprentissage de règles d'hygiène. Mais une autre finalité de l'enseignement scientifique, fondamentale dans une démocratie, relie culture scientifique et citoyenneté. Elle se trouve dans la construction attentive d'une rationalité, dans l'exercice d'une liberté intellectuelle critique, pour permettre l'apprentissage d'un choix librement raisonné. Il s'agit de *former l'esprit à agir selon la raison* nous enseigne Bachelard.

3.3.1. Quel sens de l'expérimental scolaire ?

Expliciter les fonctions des activités expérimentales : une nécessité

Dans les discours des enseignants et dans les textes administratifs et institutionnels, les pratiques expérimentales sont valorisées, avec des justifications qui mêlent visées de scientificité, finalités éducatives et pédagogiques. Loin de faire apparaître une tension et une articulation, les arguments développent plutôt une vision, éloignée de toute dialectique, de continuité entre empirie et raison : il suffirait de "*faire pour comprendre*". En outre, alors que les finalités éducatives d'un rapport expérimental au vivant dépendent des conceptions sur l'éducation (texte 16), celles-ci, bien que pouvant être divergentes, ne sont pas toujours explicitées.

Mais les élèves peuvent aller dans une salle équipée en travaux pratiques, pour de multiples tâches : soit pour exécuter des consignes, soit pour faire des recherches. Les T.P. ont des fonctions très différentes : ils sont nécessaires pour les apprentissages de techniques, ils permettent l'investigation ou l'illustration, mais ils sont avant tout importants pour permettre de pratiquer une véritable résolution de problème, et ne pas la faire uniquement en simulation "papier-crayon". Chaque niveau d'enseignement a ses formes de pratiques. Ainsi au niveau des lycéens, on peut parfois simuler une activité expérimentale, pour les plus jeunes, on essaye de la pratiquer.

Évolution de ces fonctions et évolution du curriculum en Grande-Bretagne

Dans l'enquête réalisée en Grande-Bretagne, Nott (1996)[58] estime que les activités en laboratoire scolaire ont 2 fonctions principales : la création et la re-création de savoir scientifique et de méthodes scientifiques. Ces différentes fonctions de TP ont créé des tensions dans la communauté des enseignants scientifiques : débat pour ou contre l'heuristique, pour ou contre les manuels, pour ou contre les examens...

[58] NOTT M. (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.* 18, n°7 : 807-818.

Nott, proposant une évolution historique de ces fonctions, argumente que les vues actuelles des professeurs sur la nature des sciences et des TP est le résultat d'une longue histoire. Ainsi, dans l'enquête effectuée par Kerr en 1963, il était demandé à 700 enseignants de ranger les 10 visées possibles des TP scientifiques. Mais, constate Nott, aucune des 10 propositions n'utilisait les mots "*découverte*" ou "*investigation*". Elle n'incluait pas non plus l'idée de faire des "*sciences réelles*" ou de "*devenir un scientifique de l'époque*", idée qui semble émerger plus tard dans la décennie. Le travail de Kerr a été suivi par le projet Nuffield (1960-1970), qui aida à établir l'inductivisme dans les sciences scolaires. Plus tard, dans les années 70 et une grande partie de 80, constate encore Nott, le balancement vers "*des sciences en cours"* prit place, et mina la position d'observation de faits scientifiques et d'illustration de lois et de théories. La borne finale arriva avec l'arrivée du Curriculum National, en Angleterre et en Pays de Galles, en 1989. Comme je l'ai présenté par ailleurs, l'introduction de ce module scientifique *Scientific Investigation,* spécialement dédié à l'investigation et avec une procédure stricte de validation, a été fortement discutée (Duggan et Gott, 1995 ; Jenkins, 1995a, 1995b)[59]. Le cadre promu dans ce module est celui d'un modèle d'activité scientifique inductiviste de contrôle de variables, et il recouvre les 3 plages de :

- prévision et émission des hypothèses,
- observation, mesures et manipulation de variables,
- interprétation et évaluation de la preuve scientifique.

Ce cadre est dommageable, commente Nott, car il exclut de larges aires de sciences validées qui ne contrôlent pas des variables comme l'écologie, l'astronomie, et la géologie. Depuis 1994, le curriculum scientifique utilise le nouvel intitulé d'*Exploration of Science*, il remplace "*variables*" par "*facteurs*", et il envisage une structure moins rigide d'évaluation. Par ailleurs, l'introduction de ce module peut tendre à évacuer tout l'expérimental des champs disciplinaires et ne le réserver que pour le domaine SCI.

Quelle signification ? Quelle référence ? Quelle manifestation ?

Nous pouvons, en empruntant à M. Fabre (1999)[60] les trois dimensions d'analyse de l'activité scolaire, relative à la signification, à la référence et à la manifestation, interroger les pratiques expérimentales.

- Du point de vue de la *signification*, le recours scolaire à l'expérimental est-il épistémologiquement fondé ? Loin d'une conception uniquement empiriste, une

[59] 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.
JENKINS, E. (1995a). Central policy and teacher response ? Scientific investigation in the national curriculum of England and Wales. *I.J.S.E.*, 17, n°4 : 471-480.
JENKINS, E. (1995b). When is a policy not a policy ? School-based assessment of practical science at 16 +. *I.J.S.E.*, 17, n°5 : 555-563.
SCI a été introduit en 1989, avec l'arrivée d'un curriculum national pour la science en Angleterre et en Pays de Galles. Dans ce curriculum national, l'évaluation finale des élèves, à seize ans, a quatre composantes de même importance : chimie, physique, biologie et investigation pratique. En 1994, le curriculum a été révisé. Le nouvel intitulé du cadre d'investigation ouvert est *Exploration of Science.*

[60] FABRE, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF. p. 73.

visée du recours à l'expérimental se trouve dans la constitution d'un référent empirique (Martinand, 1986) pour la construction de concepts ou de modèles.

· Du point de vue de la *référence* : quel rapport les activités expérimentales entretiennent-elles avec le monde hors de l'école ? Les pratiques expérimentales en sciences de la vie sont souvent présentées, dans la littérature didactique et pédagogique, comme une reconstruction des pratiques scientifiques de biologistes. Par contre, lorsque des pratiques sociales industrieuses ou familiales sont sollicitées, elles apparaissent, le plus souvent, comme simple illustration que comme base d'investigation. On constate ainsi une polarisation sur des pratiques scientifiques idéalisées dans les références.

· Du point de vue de la *manifestation* : ces activités sont-elles susceptibles d'avoir une action formatrice sur l'élève ? Les pratiques expérimentales sont souvent présentées, avec une argumentation psychologique et pédagogique, comme une réponse à la nécessité d'activités de l'élève pour les apprentissages. Elles apparaissent ainsi comme un recours possible, pour favoriser le développement de pédagogie ne se voulant pas "*transmissive*" ou "*frontale*" (Giordan, 1999)[61]. Mais, ces pratiques sont également valorisées pour les compétences méthodologiques et techniques dont elles sont supposées être le support de formation. Supposition, car les évaluations et les validations ne prennent que très rarement, voire nullement, en compte ces dimensions d'apprentissage.

Fabre argumente de la nécessité, pour assurer une cohérence de la formation et des activités scolaires, d'exercer une solide vigilance, afin d'éviter de perdre l'une de ces trois dimensions. Remarquons que ces trois dimensions, proposées pour l'analyse, pourraient être confrontées aux trois axes avancés par J. Lebeaume (1999), dans une perspective non d'analyse mais de construction d'activités scolaires cohérentes avec le curriculum : la *tâche,* la *visée,* et la *référence*. Dimensions d'analyse et axes de proposition pour l'intervention seront tous deux utiles pour penser le développement et le renouvellement de curriculum, comme nous le reprendrons plus loin.

Finalement quelles fonctions assigner aux pratiques expérimentales ? Quelles formes peuvent prendre ces activités ? Il convient de :

· préciser les visées dans les apprentissages scientifiques, les finalités éducatives à moyen terme et les missions de telles pratiques au niveau d'un curriculum, d'une part ;
· d'interroger les formes scolaires et non scolaires d'un rapport expérimental au vivant, d'autre part.

[61] GIORDAN, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Belin.

3.3.2. Fonctions d'un rapport expérimental

Contribuer à la scientificité, constituer une référence, répondre aux besoins d'activités (extrait du texte 27)

Une des fonctions essentielles de l'expérimental dans la classe est de contribuer à la scientificité des savoirs scolaires, et de constituer une référence. Cependant, certains savoirs sont enseignés sans qu'aucun référent empirique ne soit évoqué (par exemple, le cycle de Krebs). Par ailleurs, en SVT dans le secondaire, la constitution du référent s'appuie essentiellement sur la physique-chimie du vivant. Enfin, le réel proposé à l'investigation est le plus souvent très aménagé, pour éviter de douter du modèle enseigné. Comment, dans ces conditions, aider les élèves à construire des savoirs biologiques ancrés dans la variabilité et la complexité du vivant ? Comment contribuer à développer des démarches de construction de savoirs scientifiques (problématisation, élaboration de modèles explicatifs, et tests de validation) ?
Une autre fonction, sur laquelle se rabat de nombreux enseignants, se situe dans la réponse aux besoins d'activités des élèves. Dans les formes scolaires, on peut distinguer les activités expérimentales proprement dites (avec la nécessité du sens que les élèves doivent leur attribuer) et les activités expériencielles. Ces dernières permettent une familiarisation pratique à des phénomènes et des objets scientifiques et techniques, et l'entrée dans un référent empirique.

Fonctions de scientificité et d'authenticité

Scientificité

Dans de nombreux documents pédagogiques ou administratifs, les activités expérimentales sont encore présentées comme nécessaires à la *"mise en évidence de faits*". Cette culture des "*faits donnés*", au détriment des "*faits à construire*" reste souvent d'inspiration empirico-inductiviste. "*Du fait à l'idée, le circuit est trop court*"[62], commentait pourtant Bachelard(1938), et, citant Louis Castel (1740), il critiquait rudement cette méthode : "*Le Père Louis Castel disait fort bien : "La méthode des faits, pleine d'autorité et d'empire, s'arroge un air de divinité qui terrorise notre créance, et impose à notre raison. Un homme qui raisonne, qui démontre même, me prend pour un homme : je raisonne avec lui ; il me laisse la liberté de jugement et ne force que par ma propre raison. Celui qui crie : voilà un fait, me prend pour un esclave*"[63].

Dans une conception constructiviste des savoirs scientifiques, les activités expérimentales sont plutôt pensées comme contribuant à la constitution du référent empirique. Le *référent empirique* pour la construction conceptuelle des concepts et des modèles constitue une référence au réel. Il permet le positionnement des problèmes scientifiques et l'exploration du champ d'application des connaissances, avec les limites de validité (Martinand 1986). Or, les activités didactiques dans le secondaire ne donnent pas souvent l'occasion de susciter le questionnement ou de constituer un référent empirique. En France, l'enseignement de la biologie se présente, dans les Instructions Officielles, comme un enseignement par résolution de problèmes scientifiques. Les

[62] BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, p.44 (rééd. 1983).
[63] *Op cit.* p.41.

problèmes proposés dans ce cadre restent, cependant, le plus souvent artificiels et extérieurs au questionnement de la classe (Orange, 1997, Brunet, 1998). En outre, un déficit de référent empirique constitue un obstacle didactique à leur construction (Orange 1998, texte 39). Aussi apparaît-il important que les situations expérimentales puissent donner l'occasion de construire des questions plutôt que de ne proposer que des réponses.

Pour favoriser le questionnement des élèves, nous avons proposé, à titre innovateur, des dispositifs pour établir un référent empirique concernant la chimie biologique et l'enseignement du cycle de Krebs au lycée (textes 18, 19). Sans doute conviendrait-il, aussi, de favoriser des dispositifs pédagogiques de dévolution du problème et les entrées pédagogiques qui cherchent à favoriser le pilotage effectif de la tâche par la classe.

Authenticité

Le recours à l'expérimentation représente une méthode, parmi d'autres, de l'investigation biologique. La science se caractérisant par les méthodes qu'elle développe, les pratiques scientifiques expérimentales peuvent représenter une référence dans le cadre d'une expérimentation scolaire du vivant. Ces activités pourraient contribuer, par leur authenticité, à modifier l'image du scientifique couramment répandue dans les représentations, d'"*un homme qui travaille seul avec des objets en verre*"[64], avec un aspect de manipulation toujours prépondérant.

Cependant, cette visée d'authenticité ne semble pas toujours effective dans la mise en œuvre des activités. Ainsi, dans une enquête, relative au module *Science Curriculum Investigation* en Angleterre, J. Solomon (1994)[65] relève que seul 7 % des élèves étaient capables de décrire spontanément une expérience de biologie (le plus généralement une expérience relative à la photosynthèse), alors que, pour la physique et la chimie, les taux atteignaient respectivement 22% et 20%. Elle développe, dans son analyse, deux points essentiels pour expliquer cette différence.

Premièrement, et en reprenant les arguments de Zohar et Tamir (1991) concernant les difficultés des élèves à comprendre les relations causales en biologie, Solomon constate que la majorité de ceux-ci réduisent l'explication d'un phénomène à sa simple description. Sans doute, les élèves éprouvent-ils des difficultés à distinguer la description d'un phénomène et son explication et, dans nos propres analyses (texte 14), nous constatons que de nombreux élèves n'hésitent pas, dans leurs comptes rendus de TP, à extrapoler des interprétations très générales et de niveau moléculaire, à partir de phénomènes particuliers et au niveau de l'organisme. Mais ces difficultés sont-elles

[64] Enquête de L. de MEIS, biochimiste à l'université de Rio de Janeiro, menée auprès de 2500 élèves de 10 à 17 ans dans plusieurs pays. *Sciences et Avenir*, octobre 1997, p. 34.
Constatons aussi que les studios Disney conçoivent et représentent le laboratoire d'un éthologiste comme rempli de verrerie (dessin animé, *Le Livre de la Jungle*, 1999).

[65] SOLOMON, J., DUVEEN, J., HALL, S., (1994). What's happened to biology investigations ?. *Journal of Biological Education*, 28 : 261-268.

inhérentes aux raisonnements des élèves, ou bien sont-elles conséquentes d'un enseignement qui amalgame phénoménographie et phénoménologie ?

Deuxièmement, Solomon analyse que la démarche de séparation de variables contrôlées, développée dans les modules SCI, non seulement ne convient pas aux investigations de biologie, mais développe, chez les élèves, une image de méthodologie scientifique stéréotypée. En conséquence, ils seraient incapables, par la suite, de reconnaître ce qui, dans ce module, pourrait relever du domaine de l'investigation du vivant. En effet, toutes les investigations du vivant ne sont pas analytiques, et les approches systémiques, avec recueil et traitement de données, associées à des démarches de modélisation sont fréquentes (par exemple lors du recours à la modélisation en compartiments, en écologie ou en biologie cellulaire, Orange 1997). De plus, nous avons illustré (texte 51) que, dans les situations biologiques, l'expérimentateur est le plus souvent confronté à des causalités pluri-factorielles ou à des facteurs en interaction, et pour lesquels il doit renoncer à tout maîtriser. Solomon constate, en outre, qu'une étude, très classique, comme celle des facteurs influençant l'activité de l'amylase salivaire est considérée, par la majorité des élèves, comme relevant de la chimie. Pour l'auteur, cette observation témoigne de la confusion des domaines par élèves, mais notre analyse diverge sur ce point. Ce n'est peut-être pas une confusion de domaine disciplinaire qui est pointée là, mais au contraire, comme nous l'analysons à propos de la biochimie (texte 18), la reconnaissance d'une spécificité biologique dans la problématisation. Se pose ici la question du sens donné à l'étude par les élèves, et de la problématique développée (s'il y en avait une). Est-ce un questionnement biologique, par exemple quels sont les conditions et les lieux d'action de la salive dans l'organisme humain ? Est-ce plutôt une interrogation uniquement chimique, relative à la cinétique d'une réaction enzymatique ?

Par ailleurs, les activités scolaires ne prennent que rarement en compte les difficultés et les spécificités des pratiques expérimentales sur le vivant. C'est essentiellement le paradigme bernardien de "*démarche expérimentale*" qui est pris comme modèle. Pour permettre de développer une image de la discipline plus en adéquation avec les pratiques scientifiques, il serait utile d'étudier la possibilité de transposition didactique de méthodes de recherche plus complexes, nécessitant par exemple des plans expérimentaux ou bien un recueil systématique de données par application de techniques, le recours au classement, à la statistique et à la modélisation.

Enfin, ce n'est, le plus souvent, qu'avec une perspective d'illustration. que les pratiques scolaires du secondaire sollicitent les pratiques sociales familiales ou industrieuses ayant rapport au vivant Les pratiques biotechnologiques industrielles ou artisanales, l'horticulture, l'agriculture ou l'élevage pourraient permettre, cependant, de véritable interrogation et investigation scientifique. Les activités d'investigation qu'ont menées

des élèves de Première à la suite de la visite d'un chai, et étudiées par l'équipe de Bordeaux (Schneeberger et Rodriguez, 1999)[66] , en constituent un exemple.

Fonctions éducatives

"Discipliner l'esprit"

Dans les finalités éducatives relatives à l'expérimental dans les sciences de la vie à l'école est souvent mise en avant, la présentation d'une démarche[67], ayant pour objectif de développer la logique formelle, ce qui contribue à "*discipliner l'esprit*". Mais les finalités ne peuvent se réduire à celle-là. C'est, en effet, toute une possibilité d'analyser et d'"*abstraire*" à partir d'une situation concrète, élément essentiel pour le décollage de la pensée scientifique, qui est impulsée par la construction d'un rapport expérimental au vivant. En permettant une articulation entre un phénomène concret et sa représentation abstraite, les activités expérimentales concourent au développement de l'abstraction. La nécessité d'organiser le recueil des données empiriques, celle d'extraire un possible parmi tout un ensemble, sollicitent la pensée expérimentographique, comme nous l'avons dénommée auparavant. C'est dans ce sens, que le Conseil National des Programmes (1991)[68], en conclusion de son rapport de recommandations, insistait en ces termes sur les idées fortes de sa réflexion : "*Au bout du compte, il s'agit de faire des sciences expérimentales un enseignement de formation et non de sélection. Elles doivent valoriser une forme d'esprit différente et permettre l'épanouissement de certains jeunes mal à l'aise dans l'abstraction*". Ces activités permettent, en outre, d'envisager une formation technique, méthodologique et comportementale.

Contribuer au développement personnel

Quelles sont les compétences, quelles sont les opérations intellectuelles que les activités expérimentales peuvent permettre particulièrement de mettre en évidence ? Chaque discipline d'enseignement, en effet, n'a pas d'abord sa vertu pour elle-même, en fonction de son contenu d'enseignement propre, mais elle vise des objectifs éducatifs généraux. A. Giordan (1999)[69] présente, par exemple, un tableau des comportements, des savoir-faire et des démarches, qui ont une valeur de formation générale, et auxquels les activités expérimentales se prêtent particulièrement. Les recherches INRP, de leur côté, avaient montré que l'une des caractéristiques de l'esprit scientifique sollicitée dans les activités expérimentales concernait la divergence : apprendre à chercher une diversité d'hypothèses, être capable de trouver dans les résultats d'une expérimentation autre chose que ce qu'on y cherchait... Comme je le discute plus avant, une autre caractéristique des activités d'investigation expérimentales sur le vivant est sans doute de solliciter fortement la créativité et l'esprit critique.

---

[66] SCHNEEBERGER, P. & RODRIGUEZ, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental : un exemple en Première S. *Aster* 28 : 79-106

[67] Soulignons que l'image de la science induite par ces activités contribue à la constitution de la matrice cognitive de l'élève.

[68] COLLECTIF (1991). *Déclaration du CNP sur l'enseignement des sciences expérimentales*. Paris : Ministère de l'Education nationale

[69] GIORDAN, A. (1999). *Op. cit.* p. 54

Loin d'une unique finalité de "construction de faits expérimentaux", le souci éducatif de construction d'un rapport expérimental au vivant permet de solliciter le développement de la curiosité et du questionnement. "*Enfants, on nous montre tant de choses que nous perdons le sens profond de voir*", commentait B. Duborgel (1983)[70], dans sa critique de la trop légère prise en compte de l'imaginaire par la pédagogie. Dans une double tension, la construction d'un rapport expérimental au vivant doit articuler non seulement empirie et raison, mais également imaginaire et raison. Refusant un réel donné, elle participe à la construction d'une rationalité expérimentale.

Permettre une familiarisation pratique au vivant

Dans l'enquête effectuée par J. Guichard (1990)[71], on découvre que 50 à 60 % d'enfants de 5 et 14 ans de milieu urbain n'ont jamais vu de lapins vivants ! Dans notre monde de plus en plus "médiatisé" et "virtuel", s'interroger sur la familiarisation pratique des enfants au vivant dans sa diversité, mammifères et oiseaux, domestiques et "sauvages", mais aussi végétaux et “petites bêtes”, revaloriser la place de l'observation et des savoirs naturalistes apparaissent fondamentaux. Permettre à l'école une "*propédeutique d'expériences*" des enfants urbains apparaît de plus en plus indispensable, argumentait Legrand (1980)[72].

Finalités pédagogiques

En parallèle avec les fonctions éducatives, et parfois confondues avec celles-ci, des finalités pédagogiques sont énoncées, en particulier :

- permettre une "mise en activité" des élèves,
- encourager le travail de groupe,
- favoriser le débat scientifique (dans les constructions de problèmes, à propos de la recherche de protocoles ou de l'analyse des résultats…).

Mais ces différentes finalités n'apparaissent pas comme spécifiques des activités expérimentales en classe.

Missions d'un rapport expérimental au vivant

Fondamentalement, que peut donc apporter, au cours du déroulement de la scolarité, un rapport expérimental au vivant ? Huit missions essentielles peuvent être explicitées.

12. Un rapport expérimental au vivant à l'école peut combler, pour les jeunes citadins, un *déficit de familiarisation pratique* aux vivants dans leur diversité.
13. Le discours des médias vante la formidable potentialité d'emploi que représenteraient les techniques relatives à la maîtrise du vivant et les biotechnologies dans les prochaines décennies. Des pratiques effectives et authentiques, par les jeunes lycéens, d'investigation expérimentale sur le vivant, permettent la découverte de

[70] DUBORGEL, B. (1983). *De l'iconoclasme scolaire à la culture des songes*. Paris : Le sourire qui mord.
[71] GUICHARD, J. (1990). *Diagnostic didactique pour la production d'un objet muséologique.* Thèse de doctorat : Université de Genève.
[72] LEGRAND, L. (1980). *Op. cit.*

certaines de ces techniques et de leurs contraintes, et contribuent à des choix et des *orientations professionnelles positives*.

14. Des activités expérimentales, menées sur un réel pas trop aménagé, conduisent l'élève à la nécessité de gérer la *matérialité des sciences*, élément indispensable de toute culture scientifique et technique.
15. L'éducation et la formation imprègnent du certain, et renforcent la tendance à rechercher les certitudes rassurantes. La construction d'un rapport expérimental au vivant favorise *l'acceptation de l'incertain et l'appropriation d'une pensée statistique.*
16. Des activités d'investigation sur le vivant sollicitent le *développement d'une rationalité expérimentale complémentaire de celle sur la matière*, exigeant, en particulier, la prise en compte de la complexité et de l'irréversibilité des phénomènes biologiques.
17. Ces pratiques nécessitant la compréhension de l'intégrité, de l'irréversibilité et de la sensibilité des vivants, fondent *une éthique* relative à leur respect, et, pour éviter toute dérive uniquement affective, clarifient tout à la fois la nécessité d'intervention expérimentale *in vivo* et la recherche de substituts d'expérimentation.
18. L'exigence d'utiliser des modèles animaux expérimentaux comme substitut d'investigation de l'humain contribue à fonder une éthique humaniste. La compréhension d'arguments, présentés lors de débats bioéthiques relatifs à l'expérimentation biologique, participe à l'appropriation de valeurs et à l'*éducation à la citoyenneté.*
19. La construction d'un rapport expérimental au vivant, sur des modèles animaux ou sur soi, développe chez l'élève une conscience de soi "*être vivant"*, objet de manifestations biologiques qui peuvent être observées : conscience enrichissant celle de soi "*être pensant*" et celle de soi *"être social*", analysées par les sciences humaines.

3.3.3. Quelles formes du rapport expérimental au vivant ?

Une forme d'investigation scolaire
(extrait du texte 14)

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.

Une forme d'investigation dans des ateliers de culture scientifique (extrait du texte 37)

> Nous attirons l'attention, cependant, sur l'utilisation et l'application dans certains ateliers d'une démarche très stéréotypée et d'inspiration empirico-réaliste, appelée "la démarche expérimentale" par les animateurs. Sans doute serait-il utile, au sein des associations, de réfléchir à des contextes, à des activités et à des mises en situations qui sollicitent un questionnement scientifique, à la fois des animateurs et des jeunes.

Une forme spectaculaire dans un projet de musée de sciences naturelles (extrait du texte 44)

> *La strate du milieu terrestre*
> Dans une ambiance suggérant l'humidité glauque et oppressante des forêts marécageuses du carbonifère, la présentation s'attache au gigantisme du monde vivant, aux hallucinants phénomènes d'essais de colonisation de la planète. Elle provoque aussi une interrogation sur la diversité des milieux terrestres et de ses formes vivantes.

Mais qu'est-ce que "*faire des sciences à l'école*" ? Est-ce programmer un ensemble d'apprentissages conceptuels ? Est-ce préparer une insertion sociale et professionnelle ? Est-ce faire s'approprier des comportements utiles, d'un point de vue hygiénique et social par exemple ? Est-ce construire une rationalité scientifique ? Est-ce se rapprocher de pratiques scientifiques ? Est-ce viser une appropriation de démarche scientifique ? Est-ce proposer des activités qui ont leur propre logique d'apprentissage ?…

Selon le contexte social et historique, et selon l'âge des enfants ou des jeunes, les finalités éducatives prioritaires évoluent. Par exemple, pour l'enseignement primaire, le succès de la "*leçon de chose*", avec sa double face d'activités concrètes et utilitaires et sa visée d'initiation à une démarche scientifique, avec une conception de science inductiviste, puis son déclin dans les années 1960, traduit une évolution des conceptions de la science et des apprentissages (Kahn, 1999)[73]. Sans doute, s'explique-t-elle également par une évolution sociale, avec le passage d'une société rurale, dans laquelle les élèves retrouvaient naturellement le référent empirique sollicité pour leurs apprentissages scientifiques et techniques, à une société de plus en plus urbanisée. Pour répondre à ces besoins, il semble que les différentes contraintes (sécuritaires, éthiques et didactiques) et les différentes conceptions relatives à l'éducation aient fait émerger plusieurs formes, scolaires et non scolaires, d'un rapport expérimental au vivant.

[73] KAHN, P. (1999). *L'enseignement des sciences à l'école primaire : l'influence du positivisme*. Paris : Hatier.

A)Formes scolaires

Actuellement, en France, plusieurs formes scolaires d'un rapport expérimental au vivant peuvent se succéder ou coexister, avec des logiques apparentes soit *d'investigation*, soit d*'illustration*, et dans un déroulement de curriculum plus ou moins ouvert (école primaire, option sciences expérimentales de classe de Première S) ou, le plus souvent, fermé (SVT dans le secondaire). Logique que je qualifie d'"apparente", car l'analyse d'activités scolaires se présentant comme "d*'investigation*", montre que celles-ci restent néanmoins, le plus souvent et fondamentalement, au service de l'illustration d'un contenu conceptuel (Bomchil et Darley, 1998 ; Galiana, 1999)[74].

Par exemple, il semble que, pour les SVT au niveau lycée, un désir de "coller" à l'actualité de la recherche scientifique et à son instrumentation conduit à des formes scolaires de reconstruction de ces pratiques, celles-ci étant inabordables pour des élèves. Au niveau de l'élaboration du curriculum, le choix des contenus conceptuels prime, viennent ensuite des interrogations relatives à l'illustration de ces contenus. Comment mettre en place une activité, réalisable dans les contraintes scolaires, acceptable par les enseignants, et si possible simple et peu chère, relative à ces contenus ? Dans ce cas, les questions concernant les activités des élèves et leurs enjeux éducatifs n'apparaissent que secondaires dans les choix.

Des expériences prototypiques

Cette analyse, relative à la "*construction secondaire*" des activités scolaires, peut être comparée avec celle d'autres didacticiens. En ce qui concerne la physique au lycée, S. Johsua (1989)[75] a montré que le rapport à l'expérimental se caractérisait par une "*profonde didactisation"*. Pour faciliter l'interprétation des phénomènes, les situations expérimentales proposées aux lycéens, en effet, mettent en scène :

- soit des objets techniques, qui "*par leur finalisation même de leurs fonctions sont souvent producteurs ou patients de phénomènes relativement délimités*" ;
- soit des situations artificielles, ne correspondant pas à une *transposition-reconstruction* de situations inspirées par des phénomènes naturels, l'histoire des sciences ou le fonctionnement d'objets techniques, mais "*des créations ex nihilo, et non redevable d'une quelconque transposition à partir d'un domaine non didactique*".

En plus de cette didactisation approfondie, Johsua a analysé l'importance donnée par les enseignants à l'option inductiviste, dans ces formes scolaires expérimentales avec :

- une tendance à avoir recours à des "*expériences fondatrices*", *de "mise en évidence*" et qui permettent de présenter un maximum de "*faits* " ;
- l'utilisation systématique d'"*expériences prototypiques*", qui visent à présenter le

[74] BOMCHIL, S. & DARLEY, B. (1998). L'enseignement des sciences est-il vraiment inductiviste ? *Aster* 26 : 85-108
GALIANA, D. (1999). *Op. cit.*

[75] JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster* 8 : 29-54.

plus rapidement possible la "*loi*", quitte à en vérifier ultérieurement le validité.

Favoriser d'autres options

Plusieurs facettes de l'éducation scientifique (extrait du texte 17)

Dans l'enseignement des sciences en France, les priorités des guidages pédagogiques correspondent, globalement, à la gestion d'activités à l'école élémentaire, à l'enseignement de contenus au lycée, avec des positions intermédiaires au collège. Le point de vue développé sur les pratiques expérimentales dans cet article est de montrer qu'il serait possible, dans le secondaire, d'offrir d'autres facettes de l'éducation scientifique, et d'aider les enseignants de sciences à clarifier leur position lors de la conception des différents enseignements qu'ils auront à assurer.

D'autres options pourraient cependant être envisagées, argumentait encore Johsua. Ryder et Leach (1998)[76], par exemple, ont analysé que le travail sous forme de *projet de recherche*, développé dans quelques cursus universitaires, au niveau de la licence, facilitait la compréhension des étudiants relative aux pratiques effectives de la science. Cette forme d'activités expérimentales a été également étudiée en France. Ainsi Darley (1992)[77] en biologie, et Guillon (1996) [78] en physique, ont exploré d'autres possibilités, telles des *démarches d'investigation hypothético-déductives* et des *processus de modélisation*, dans un contexte universitaire, c'est-à-dire auprès de futurs spécialistes, et avec des contraintes de temps didactiques peut être moins fortes que dans le secondaire. Au lycée, l'option sciences expérimentales de la classe de Première S, qui peut être rapprochée du module SCI (*Science Curriculum Investigation)* de nos collègues anglo-saxons (Dungan et Gott, 1995), offre un cadre privilégié pour mettre en œuvre une telle investigation empirique. Elle donne 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. Cette option disparaît cependant, sous cette forme, à la rentrée scolaire 2000.

L'histoire des sciences peut contribuer à représenter un domaine de référence d'expérience historique, elle peut aussi aider le didacticien à trouver des idées de situation d'apprentissage nouvelles (texte 7). Ainsi, les études historiques entreprises par Darley sur la complexité de la construction du concept de potentiel d'action, l'ont conduit à mesurer avec prudence l'apparente simplicité de l'illustration du concept par son phénomène, telle qu'elle est couramment pratiquée en TP. Une transposition du travail de Erhlanger et Gasser[79] a pu ainsi être proposée aux étudiants comme approche

[76] 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.

[77] DARLEY B. (1992). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux de biologie à l'Université. Analyse et propositions*. Thèse de doctorat : Université Grenoble 1.

[78] GUILLON, A. (1996). *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et de deuxième année d'université*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud

[79] Etudes de 1937. Reconstruction du potentiel d'action du nerf de grenouille à partir de mesures faites sur les vitesses de conduction des fibres en fonction de leur diamètre.

du potentiel nerveux, une fois défini le potentiel d'action neuronal. Dans le cas de l'apprentissage du cycle de Krebs (texte 19), nous avons proposé aux élèves une adaptation des manipulations de Krebs, pour leur faire s'approprier des techniques d'investigation, et pour créer des phénomènes afin de les questionner, notamment pour faire émerger un questionnement sur le vivant. L'utilisation des sources historiques, sur l'évolution des problèmes scientifiques, sur les propositions successives de modélisation du cycle de Krebs, et l'évocation d'autres expériences scientifiques ont permis d'élargir le référent empirique des élèves et de valider la modélisation du cycle de Krebs à un ensemble de vivants. Ces situations ont été l'occasion de développer l'utilisation du modèle de cycle de Krebs, de le limiter au seul monde vivant aérobie, d'envisager l'hypothèse d'une apparition précoce de ce mécanisme dans l'évolution, et de le complexifier en fonction des besoins. Ce fut aussi l'occasion de comprendre qu'une invention scientifique naît dans un contexte donné.

Diversité des formes scolaires

Même si certaines apparaissent plus marginales, on constate, en fait, une grande diversité dans les possibilités de formes scolaires d'un rapport expérimental au vivant : pratiques expériencielles d'élevage ou de jardinage, dans des coins ou au cours d'ateliers ; activités de manipulation ; activités d'initiation expérimentale ; travaux pratiques avec application de consignes ; investigation sur problème plus ou moins ouvert ; réalisation de projet ; organisation de recueil de données empiriques ; présentation de montages expérimentaux ; évocation d'expériences scientifiques, historiques ou contemporaines, recours à la vidéo)[80]….

Ces différentes formes peuvent, elles-mêmes, présenter une très grande variété. Pour caractériser les différentes formes de TP au lycée, par exemple, le projet européen *Labwork in Science Education* (1998)[81] propose une "*carte d'analyse*", tandis que Nott (1996)[82] avance une dénomination selon trois "facettes" : *experience*, *exercice* et *investigation*. *Experience*, pour Nott, permet une familiarisation aux phénomènes et objets. *Exercice* correspond à l'ouverture d'une boîte noire, avec l'apparition d'incidents critiques ou des résultats inattendus, ce qui procure une opportunité pour enseigner la nature de la science. *Investigation*, enfin désigne la résolution de problème ouvert, sans "bonnes réponses" attendues : celle-ci, selon Nott, reste rare et souvent éloignée des pratiques réelles des scientifiques.

[80] Pour la question du recours à la vidéo, voir N'DIAYE, V. (1990). *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans les Travaux Pratiques universitaires de biologie.* Thèse de doctorat : Univerisité Lyon 1.
[81] SÉRÉ, M.-G. (coord.) (1998). *Labwork in Science Education*. Les Travaux pratiques dans l'enseignement des sciences. Document 11. Commission Européenne.
[82] NOTT, M. (1996). *IJSE op. cit.*

Hodson (1993)[83], de son côté, montra que les priorités données par les professeurs affectent la manière dont ils utilisent le laboratoire scolaire. Ceux qui augmentent l'apprentissage de contenus conceptuels donnent toujours la priorité à ceux que les élèves donnent la "bonne réponse", à la différence de ceux qui privilégient la fonction d'investigation dans le progrès des sciences.

Les travaux pratiques ont, nous l'avons vu, toujours été problématiques, point de vue de "*vérification*" ou d'"*investigation*" étant toujours source de contentieux : "*vérification*" a souvent été identifiée comme une vue de la science dogmatique, tandis que "*investigation*" privilégiait celle de découverte et de création de savoirs. La recherche scientifique comporte cependant les deux activités.

"Faire de la science" ou "apprendre les résultats de la science" ?

Mais à quels enjeux éducatifs correspondent toutes ces formes scolaires ? Pour mieux connaître ceux-ci, plusieurs questions générales seraient à poser.

- Quelles sont les pratiques de l'élève réellement envisagées : expériencier, manipuler ou expérimenter ?
- À quel type de tâche l'élève doit-il s'affronter ? La définition de celle-ci est-elle formelle ou matérielle ?
- Quelle est la logique de la situation expérimentale ? Qu'est-ce qui constitue le moteur de l'activité ? Est-ce l'action de l'élève, avec une logique d'exploration ou d'imitation ? Est-ce la construction et la résolution d'un problème scientifique ? Est-ce plutôt un savoir théorique à valider ?
- Quelles sont les interventions pédagogiques, directes ou indirectes, de l'enseignant ?
- Le réel proposé aux élèves est-il plus ou moins aménagé ?

L'introduction de l'expérience en milieu scolaire semble venir d'un constat apparemment simple : puisque la connaissance progresse par l'expérience dans le laboratoire de recherche, pourquoi n'en serait-il pas de même à l'école ? L'expérience qui instruit le scientifique ne peut-elle pas aussi instruire l'élève ? Le problème vient du fait que les élèves et les enseignants sont en bout de chaîne, n'ayant à leur disposition qu'un savoir général, désincarné et coupé de sa base problématique. Toute l'activité du scientifique, toute la démarche y a été gommée. Il ne reste que des résultats, des explications à des problèmes qu'ils ne se sont jamais posés. On n'apprend donc pas aux élèves à "*faire de la science*", on leur apprend, le plus souvent, les résultats de la science. C'est, en effet, le savoir à enseigner qui, actuellement, commande les expériences mobilisées, à l'opposé de ce qu'exigerait une authentique démarche investigatrice

[83] HODSON, D. (1993). Philosophic stance of secondary school science teachers, curriculum expereinces, and children's understanding of science : some preliminary findings. *Interchange*, 24 : 41-52.

Résistances au changement

L'ancrage des enseignements expérimentaux dans des conceptions empiriques et positivistes de la science est régulièrement dénoncé (Galiana, 1999) :

- *conceptions empiriques,* par l'insistance sur l'idée de découverte *(" voir pour comprendre"),* quand le savoir est une construction tortueuse et coûteuse, et sur celle de "soumission aux faits", quand la connaissance scientifique est d'abord critique ;
- *conceptions positivistes,* par l'insistance sur le respect des étapes obligées d'une méthode *(" faire pour comprendre"),* symbole d'une rigueur supposée du raisonnement, quand celui-ci n'est qu'une des composantes parmi d'autres de l'activité scientifique.

La conjonction de ces deux postures se traduit habituellement dans l'enseignement scientifique, par des activités qui privilégient la *"mise en évidence"* supposée de phénomènes et de lois, qui se présentent comme une suite *"naturelle"* d'opérations réglées, et qui confortent le mythe d'*"expériences cruciales".* La difficulté du renoncement à de telles pratiques expérimentales, pourtant invalidées, peut s'expliquer par une convergence d'éléments.

L'interprétation classique selon laquelle la résistance au changement de ces pratiques résulterait des conceptions épistémiques des enseignants sur la science, et d'un déficit de leur formation, est sans doute partiellement juste. Mais elle semble insuffisante, puisque les enquêtes auprès des professeurs (texte 17, texte 39, Vialle, 1998, Galiana, 1999, Lika, 1999) montrent que ceux-ci ne sont pas si dupes du décalage entre leurs pratiques et les exigences d'une science authentique, et qu'ils s'en ouvrent volontiers. D'autres explications sont donc à chercher, car de telles résistances sont toujours porteuses de signification.

On peut en évoquer quelques-unes : elles interviennent sur des plans très divers, mais convergent pour stabiliser une économie didactique durablement installée et peu sensible aux contradictions :

- Des *positions identitaires et corporatistes,* les travaux pratiques apparaissant comme ce qui fait la spécificité de ces enseignements, notamment par rapport aux mathématiques, et nécessitant des moyens supplémentaires en matériel et des groupes réduits.
- Une *vulgate de l'éducation nouvelle,* selon laquelle manipuler aide à comprendre et à concevoir, un enseignement concret et un élève actif apparaissant comme un des leviers essentiels de la motivation.
- Un *principe d'économie didactique* qui inverse, par un jeu rhétorique, le fonctionnement normal du syllogisme (Bomchil et Darley, 1998).
- Un *manque de concepts* pour penser les problèmes d'apprentissage.

Au Royaume-Uni également, une visée d'assigner de multiples buts aux pratiques expérimentales a pu mettre les enseignants en difficultés (White, 1996). Une pratique syncrétique, qui évite d'avoir à trancher entre des options difficiles, et qui conçoit l'expérience à la fois comme procédé de présentation des savoirs et comme entraînement à certains types de démarches, sans décider d'aucune priorité, permet alors de combiner pragmatiquement des contraintes multiples, dont celle du temps n'est pas la moindre. Mais n'est-ce pas ce que demandent, à un siècle d'intervalle, les Instructions Officielles françaises?

· *"L'enseignement scientifique bien compris donne tout à la fois le savoir, la discipline et l'éveil"* (1891).

G. *" L'élève construit activement son savoir, acquiert des méthodes et des techniques en élaborant et en conduisant (seul, en équipe ou collectivement) une démarche d'investigation explicative des phénomènes étudiés"* (1992).

Pour contribuer à éclairer les enjeux éducatifs et à effectuer des choix de situations et d'animation pédagogiques, j'ai présenté plusieurs *modes didactiques* dans la constitution d'un référent empirique (textes 17, 27).

Plusieurs modes didactiques

En m'appuyant sur trois exemples, extraits de la littérature, j'ai avancé une première analyse des contextes et des objectifs possibles des activités expérimentales dans différents modes didactiques. Ces modes, en relation avec différents registres épistémologiques, ne représentent pas des étapes mais des moments possibles à l'intérieur d'un apprentissage. La question de l'articulation de ces différents modes, et de leur hiérarchie, se pose :

· au niveau des choix pédagogiques successifs que doit faire un enseignant pour organiser les activités d'apprentissage des élèves,

· au niveau de l'organisation d'un curriculum.

Mode de familiarisation pratique[84]

La logique de commande de ce mode est l'*exploration* et l'*imitation*. Dans une perspective génétique, il correspond soit à l'initiation scientifique du jeune enfant, soit à l'abord d'un nouveau sujet d'étude. Les situations ont pour but de familiariser l'élève à des phénomènes et des objets, de l'inciter à un questionnement, de lui faire acquérir des savoir-faire préalables et des techniques d'investigation (instruments et procédures), de constituer un référent empirique. Les activités s'enracinent dans la complexité, la variabilité, la diversité et la singularité de situations réelles, de pratiques sociales (jardinage, élevage, santé et hygiène, industries agro-alimentaires…) ou reconstruites pour le scolaire. De façon caricaturale, le mode de familiarisation pratique pourrait être dénommé comme représentant celui des *"expériences-action*" et de *l'"expérienciation*".

[84] Extrait du texte 27, modifié.

Mode d'investigation empirique

La logique d'un mode d'investigation est de *construire et de résoudre des problèmes* avec une approche qui reste ouverte, et *une dynamique d'étonnement et de questionnement*. Dans ce mode d'*"expérience-objet*" et d'*"expérimentation*", la commande se situe au niveau des méthodes. Les 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 lui faire approcher la résistance du réel. Comme J. Désautels et M. Larochelle l'ont proposé dans leurs études (1993)[85], ce mode didactique peut également développer la métacognition et le retour sur les démarches suivies. Le raisonnement logico-mathématique ne rentre cependant pas seul en ligne de compte et les situations proposées recouvrent des dimensions beaucoup plus vastes, d'apprentissages méthodologiques, de mise à l'épreuve de la résistance du réel, de développement d'un esprit critique face au possible artefact et à l'interactivité des variables.

D'un point de vue pédagogique, les situations d'investigation, empirique ou documentaire, apparaissent très variées. L'élève mène un mini-projet, ou il met en oeuvre, en tout ou en partie, une réelle démarche d'investigation scientifique : recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion. Les situations peuvent permettre d'articuler des phases d'exploration, avec des observations divergentes, et des phases de validation de proposition, avec observations convergentes. La créativité et la logique, ainsi que de nombreuses opérations mentales concernant l'argumentation, l'induction et la déduction, sont sollicitées.

Ce mode pourrait être comparé au *SCI,* module d'activités pratiques d'investigation ouverte, du curriculum de Grande-Bretagne. Cependant dans le cadre de *SCI*, une seule démarche est valorisée —la démarche analytique de résolution de problèmes avec séparation stricte de facteurs — démarche qui ne convient pas toujours pour les investigations en biologie. Ce mode recouvre également les perspectives de l'option sciences expérimentales de première S des lycées français, en particulier par l'attention portée, dans les textes officiels, à la bibliographie.

Mode d'élaboration théorique

Dans ce mode, la commande essentielle est *le savoir théorique à construire, sa validation et son application*. Les expériences, réalisées ou simplement évoquées, peuvent être qualifiées d'"*expérience-outil*" ou d'*"expérience-validation"*. Elles ont pour but d'élargir le référent empirique, de participer à la construction de concepts et à l'élaboration de modèles scientifiques. L'élève est sollicité pour effectuer de nombreux allers-retours entre référent empirique et conceptualisation. Il peut ainsi explorer les domaines de validité des constructions théoriques, en éprouver la pertinence et, si possible, étendre leur domaine d'application.

[85] DÉSAUTELS, J. & LAROCHELLE, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster* 17 : 13-39.

Il serait tentant soit d'amalgamer ces trois logiques au cours d'une même activité, soit d'affecter chacune à un niveau donné d'enseignement, mais c'est l'articulation raisonnée des trois modes qui soutient une formation scientifique. Ainsi, le mode de familiarisation pratique, essentielle à l'école primaire, l'est encore au secondaire, quand on propose du matériel dont l'utilisation efficace nécessite la maîtrise de savoirs complexes. Si le mode d'élaboration théorique s'impose dans le second cycle, il concerne, d'une autre façon, les plus jeunes, les activités expérimentales devant déboucher sur des acquis conceptuels identifiés, même modestes. Nous reprendrons plus loin la question de l'articulation de ces modes dans une perspective curriculaire.

Différents contrôles pédagogiques

L'enseignant adapte ses interventions à ses objectifs : le contrôle pédagogique des situations, en relation avec les trois modes didactiques, sera donc le reflet de cette adaptation. Le tableau (extrait du texte 17) résume le point de vue didactique du contexte et des buts des pratiques expérimentales dans chacun de ces trois modes, ainsi que le point de vue pédagogique de la nature du dispositif mis en place pour l'élève et du guidage de l'enseignant.

Interactions didactiques

A. Dumas Carré et A. Weil-Barais (1998)[86] ont analysé et comparé les interactions didactiques que le professeur favorise, dans une posture soit de tutelle soit de médiateur. Dans le cadre de la tutelle, c'est l'exécution des tâches qui détermine ses interventions, alors que dans un cadre de médiation, c'est le rapport au savoir qui est travaillé. Ce cadre d'analyse pourrait être repris pour mieux décrire les modalités d'intervention de l'enseignant selon les différents modes didactiques. Une première approche (texte 39), qu'il faudrait approfondir, laisse envisager une répartition des rôles de tutelle et de médiation dans un mode de familiarisation pratique et dans celui d'élaboration théorique, tandis que les interactions didactiques se rapporteraient essentiellement à de la médiation dans un mode d'investigation empirique.

[86] DUMAS-CARRÉ, A. & WEIL-BARAIS, A. (dir.) (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne : Peter Lang.

Modes didactiques des pratiques expérimentales (extrait du texte 17)

MODE DE FAMILIARISATION PRATIQUE
"expérience-action""expérienciation"

Contexte : soit initiation scientifique, soit abord d'un nouveau sujet étude.
Buts : familiariser l'élève avec des objets, des phénomènes ; développer un questionnement scientifique ; faire progresser un savoir-faire préalable, faire s'approprier des techniques d'investigation ; constituer un référent empirique.
Nature du dispositif pour l'élève : exploration empirique et contrôle des actions,
Priorité de guidage de l'enseignant : proposer des situations variées et diversifiées, initier une articulation entre le réel et l'abstraction, favoriser les comparaisons, les confrontations multiples, relancer le questionnement, introduire le doute, aider à reformuler, favoriser un apprentissage technique.

MODE D'INVESTIGATION EMPIRIQUE
"expérience-objet"" "expérimentation"

Contexte : pratiques d'investigation, recherche problématisée.
Buts : initier à des démarches scientifiques, utiliser des techniques d'investigation.
Nature du dispositif pour l'élève : mise en œuvre, en tout ou en partie, d'une réelle démarche d'investigation (recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion) ; réalisation d'un mini-projet.
Priorité de guidage de l'enseignant : aider à problématiser ou à émettre un projet, favoriser la mise en œuvre des investigations, favoriser la rigueur dans la démarche de validation des élèves, favoriser les confrontations multiples, favoriser la réflexion des élèves sur les démarches et les raisonnements qu'ils suivent.

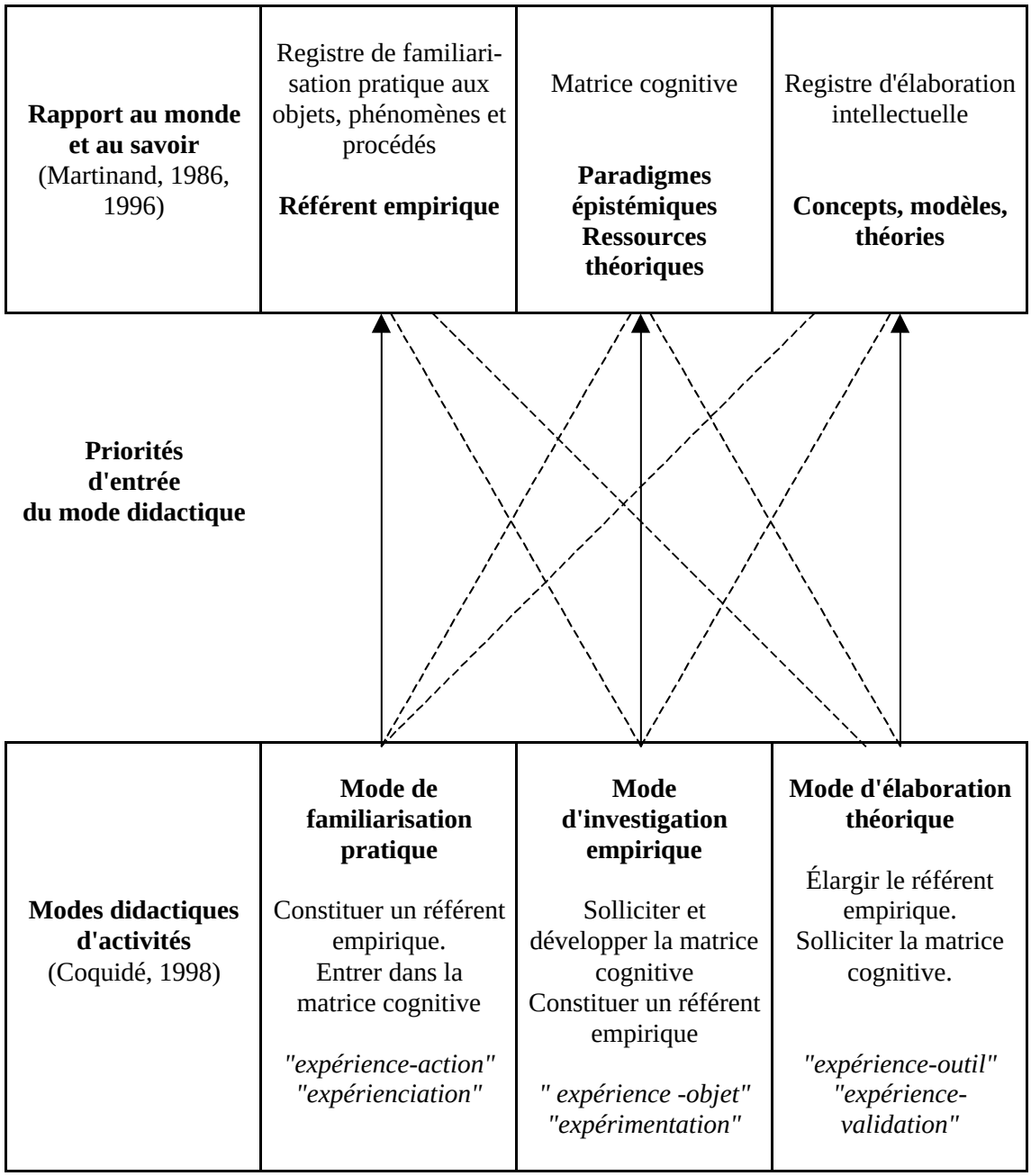
MODE D'ÉLABORATION THÉORIQUE
"expérience-outil""expérience-validation"

Contexte : élaboration conceptuelle ou modélisante.
Buts : participer à la construction de concepts et à l'élaboration de modèles scientifiques (élaboration et application) ; élargir le référent empirique.
Nature du dispositif pour l'élève : sollicitation d'allers-retours entre registre empirique et conceptualisation.
Priorité de guidage de l'enseignant : proposer des activités dans les domaines de validité des constructions théoriques qui doivent être explorés pour en éprouver la pertinence.

Comment penser une articulation entre les finalités et les formes scolaires d'un rapport expérimental ?

D'un triple point de vue épistémologique, didactique et pédagogique, les relations entre les faces "*matérielles*" et "*idéelles*" de l'apprentissage des sciences et des techniques restent complexes. Pour contribuer à penser une articulation entre les finalités et les formes scolaires d'un rapport expérimental, nous proposons (texte 14) de représenter schématiquement les relations entre *registres de rapport au monde et au savoir* (Martinand, 1986 ; 1996) et *différents modes didactiques*.

Articulation des registres et des modes didactiques d'activités



B) Formes non scolaires

Ateliers de pratiques scientifiques, fermes pédagogiques, parcs animaliers et zoologiques, musées de sciences naturelles ou de culture scientifique… toutes ces structures diverses permettent aussi d'envisager des formes non scolaires dans la construction d'un rapport expérimental au vivant. Ces différentes formes apparaissent et se développent dans différents contextes —loisir, éducation informelle, culture scientifique et technique— mais il n'est pas rare que l'école s'ouvre vers elles et que ces différentes structures deviennent partenaires de l'enseignement.

Mon travail de thèse m'avait conduit à étudier l'évolution historique des musées de sciences naturelles (textes 3, 35, 45) : étude qui a pu être approfondie et valorisée lors d'une collaboration pour la préparation à une exposition au Musée d'Orsay (textes 12, 22). La didactique des sciences s'intéresse à la fois à l'enseignement et la culture scientifique et technique. Plusieurs interventions-conseil m'ont été demandées : dans le cadre d'évaluation d'expositions scientifiques (textes 4, 11, 43) ou d'ateliers de pratiques scientifiques (textes 20, 37, 41), et pour collaborer à un projet de création de musée de sciences naturelles (texte 44)

Ateliers de pratiques scientifiques
Les ateliers de pratiques scientifiques se développent, soit dans le cadre scolaire, soit hors de celui-ci. Dans le cadre scolaire, ils peuvent être animés par des professeurs volontaires —ils se rapprochent alors des ateliers préconisés par le Conseil National des Programmes — ou par des animateurs d'association de culture scientifique et technique.

Des ateliers de pratiques scientifiques pour l'insertion scolaire (extrait du texte 20)

Les ateliers se déroulent en groupe restreint (10 jeunes en moyenne). Ce faible effectif représente une facilité pour la mise en activité effective des jeunes (pratiques de manipulation, de construction et, parfois, d'expérimentation). Dans les centres de culture scientifique et technique et dans les ateliers de loisir, les animateurs proposent parfois des démonstrations expérimentales "spectaculaires" ou "étonnantes". Celles-ci peuvent, certes, développer une curiosité mais plutôt que de rester au niveau d'une simple illustration, un questionnement pourrait être sollicité et une réelle investigation scientifique enclenchée (Brooke et Solomon, 1998). De plus, plutôt que de réduire les activités expérimentales à un simple aspect de "manipulation", il semble possible de développer dans le cadre de ces ateliers :

- des situations de familiarisation pratique des jeunes à des objets et à des phénomènes scientifiques et techniques, afin de constituer des références empiriques et de solliciter un questionnement,
- des situations, qui laissent parfois le temps d'une réelle expérimentation, afin de contribuer à la construction d'une rationalité expérimentale.

Les ateliers *APRES* du département des Hauts-de-Seine, pour lesquels j'ai participé à deux expertises (textes 37, 41), sont des ateliers de pratiques scientifiques et techniques mis en place dans des collèges situés dans les Zones d'Éducation

Prioritaire, pour favoriser l'intégration scolaire. Les critères d'analyse de ces ateliers se sont donc axés sur le rapport à l'écrit, sur le développement de l'autonomie, sur la restauration narcissique des jeunes, et sur les possibilités de remobilisation de l'expérenciel en contexte scolaire. Mais, dans de nombreuses observations et propos relevés au cours de l'étude, c'est bien les questions du sens des activités pour les jeunes, et celles des finalités de l'atelier pour les animateurs qui ont été soulevées. Quelle est la mission prioritaire de l'atelier : remédiation sociale ? remobilisation du jeune ? réparation d'un déficit scolaire de pratiques de familiarisation pratiques à des objets et à des phénomènes scientifiques et techniques ?…

Les observations effectuées dans les ateliers, et les interviews des différents acteurs ont conduit à distinguer deux dynamiques d'animation, selon que les séances privilégiaient soit la démarche de projet, soit la manipulation. Mais c'est bien la cohérence entre la forme de l'atelier et ses finalités qui a été interrogée.

Logique et démarches des ateliers de pratiques scientifiques pour la remédiation scolaire (extrait du texte 20)

Quelle logique ?

"On ne peut savoir et comprendre que ce que l'on fait". Cette proposition de Dewey et de nombreux mouvements de l'Éducation Nouvelle, reprise à la lettre, conduit parfois à substituer le faire au comprendre ou à d'éventuelles dérives "occupationnelles". Nous avons donc à nous poser la question de la logique du déroulement de ces ateliers. Est-ce, en reprenant les termes de Meirieu (1987) une logique du "faire", une logique du "réussir" ou une logique de l'"apprendre" ou tout du moins de "comprendre" ? Pour la plupart de ces jeunes, la motivation première est bien dans le plaisir de la construction d'objets et de la réussite. Ce que confirme un responsable d'association : *" on est très loin de nos objectifs, bien qu'on fasse un travail en progression, ce qui motive les jeunes, c'est de construire, construire"*. Il semble que, dans le plupart des ateliers, c'est la logique du "faire" ou celle de la "réussite" qui fonctionne. Dans ces logiques, les obstacles aux apprentissages sont le plus souvent évités (choix des activités, intervention de l'animateur...), mais c'est cependant bien en s'affranchissant et en dépassant des obstacles qu'on peut envisager de réels apprentissages. Parallèlement, il est sans doute illusoire de faire fonctionner ces ateliers avec une logique d'"apprendre", qui relève plus d'un objectif d'activité scolaire, d'autant que, mal interprétée et mise en place par des animateurs peu expérimentés, cette logique d'apprentissage peut susciter des effets pervers dans la conception et le déroulement des activités, avec une priorité donnée à des "démonstrations" (…).

Projet, fabrication et situation-problème

La situation-problème dans laquelle un sujet, en effectuant une tâche, s'affronte à un obstacle, est souvent mise en avant en didactique. En effet, elle répond à l'exigence du "sens" à donner à l'activité et permet d'envisager de réels apprentissages. Cela impose que l'on s'assure, dans les activités ou dans les projets à mener avec les jeunes, à la fois de la construction d'un réel problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre ou sans mobiliser des savoirs.

Plus que l'apprendre, et en particulier apprendre de nouveaux savoirs, c'est quand même bien le "comprendre" et la mobilisation de savoirs qui est en partie en jeu dans le dispositif *APRES*. Le dispositif par projet peut, en partie, répondre à ces exigences mais en partie seulement, car s'il est trop ouvert ou mal contrôlé, il peut dériver et aboutir sur des problèmes trop complexes ou trop techniques. Les projets, peut-être moins ambitieux et moins spectaculaires, mais dont la remédiation soit effectivement possible par les jeunes apparaissent les plus favorables. Par ailleurs, les démarches de conception et de réalisation, et les approches techniques semblent les plus adaptées.

L'expertise des ateliers *APRES* animés par des associations de culture scientifique, se déroulant dans le cadre scolaire, hors temps scolaire, a pointé l'un des premiers défis de ce type de projet comme celui de la définition collégiale du sens de l'action entreprise, avec la mise à disposition d'outils de liaison entre animateurs et enseignants, contribuant à identifier les finalités et à les sauvegarder. Des questions, en relation avec la formation et l'accompagnement pédagogique des animateurs ont également été soulevées.

Le secteur associatif s'est, depuis longtemps, intéressé à la culture scientifique à destination de la jeunesse, mais dans le sillage du développement des loisirs culturels, de nombreuses associations, à vocation locale, régionale ou territoriale, se sont créées en France depuis les années septante. Plusieurs musées scientifiques ont développé, de leur côté, des préoccupations pédagogiques de longue date. L'évolution historique du contexte social et culturel fait que, là aussi, le public s'intéresse de plus en plus à ce media. De nombreux espaces muséographiques se sont créés, ou ont été totalement rénovés, depuis trente ans, parmi lesquels plusieurs musées scientifiques, techniques ou industriels.

Musées scientifiques

De nombreux objets et phénomènes physiques connaissent une longue tradition historique d'expériences spectacles, avec des conférences publiques et une théâtralisation des démonstrations, depuis le XVIII^{e} puis tout au long du XIX^{e} siècle (Raichvarg, 1991)[87]. La création du Palais de la Découverte à Paris, en 1937, magnifie une présentation de spectacles "*grandioses et émouvants*", l'appel à des démonstrateurs et une volonté de présenter un "*laboratoire en activité*". Ce modèle démonstratif et spectaculaire de mise en scène correspond, selon J. Eidelman (1988)[88], à "*un parti pris épistémologique majoritaire au sein de la communauté scientifique française, attribuant la primauté de l'expérience sur la théorie*". Les nouveaux musées de culture scientifique et technique, inspirés par l'interactivité développée outre-Atlantique, présentent, dorénavant, de multiples "*expériences presse-bouton*", plus ou moins spectaculaires, mais dont l'impact éducatif sur les visiteurs restent souvent incertain (texte 4). Les études muséologiques et didactiques se multipliant, plusieurs projets muséaux et expositions scientifiques ont, depuis, intégré de nouveaux dispositifs multisensoriels, qui incluent et sollicitent le visiteur, avec des perspectives cognitives, mais également, affectives et sociales. Mais qu'en est-il pour le rapport expérimental au vivant ?

[87] RAICHVARG, D. & JACQUES, J. (1991). *Savants et Ignorants, une histoire de la vulgarisation des sciences*. Paris : Seuil.

[88] EIDELMAN, J. (1988). La création du Palais de la Découverte à la fin des années 1930. In B. Schiele & D. Jacobi (dir.), *Vulgariser la science*. Paris : Champ Vallon.

Les reconstitutions analogiques

Le diorama : analogie avec un référent
(extrait du texte 3)

La création en 1892 d'une salle de zoologie agricole, en attirant les personnes de la campagne, diversifie les publics. En véritable héritier de Pouchet, Pennetier met en place des éléments sur l'espace et sur le milieu de vie des animaux dans les présentations, les rendant ainsi à la fois attrayantes et plus suggestives. Ses projets muséologiques sont appréciés et le *Journal de Rouen* (1892) publie des commentaires élogieux. *"Au lieu de nous montrer ces oiseaux si divers, si variés dans leur pose et leurs habitudes sur l'éternel "pied tourné" en bois blanc des anciennes collections, M. Pennetier s'est imaginé de nous les montrer surpris dans leur attitude, dans leur milieu. (…). C'est réellement la vie surprise dans ses manifestations".*

Les innovations muséologiques de Pennetier se multiplient. Il introduit des "*dioramas*", panoramas regroupant un ensemble d'animaux dans leur habitat simulé en relief, avec plans réels et lointain figuré : ce sont tout d'abord une ferme normande et la falaise du cap de la Hève qui sont ainsi reconstituées. Grâce à la collaboration du décorateur du théâtre des Arts de Rouen, le spectacle entrer au musée. Ne s'y trompant pas, le public accueille avec enthousiasme cette innovation et la qualifie de "*clou*" de la nouvelle installation. *"L'illusion de ce petit panorama, très réussi très amusant, est complète, et si quelques phonographes dissimulés nous rendaient les cris variés et le tapage de toute la basse-cour, on se croirait plutôt dans un verger normand que dans l'ancien et sévère monastère des Visitandines. Un musée est triste parce qu'on sent que la vie en est absente. En montrant bêtes et animaux dans leur milieu, dans leurs actions, dans leurs mœurs, il semble qu'on les fait revivre devant nous, et le spectacle n'en est que plus attrayant."*

La façon dont les animaux sont naturalisés témoigne de l'évolution de techniques, certes (Susan Leigh Star, 1996)[89], mais aussi de conceptions et d'interrogations du vivant (texte 36). Naturaliser les animaux avec une apparence "rigide" répond à un besoin de classement et de "rangement", tandis que chercher à reconstituer une apparence de posture et les présenter dans un certain environnement traduit le développement de préoccupations plus "éco-éthologiques". Historiquement, la création des dioramas, qui proposaient une réalité en trois dimensions et qui suggéraient des relations entre quelques éléments, peut être considéré comme une première représentation modélisante (texte 3, texte 12). "*La vie*" entrait au musée, comme le commentait le journaliste rouennais, mais le visiteur, invité "*au spectacle*", restait essentiellement observateur d'une nature figée.

Avec l'introduction du vivant, non plus naturalisé mais *in vivo*, dans les musées (tels les élevages ou les grands aquariums), le public est invité à découvrir des comportements animaux et la complexité des écosystèmes. Une autre dimension est encore franchie, avec les expositions qui ne laissent plus le visiteur "extérieur", mais qui le plongent dans une modélisation de la réalité, non seulement en trois dimensions mais de surcroît vivante. Ce sont, par exemple, des reconstitutions d'écosystèmes, certes

[89] LEIGH STAR, S. (1996). Artisanat contre produit marchand, chaos contre transcendance : comment le bon outil est devenu inadéquat dans le cas de la taxidermie et de l'histoire naturelle. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences*. Paris : Synthélabo. 329-365.

simplifiés mais sauvegardant une certaine complexité, qui sont proposées au Biodôme de Montréal. Une "*nature*" est certes reconstituée, mais étiquetée et signalée, et "*le visiteur est pris entre l'illusion de réalité et l'impératif de connaissance*" (Davallon, Grandmont, Schiele, 1992)[90], l'expérience sensible proposée au public, et la désignation de la réalité, devant alors contribuer au développement d'un rapport émotionnel et cognitif à des communautés de vivants.

Des expositions, tel "*Le Jardin planétaire"* qui s'est déroulée cet hiver à la Grande Halle de la Villette à Paris, peuvent être considérées comme représentant une nouvelle approche. Une scénographie très pensée, à l'esthétique soignée tout en développant des préoccupations pédagogiques, conduit le visiteur à parcourir différents espaces multisensoriels, et le sollicite à travers différents registres, mêlant manipulations et informations, naturalistes, géologiques ou écologiques, et interrogations éthiques. Ce n'est plus seulement l'information, mais aussi l'implication du public qui sont visées.

Renouvellement de la scénographie

Importance de la scénographie pour aider le visiteur à contextualiser (extrait du texte 44)

Les deux modes de visite
La muséographie s'articule tout entière à partir d'un principe de verticalité et d'horizontalité, qui correspond aux deux modes qui sont proposés au public pour l'approche des collections. La verticalité soutient l'idée de parcours rapides à but synthétique. Ils donnent accès sur le repérage des principales étapes de l'évolution des êtres vivants, ou sur l'émerveillement de la découverte des environnements résultants, ou encore sur la compréhension de l'actualité scientifique. L'horizontalité, au contraire, ouvre sur des parcours à voie analytique et permet l'approfondissement thématique.

En plus du recours à l'analogie, les musées de sciences naturelles ont renouvelé leur scénographie. Lors de la restructuration et la modernisation des musées de sciences naturelles —Grande Galerie au Muséum de Paris, mais également les multiples musées municipaux de province—, la "*mise en scène*" d'objets de collection naturalistes prend dorénavant en compte l'indispensable contextualisation, reconstituée ou évoquée, de ce qui est présenté. En outre, les cheminements et les parcours muséologiques envisagent fréquemment soit d'aider à la structuration, soit de "*faire vivre*" virtuellement une reconstitution biologique, comme c'est le cas dans le "*Cône de l'Évolution*" imaginé pour le futur musée de Rouen. Ce sont, en reprenant l'expression de J. Guichard (1998)[91], des "*mises en scène médiatiques*", conçues pour être parcourues "*physiquement et intellectuellement*".

[90] DAVALLON, J., GRANDMONT G., SCHIELE, B. (1992). *L'environnement entre au musée.* PUL et Musée de la civilisation de Québec, p.108.
[91] GUICHARD, J. (1998). *Vers une "médiatique" des sciences : actions et problèmes*. Mémoire d'HDR : Université Paris-Sud.

Prise en compte de l'affectif et du ludique
En plus de la sollicitation de l'expérience sensible, la muséographie contemporaine développe des dispositifs et des animations qui, tout en s'appuyant sur l'affectif et le ludique, contribuent à développer un rapport expérienciel au vivant, ou à soi en tant qu'être biologique.

L'exposition "*Tous parents, tous différents"* au Musée de l'Homme, met en scène des concepts biologiques en développant aussi des aspects sociaux (texte 43). Dans la *Cité des enfants* à La Villette, les jeunes se bousculent pour découvrir l'intérieur d'une fourmilière, pour reconnaître des odeurs et des saveurs, pour expérimenter des illusions d'optique, pour tenter l'immobilisation de leurs membres par des attelles, ou pour s'effrayer en découvrant une vidéo modélisant l'intérieur de leur corps… Ailleurs, comme dans certains parcs zoologiques, les visiteurs, dépassant leur répulsion ou leur appréhension premières, sont invités à venir toucher la peau sèche et écailleuse d'un serpent…

Toutes ces formes, non scolaires, d'une familiarisation ludique du sujet au vivant semblent s'orienter vers une intégration affective, sensorielle, motrice et cognitive. L'école tente parfois une mobilisation de ces expériences, mais, malgré le développement d'études didactiques les concernant[92], la compréhension de l'articulation de ces différentes formes, scolaires et non scolaires, n'est pas encore totalement clarifiée.

3.3.4. D'autres questions à approfondir

Je propose de synthétiser, sous forme d'un tableau comparatif, les indicateurs caractérisant les changements de pratiques didactiques entre perspective expérienciel, perspective empirique méthodique et perspective expérimentale de la relation au vivant.

La question de l'articulation et de la hiérarchisation de ces différentes perspectives se pose à différents niveaux :
- selon l'âge des élèves, dans une perspective développementale,
- dans les choix successifs, à court terme pour les différentes situations d'apprentissage mises en œuvre dans un enseignement, et à long terme pour les décisions curriculaires

En particulier, l'analyse de tous les renversements didactiques que représente le passage de la découverte du vivant à l'appropriation de concepts biologiques serait à approfondir.

[92] Par exemple : BROOKE, H. & SOLOMON, J. (1998). From playing to investigating : research in an Interactive Science Centre for primary pupils. *IJSE*, vol 20, 8 : 959-971. Voir aussi l'appel à communications *Aster* 30.

Tableau comparatif des pratiques didactiques.
Perspectives expériencielle, empirique contrôlée et expérimentale

Perspective expériencielle	**Perspective empirique contrôlée**	**Perspective expérimentale**
Établir des relations au vivant	Constituer un référent empirique	Elargir le référent empirique, si possible étendre le domaine d'application des constructions conceptuelles et modélisantes
Découvrir le vivant et des pratiques sociotechniques	Décrire et catégoriser le vivant S'approprier des pratiques et des savoirs empiriques	Expliquer et modéliser le vivant Explorer les domaines de validité des constructions conceptuelles Appliquer des techniques
Le vécu et la familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes	Le vécu et le rapport pratique aux objets et aux phénomènes	Le construit et le rapport construit aux objets, la création de phénomènes
Actions, imitation et manipulations Constats	Manipulations organisées Collecte d'observations	Expérimentation Observations contrôlées
	Données hors cadre théorique	Données avec cadre théorique
	Effort de catégorisation et d'attribution	Effort d'analyse et d'objectivation
Découverte d'attributs	Recherche de régularités Corrélations empiriques	Recherche d'invariants, de relations fonctionnelles et causales. Modélisation
Dessins, récits (oral et écrit)	Descriptions, comparaisons et classements Rapports d'expérience chronique	Comptes rendus expérimentaux. Rapport d'expérimentation méthodique
Océan expérienciel	*Golfe de l'empirie*	*Réseau d'îlots expérimentaux*

Plusieurs autres interrogations nécessitent un approfondissement d'étude didactique.

· Une interrogation praxéologique conduit au besoin d'une *clarification des formes scolaires du rapport expérimental au vivant avec leurs finalités*. L'essai de catégorisation des formes de travaux pratiques dans le secondaire, proposé dans le tableau ci-dessous, représente un point de vue personnel, et dans l'état des analyses actuelles. Il est avancé avec pour perspective d'impulser une mise en débat.

Finalités culturelles	**Finalités professionnelles (quelle orientation ?)**
Références aux pratiques sociales	Référentiel de compétences
Groupes hétérogènes	Groupes homogènes et individualisation
T.P : investigations personnelles	T.P.: applications, mesures
Orientation tardive	Orientation et spécialisation, Filières

· Une autre série d'interrogations est relative à *une recherche de transposition didactique contrôlée* de protocoles scientifiques, d'instrumentation et de ressources informatiques, dans un dessein éducatif de renouvellement des pratiques.

· En outre, pour favoriser le développement d'un mode d'investigation empirique à une grande échelle, il serait indispensable *de clarifier et d'évaluer les multiples innovations* développées depuis plusieurs années, afin d'aider à des choix pertinents de sujets d'étude selon les niveaux, de situations de classe et d'aides pédagogiques, directes ou indirectes, à proposer aux élèves. Se pose aussi la question de l'élaboration et de l'évaluation *d'aides didactiques* pour ces situations.

· Les sciences de la vie *sont sciences de laboratoire* et *sciences de terrain* Les travaux de C. Orange examinent la constitution d'un référent empirique pour les études de terrain. On peut se demander aussi comment, au niveau scolaire, peuvent s'articuler la construction, à partir du terrain et à partir du laboratoire scolaire, d'un rapport expérimental au vivant. Cette question est de nouveau à mettre en relation avec les problèmes *d'articulation de modes didactiques et de registres dans une construction conceptuelle*. Ainsi le problème de l'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, se pose à moyen terme, lors de l'élaboration d'un projet éducatif par un enseignant, et à long terme, au niveau du développement d'un curriculum.

Toutes ces questions rejoignent celles qui sont en rapport avec le *développement et le renouvellement d'un curriculum,* et celles relatives à *la formation à l'expérimental des enseignants.*

3.4. Perspective curriculaire du rapport expérimental au vivant

Des outils didactiques pour aider à des décisions institutionnelles (extrait du texte 17)

Dans une perspective curriculaire, les propositions de différents modes didactiques de pratiques expérimentales peuvent contribuer à éclaircir les questions concernant la constitution et l'élargissement d'un référent empirique pour l'enseignement d'un concept d'une part, et les questions concernant l'apprentissage de compétences méthodologiques d'autre part. Pour permettre de valoriser le rôle éducatif du mode d'investigation empirique, tel qu'il est proposé par exemple dans les options de Première scientifique, il apparaît indispensable que le curriculum prenne réellement en charge les compétences développées au cours de cet enseignement, notamment au niveau des évaluations, des certifications et des examens.

Comment peuvent être abordées les activités expérimentales dans un curriculum, c'est-à-dire dans "*un ensemble d'actions planifiées pour susciter l'instruction comportant les objectifs, les contenus, les méthodes, les matériels, les dispositions relatives à la formation des enseignants*"[93] ? Un nombre important de questions peuvent être soulevées dans ce cadre problématique : quelles peuvent être les conséquences des pratiques expérimentales sur les apprentissages et sur l'image de la discipline en voie de structuration ? comment aider à effectuer des choix pour un développement ou un renouvellement de curriculum ? comment envisager la validation des apprentissages relatifs aux pratiques expérimentales ? comment penser la formation des enseignants à l'expérimental ?

3.4.1. Problèmes de construction des disciplines scolaires

Discipline académique et discipline scolaire

Le découpage en différentes sciences académiques ne correspond qu'à une récente construction intellectuelle et sociale, datant du XVIIIe siècle. Une science définit, en effet, son territoire par ses objets, ses concepts et ses méthodes : le partage des territoires et les relations hiérarchiques entre les différentes sciences représentèrent d'ailleurs un point essentiel dans la philosophie positiviste de Comte. R. Rey (1992)[94] a montré que les filières d'enseignement supérieures, avec leurs formations différenciées et leurs diplômes particuliers, ne furent pas sans conséquence sur la délimitation

[93] Définition du curriculum proposée par G. DE LANDSHEERE dans *Introduction à la recherche en éducation* (1992), cinquième édition, Armand Colin.

[94] REY, R. (1994). Naissance de la biologie et redistribution des savoirs. *Revue de Synthèse,* IV, n°1-2. Paris : Albin Michel.

ultérieure du domaine de chaque science. Une science se caractérise, en effet, par un système matériel et un système intellectuel. Elle définit ses objets d'étude, les types de questions qu'elle pose et les méthodes employées pour tenter d'y répondre, les concepts utilisés et les concepts élaborés. Par exemple, la géologie et la géographie étudient toutes deux le paysage, mais les interrogations sur celui-ci diffèrent. Dans l'acceptation épistémologique et sociologique de "*matrice disciplinaire*", Kuhn (1972)[95] considère les paradigmes qui caractérisent une *science normale* : les concepts propres à chaque science, les modèles communs à tout un ensemble de disciplines à un moment donné de l'histoire des sciences, mais aussi toutes les pratiques stabilisées par les acteurs de la recherche.

Mais une distinction nette doit être faite entre disciplines de recherche, telles qu'elles se déroulent dans les laboratoires et les universités, et disciplines qui sont enseignées à l'École. Il existe, par exemple, des disciplines scolaires qui ne correspondent pas à des secteurs de recherche : Chervel (1988)[96] montre qu'historiquement ce fut le cas de la grammaire. Actuellement, c'est le cas de domaines d'éducation, telle l'éducation civique, qui apparaît dans les "emplois du temps" scolaires sans qu'il existe de recherche sur la question. Les appellations de la discipline scolaire, relative aux enseignement-apprentissage dans le domaine des sciences biologiques et géologiques, se sont succédées assez rapidement : sciences naturelles, biologie-géologie, sciences et techniques biologiques et géologiques. La dénomination *sciences de la vie et de la Terre* (SVT), nouvelle dénomination utilisée depuis 1992, ne représente pas une discipline académique : une discipline scolaire n'est jamais une simple adaptation d'une discipline académique.

Matrice disciplinaire

La "*matrice disciplinaire*", proposée par M. Develay (1992)[97], analyse le point de vue sur la discipline scolaire privilégiée à chaque étape du curriculum. Se définissant par des objets et par des tâches, par des connaissances déclaratives et procédurales, la matrice disciplinaire permet de décrire des processus de transposition didactique, dans un sens élargi par rapport à ce qui est analysé par Chevallard, et qui inclut des questions axiologiques et praxéologiques. La matrice disciplinaire représente un complet renversement pour élaborer les contenus d'enseignement. "*Matrice*" évoque engendrer : plutôt que de toujours "descendre" des savoirs vers le contenu enseigné, il s'agit, à chaque étape d'un cursus :

- de bien penser les enjeux de cet enseignement,
20. de réfléchir aux pratiques sociales de référence et aux pratiques familières des élèves concernés,
- d'établir des objets d'enseignement et des tâches significatives et,
- en fonction des activités effectivement réalisables par les élèves, de proposer un palier de connaissances identifiables.

[95] KUHN, T. (1970, trad. française1989). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
[96] CHERVEL, A. (1988). L'histoire des disciplines scolaires. *Histoire de l'éducation*, 38. Paris : INRP
[97] DEVELAY, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris : ESF.

Matrice curriculaire

La "*matrice curriculaire*", présentée par J. Lebeaume (1999)[98], permet également un principe d'intelligibilité, cependant les recherches ne visent pas seulement la description mais la connaissance pour l'action. La matrice curriculaire met à distance la discipline académique constituée, et elle interroge davantage la construction des différentes "matières scolaires". Au lieu de penser uniquement en terme de "transposition", que l'on pourrait qualifier de "descendante", on s'interroge sur les activités scolaires, sur leurs visées, et sur la constitution progressive d'une discipline, de façon "ascendante". Par ailleurs, la matrice curriculaire prend également en compte un point de vue sociologique : ce sont les professeurs, et les responsables qui s'accordent sur un cadre d'enseignement, qui construisent une cohérence du curriculum, en cherchant à articuler visées éducatives, tâches scolaires et références.

Des disciplines scolaires et des curriculums à construire

Les pratiques des enfants diffèrent des pratiques des adultes. Les disciplines scolaires peuvent apparaître comme des découpages du réel permettant aux élèves de l'explorer et de le comprendre, ce sont donc des objets distincts, selon l'âge des élèves et la structure du curriculum. Dans le curriculum français actuel, la connaissance du vivant apparaît dans plusieurs *disciplines scolaires* successives : *Découvrir le monde* au cycle 1, *Découverte du monde* au cycle 2, *Sciences et Technologie* au cycle 3 de l'école primaire, *Sciences de la vie et de la Terre* dans l'enseignement du second degré. Ainsi, la *matrice curriculaire* permet d'intégrer que les disciplines scolaires se construisent, en se différenciant progressivement tout au long de la scolarité. Une discipline scolaire ne se confond cependant pas avec une *matière d'enseignement.* Dans la matière d'enseignement, l'attention se porte principalement sur les objets d'enseignement, alors que, dans la discipline, les méthodes sont aussi largement prises en compte. Les enseignants en formation ont d'ailleurs souvent besoin d'un certain temps pour se rendre compte qu'une discipline d'enseignement ne se limite pas à l'étude d'objets.

Après le tronc commun de curriculum, que l'on peut fixer à la fin du collège, se pose la question des enjeux sociaux de la discipline scolaire et de la légitimité de son enseignement selon les filières de formation. J.-L. Martinand (1994)[99] propose, pour caractériser les disciplines scientifiques et techniques dans l'enseignement de la fin du secondaire, de différencier si, dans une filière donnée, cette discipline apparaît comme :

- *discipline de cœur,* c'est-à-dire comme axe essentiel d'une filière de formation de futurs spécialistes, telle les SVT dans les filières scientifiques,
- *discipline de service,* qui répond aux besoins des disciplines de "cœur", telle la biologie des formations professionnelles sanitaires, sociales ou agricoles,
- *discipline d'ouverture,* qui prépare à l'accueil culturel du nouveau, tel un enseignement des sciences et des techniques comme une culture pour tous.

[98] LEBEAUME, J. (1999). *Perspectives curriculaires en éducation technologique*. Mémoire d'HDR : Université Paris-Sud.

[99] MARTINAND, J.-L. (1994a). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster* 19 : 61-76.

Les questions posées pour la constitution des différents curriculums sont alors mises en relation avec d'autres questions, concernant les politiques générales d'éducation et la politique d'emploi : quelle est la longueur des études secondaires ? quel est le pourcentage de la population qui en bénéficie ? quel est l'état de l'enseignement supérieur et professionnel ? que fait-on des compétences à la sortie de l'enseignement secondaire ?…

Pour permettre cette construction des curriculums, il serait nécessaire de réfléchir à une matrice unique pour l'enseignement de base, puis à des divergences, avec une réflexion spécifique sur chaque matrice, dans le cas où la biologie scolaire pourrait apparaître comme discipline de cœur, de service ou d'ouverture. Cela souligne, bien entendu, la nécessité de cohérence entre les différentes matrices de différentes disciplines, à un moment donné d'un cursus.

Rapport expérimental au vivant et matrice curriculaire

L'idée de matrice curriculaire sollicite donc la réflexion sur la nature des activités scolaires. Ainsi, dans une visée d'éducation scientifique, la scientificité des tâches est en jeu et l'expérimental apparaît bien comme une des caractéristiques, mais ce n'est pas la seule : j'ai avancé des propositions quant aux fonctions et aux missions du rapport expérimental au vivant à l'école (partie 3.3). Il s'agit ensuite d'articuler *fonctions et formes scolaires* du rapport expérimental au vivant dans un cursus. Ainsi, en sciences de la vie, les apprentissages doivent se faire en lien avec la diversité et la variabilité des phénomènes et des objets étudiés, la matrice pose donc la question de la genèse d'activités scolaires qui contribueraient à une éducation de type "naturaliste". En outre, le raisonnement expérimental est souvent mis en avant dans le curriculum actuel de l'enseignement de la biologie, mais j'ai argumenté de l'importance à ne pas négliger les *pratiques* dans la construction d'un rapport expérimental au vivant et de la nécessité d'articuler les perspectives expériencielles, empiriques contrôlées et expérimentales dans les apprentissages.

3.4.2. Problèmes de développement et de renouvellement de curriculum

Des interrogations

Un premier ensemble d'interrogations concerne les finalités à expliciter : s'agit-il, à un niveau donné, d'enseigner un corps organisé de connaissances disciplinaires et de méthodes, ou de contribuer à une éducation (texte 29, texte 33) ? s'agit-il d'envisager un enseignement de la biologie ou bien une éducation biologique ? Il est nécessaire que cette tension *enseigner-éduquer* soit clarifiée, car elle correspond à des choix divergents dans les décisions. Dans le curriculum actuel, il semble qu'une rupture de perspective se place au début du collège.

Un deuxième ensemble d'interrogations concerne les *cohérences, internes et externes, du curriculum*. Ainsi les différentes enquêtes effectuées (textes 8, 15, 19, 39), qui font apparaître une pauvreté des référents empiriques, construits ou évoqués, conduisent à

s'interroger sur la contribution des activités pratiques dans la compréhension du vivant, dans sa complexité, sa diversité et sa variabilité, tout au long du curriculum. Par ailleurs, les compétences travaillées lors des activités pratiques ne sont actuellement pas retenues pour les validations et les examens[100]. Les programmes actuels de SVT, au lycée, mettent en avant la nécessité d'apprentissage de "méthodes", de "démarches" et de "techniques", mais la quantité des contenus conceptuels envisagés ne permet pas de réelles investigations par les élèves. Enfin, les propos des enseignants témoignent de difficultés à articuler registre empirique et registre théorique, et à effectuer des choix alternatifs dans leurs modes d'intervention pédagogique (texte 17).

Les matrices curriculaires pourraient donc permettre de repenser efficacement le curriculum. Il s'agirait de pointer les ruptures et les permanences, d'expliciter les choix successifs et les hiérarchies, de permettre une articulation cohérente entre les visées et les formes scolaires du rapport expérimental au vivant : finalités d'enseignement ou d'éducation biologique ? fonction d'investigation ou d'illustration de l'expérimental ? a-t-on recours à l'expérimental pour explorer, pour faire émerger un questionnement, pour constituer un référent empirique ou pour valider une théorie ou un modèle ?

Des contraintes

L'élaboration de programmes scolaires est un processus extrêmement complexe, qui nécessite de multiples négociations entre différents partenaires. Mais, avant même que des choix drastiques sur les contenus soient effectués, il est nécessaire de clarifier des choix plus en amont. Par exemple, quel type de curriculum convient-il mieux de bâtir, pour permettre une cohérence avec les finalités retenues ? Convient-il mieux de construire un curriculum fermé, centré sur des contenus, ou un curriculum plus ouvert, centré sur des méthodes ? Le curriculum actuel de l'enseignement de la biologie apparaît plus ouvert à deux niveaux : à l'école primaire et dans l'option sciences expérimentales de la classe de première (mais qui doit disparaître à la rentrée 2000). L'évolution des programmes de seconde laisse envisager une possibilité d'ouverture partielle, à travers l'étude de thèmes, comme le préconisait le Conseil National des Programmes de 1991 : "*présentation par thèmes, en nombre suffisant, pour que chaque élève puisse en trouver qui l'intéressent. Ces thèmes doivent articuler pratiques expérimentales et appropriation de connaissances plus théoriques*"[101]. Mais la question de la possibilité d'un curriculum plus ouvert se pose aussi dans les filières non scientifiques, en particulier dans le cas où les disciplines scientifiques et technologiques sont construites comme des "*disciplines d'ouverture*", qui doivent donner l'occasion de s'interroger sur la place et le rôle des Sciences et de la Technique dans la société, dans des perspectives éthiques, historiques et épistémologiques.

Les logiques mises en œuvre dans l'évolution des programmes doivent aussi prendre en compte toute une série de contraintes. Voici quelques contraintes actuelles dans l'élaboration d'un programme d'enseignement de SVT :

[100] Un projet de validation, par contrôle continu, des compétences pratiques expérimentales pour le baccalauréat est en cours d'essai, en SVT et en sciences physiques.
[101] CNP, (1991). Déclaration sur l'enseignement des sciences expérimentales. *BOEN*, 8.

- Les finalités de l'enseignement de la biologie (et les points de vue sur ce qui peut apparaître comme essentiel, déterminés par les inspecteurs et les commissions de programme).
- Les contraintes institutionnelles par rapport à l'organisation de l'enseignement (horaires, effectifs...).
- L'association des sciences de la vie et des sciences de la terre.
- L'introduction de la nouveauté, mais sans trop de bouleversement (résistance aux changements et acceptation du programme par les enseignants).
- L'actualisation des connaissances.
- Les possibilités d'activités des élèves, en particulier la prise en compte des possibilités d'expérimentation.
- Le respect des contraintes éthiques, sécuritaires, pratiques et économiques du rapport expérimental au vivant

Quels contenus ?

Une contrainte forte, mais souvent sous-estimée de fait, est d'effectuer des choix : que faut-il éliminer ? qu'est-il fondamental de faire faire aux élèves ? quelle est la part respective de l'"*investigation*" et de l'"*illustration*" ? Pour permettre la construction d'un rapport expérimental au vivant, il apparaît par ailleurs nécessaire que ce ne soit pas uniquement le choix des "contenus conceptuels" qui pilote la constitution des programmes, mais qu'une place soit réservée, dans les négociations, au choix d'activités scolaires dont on connaît bien la valeur éducatrice, des activités d'investigation et de fabrication, des possibilités de projet. Dans la partie 2 de ce mémoire, j'ai présenté de multiples formes du rapport expérimental au vivant dans la recherche scientifique. Ces formes peuvent constituer des aides possibles pour penser des transpositions contrôlées et diversifier les formes scolaires.

Diversifier les pratiques expérimentales scolaires
(extrait du texte 14)

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.

Quelle séquentialisation ?

Pour pouvoir mettre en œuvre des pratiques expérimentales à l'École, il est nécessaire que le curriculum permette de dépasser la parcellisation constante de l'horaire d'enseignement et de proposer un certain nombre de plages horaires en continu. Une demande qui correspondait aux souhaits de nombreux enseignants de sciences et du CNP, en particulier au niveau du collège. "*Le Conseil National des Programmes demande la mise à l'essai à large échelle de répartitions horaires semestrielles ou annuelles, permettant à un professeur d'avoir avec une classe la totalité de l'horaire en une année. Les répartitions hebdomadaires doivent prendre en compte la durée continue nécessaire aux investigations, aux réalisations et à leur exploitation*"[102]. Mais un souhait auquel l'administration scolaire rebute le plus souvent à donner satisfaction, pour des raisons de gestion. Par ailleurs, les conditions d'enseignement des SVT au collège, sur lesquelles le rapport de l'Inspection générale de l'Education nationale alertait déjà en 1992[103], ont connu une dégradation continue, ce qui a conduit à la disparition progressive des activités et des pratiques expérimentales.

Cohérence du curriculum

Évaluation et validation

Un problème important de cohérence externe du curriculum, relative aux pratiques expérimentales concerne l'évaluation et les validations. Le plus souvent, la validation des compétences expérimentales n'est jamais réellement prise en compte dans le cursus français, j'ai d'ailleurs relevé que ce déficit d'évaluation était à l'origine de difficultés dans la mise en œuvre de l'option sciences expérimentales de première (texte 17). Pourtant, lors de l'introduction du module SCI dans le curriculum de l'Angleterre et du Pays de Galles, 20 % de la note finale en sciences de l'examen GCSE a été réservé aux travaux de laboratoire. Il a donc été indispensable que les écoles mettent au point des instruments d'évaluation pour déterminer les compétences pratiques à l'examen, ce qui ne fut pas une tâche facile (Jenkins, 1995b)[104].

Un projet de contrôle continu des travaux pratiques au lycée, contribuant à la validation des sciences physiques et des sciences de la vie et de la Terre au baccalauréat français, voit cependant le jour depuis quelques années. Prenons l'exemple de l'introduction de l'ordinateur comme outil d'investigation dans les pratiques expérimentales de sciences, étudié par une équipe INRP-Tecne (1999)[105] dans le cas de la physique. L'ordinateur est de plus en plus utilisé, alors que les nouveaux savoirs et savoir-faire requis par son utilisation ne sont, actuellement, jamais pris en compte lors d'une évaluation en fin de cycle terminal. Un bilan des savoirs et savoir-faire hiérarchisés dans l'utilisation des moyens informatisés pour l'enseignement

[102] CNP (1991). *Op. cit.*

[103] MEN, (1992). *Rapport de l'Inspection Générale de l'Éducation nationale*. Paris : La documentation Française, p. 378.

[104] JENKINS, E. (1995b). When is a policy not a policy ? School-based assessment of practical science at 16 +. *I.J.S.E.*, 17, n°5 : 555-563.

[105] BEAUFILS, D., RICHOUX, H., CAMGUILHEM, C. (1999). Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique. *Aster*, 28 : 131-148.

des sciences physiques au lycée a donc été établi, et un travail spécifique a été mené sur leurs évaluations dans le cadre d'une épreuve type baccalauréat en sciences physiques.

Cohérence des matrices curriculaires

Un autre problème est relatif à la mise en cohérence des matrices curriculaires de différentes disciplines. Ainsi, l'utilisation de l'ordinateur, dans les TP de physique au lycée, conduit à la prise en compte des incertitudes expérimentales et de leurs traitements statistiques. Des méthodes, comme celles de la régression linéaire ou des moindres carrés, correspondent à une modélisation, non seulement de la relation entre grandeurs mais aussi des incertitudes des mesures prises en référence. Les outils mathématiques de base font partie du programme de mathématiques (cohérence externe du curriculum), mais il est nécessaire d'articuler fortement les apprentissages (cohérence interne du curriculum). L'équipe INRP-Tecne a mené un travail d'innovation contrôlée, pour construire une progression articulant enseignement de mathématiques et de sciences physiques. Il a permis d'introduire, de façon coordonnée, les concepts d'incertitude, de moyenne, d'estimation, d'écart quadratique, et les méthodes statistiques pour une analyse des mesures.

Avec l'importance de la chimie dans le référent empirique du vivant, des travaux analogues seraient à mener en SVT. Il apparaît indispensable d'impulser des études didactiques de recherche de cohérence entre matrice curriculaire des sciences de la vie et matrice curriculaire de la chimie.

Constitution d'un référent empirique

Dans une perspective curriculaire, les questions concernant le positionnement des problèmes scientifiques, le domaine d'application des connaissances et les limites de validité sont à mettre en relation avec celles concernant le référent empirique, sa constitution et son extension progressive. Il est à souligner que la question particulière de l'entrée dans le référent empirique n'est, pour le moment, que rarement retenue dans le questionnement didactique.

La constitution d'un référent empirique pour l'apprentissage d'un concept biologique nécessite un ensemble d'éclaircissements et de prises de décision. Reprendre et élargir l'idée de "*cellules élémentaires*" du schéma de démarche de modélisation, proposé par Martinand[106], permet de questionner cette constitution, à court terme (articulation gérée par un enseignant dans l'apprentissage) et à long terme (à l'échelle d'un curriculum). Aussi bien à court terme qu'à long terme, un ensemble de choix sont, en effet, à effectuer pour bâtir les situations et les activités d'apprentissage : quelle expérienciation pour les plus jeunes ? comment entrer dans le référent empirique ? quel champ d'investigation ? quelles situations de référence ? quels registres empiriques ? quelles tâches pour les élèves ? quelles représentations ? quelles élaborations théoriques ? faut-il élargir le domaine de validité d'un modèle, d'une

[106] Page 104 de ce mémoire.

théorie ou d'un concept ? vaut-il mieux changer de modèle ? Toutes les composantes du schéma doivent faire l'objet de décisions précises de *continuité* ou de *rupture* : le référent (extension, description), les tâches impliquant la modélisation et les modèles. De nombreuses études didactiques sont nécessaires pour aider à expliciter tous ces choix successifs ou alternatifs.

Les propositions de modes didactiques de pratiques expérimentales peuvent, en outre, éclaircir les questions concernant la constitution d'un référent empirique et celles de formation à des démarches scientifiques. Plusieurs autres choix sont alors à faire, à court terme et à long terme.

- Dans la part respective des différentes perspectives : constitution d'un référent empirique de la perspective empirique contrôlée et de la découverte d'un concept, extension progressive de ce référent de la perspective expérimentale et de l'appropriation de ce concept.
- Dans l'articulation des registres empiriques et théoriques, et dans la hiérarchisation des différents modes didactiques, pour permettre d'établir des priorités dans les apprentissages conceptuels et méthodologiques : mode de familiarisation pratique, mode d'investigation empirique et mode d'élaboration théorique.

Se pose aussi le problème de la formation des enseignants. En effet, la matrice curriculaire d'un enseignement associe fondamentalement les interventions des enseignants à ses principes fondateurs. Les enseignants en formation ont, le plus souvent, comme seules références disciplinaires le savoir et les pratiques universitaires et/ou les souvenirs de la discipline en tant qu'ancien élève.
Pour faciliter les actions de formation, l'appropriation du questionnement lié aux matrices, aux finalités éducatives, à l'articulation des visées et des tâches scolaires les aiderait sans doute à renouveler ces références et à comprendre les spécificités de la discipline d'enseignement. Des études plus précises devraient leur permettre de repérer des permanences et des ruptures, et contribuer à la compréhension de ce qui relève obligatoirement du "fixe" et de l'"immuable", mais aussi les possibilités de "bougé" et de "mobilité" des matrices.
Par ailleurs, des actions spécifiques de formation des enseignants à l'expérimental seraient à généraliser : elles viseraient tout autant la prise en compte de l'évolution des conceptions épistémiques des étudiants et des stagiaires, la compréhension des différentes fonctions des pratiques expérimentales scolaires, que la formation pratique à la gestion des activités expérimentale en classe.

3. 4. 3. Problèmes de formation des enseignants à l'expérimental

Histoire des sciences et formation des enseignants

L'Histoire des sciences : un atout (extrait du texte 7)

L'histoire des sciences représente, sans doute, un atout important dans la formation des enseignants. Le but n'est pas de les préparer à enseigner l'histoire des sciences en tant que telle, mais de contribuer à leur formation scientifique, didactique et épistémologique, et de les faire réfléchir sur son utilisation dans l'enseignement des sciences (Balibar, 1994 ; Cantor, 1995 ; Desautels, Larochelle, Gagne & Ruel, 1993 ; Giordan, 1995 ; Martinand, 1993 ; Raichvarg, 1887 ; Rosmorduc, 1995).

Les enjeux
L'histoire des problématiques de recherche, l'histoire des concepts scientifiques, l'analyse des obstacles épistémologiques représentent un intérêt essentiel dans la formation en didactique. Une approche uniquement épistémologique de l'histoire des sciences risque, cependant, de développer une vision trop "rationaliste" et "réductrice". La prévention du scientisme demeure un enjeu essentiel dans la formation. L'histoire des sciences, en sollicitant la prise de recul, permet des analyses pertinentes sur des interactions science-technique-société. Elle peut ainsi aider le futur formateur à "prendre une décision sur ce que sont les sciences" et contribuer à lui faire prendre conscience d'un devoir de vigilance. D'autres finalités de l'utilisation pédagogique de l'histoire des sciences dans la formation s'ajoutent donc à celles concernant la formation à la didactique des sciences :

- clarifier les conceptions des futurs formateurs sur l'image de science,
- analyser quelques interactions science-technique-société (en particulier les conséquences sociales des développements scientifiques et techniques),
- contribuer au développement d'une éthique scientifique.

Quelle mise en oeuvre ?
L'histoire des sciences pour aider à comprendre et développer l'esprit critique : ce n'est donc pas le catalogue chronologique de résultats qui importe mais l'histoire des problèmes, la conscience des multiples interactions pour la production de ces résultats et l'étude des conséquences sociales de ces résultats. Par excès d'ambition, il y a risque que les futurs enseignants assimilent la démarche de recherche scientifique à du "sur-mesure" pour chaque époque et ne puissent, finalement, plus trouver d'autres points d'appui que le catalogue de résultats dénoncé plus haut. Des "études de cas" (une controverse scientifique, un développement technique...), avec un questionnement, se situant sur les interfaces des différentes approches possibles, peuvent permettre d'éviter cet écueil (Cantor, 1995).

Lors de travaux pratiques, les élèves exécutent le plus souvent des manipulations qu'ils n'ont pas conçues. En France, actuellement, il n'y a qu'à l'école élémentaire et dans le cadre de l'option sciences expérimentales de la classe de Première S des lycées, qu'il est possible de réserver le temps nécessaire à une mise en œuvre effective d'un mode d'investigation empirique. Il semble que les référents empiriques concernant l'expérimentation manquent cruellement aux étudiants et aux stagiaires. Pour remédier à ce déficit de formation épistémologique et de pratiques de recherche, plusieurs dispositifs peuvent être utiles, dont des dispositifs associant une pratique expérimentale effective et une réflexion sur cette pratique (Antheaume, 1993)[107], et des dispositifs

[107] ANTHEAUME, P. (1993). *Contribution à la définition des objectifs spécifiques et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la Biologie.* Thèse de doctorat : Université Paris 7.

ayant recours à l'histoire des sciences (textes 7 et 32). Comme ce déficit concerne tous les étudiants, y compris ceux ayant suivi un cursus scientifique, la question de la formation épistémologique des étudiants scientifiques peut être remise en avant Le recours à l'histoire des sciences permet l'évolution des conceptions épistémiques des étudiants et des enseignants stagiaires. Elle contribue aussi à la formation de son esprit critique, en l'incitant à se poser des questions sur les aspects cognitifs, sociaux et éthiques de son enseignement.

De nouvelles compétences professionnelles des professeurs

Pour les compétences attendues des personnels d'enseignement et d'éducation à l'issue de la formation, le rapport d'Inspection Générale de l'Éducation nationale (1996)[108] distingue les compétences disciplinaires, les compétences relationnelles et les compétences institutionnelles. Les compétences disciplinaires, dans ce rapport, apparaissent très variées, et recouvrent aussi bien des compétences techniques relatives à "*la mise en œuvre des moyens et techniques d'investigation et d'expérimentation (expérimentation assistée par ordinateur, techniques pratiques classiques*)", que des compétences didactiques telle la "*capacité à créer des situations d'apprentissage permettant des activités pratiques, des raisonnements scientifiques*".

Le rapport d'Inspection Générale de SVT évalue les effets de la formation initiale et estime que "*l'enseignement reste trop collectif, les séquences d'activités pratiques intégrées à la démarche sont insuffisantes, souvent théoriques et s'appuient rarement sur des documents ou illustrations concrètes (…). L'enseignement expérimental réel est tout à fait insuffisant ; dans la majorité des cas : on travaille sur papier*." Des recommandations sont avancées : "*Il faudrait toujours qu'en formation, on propose l'étude d'exemples et de cas concrets pour conduire le jeune professeur à penser aux objectifs de formation méthodologique en particulier*"[109]

Ce déficit de formation dans la pratique d'activité est également signalé au niveau des concours de recrutement. "*Les montages expérimentaux ne sont pas assez fréquemment présentés au cours des exposés. Lorsqu'ils le sont, ils doivent être fonctionnels*" (rapport Capes 1996).

Déficit de formation des futurs enseignants de SVT pour la maîtrise de compétences pratiques et techniques de l'expérimentation constatent ces différents rapports, mais déficit de formation également face à un "*métier nouveau*" pourrions-nous dire aussi, en reprenant l'expression de Meirieu (1990)[110], et à de "*nouvelles compétences professionnelles*", selon les termes de Perrenoud (1997)[111]. Ces nouvelles compétences recouvrent à la fois des compétences pédagogiques telles "*les capacités de gestion de classe dans un environnement complexe*", et didactique comme "*la capacité d'instaurer plusieurs régimes du savoir, de faire coexister des plages vouées aux*

[108] MEN, (1996). Rapport Inspection Générale. *Évaluation des effets de la formation initiale sur les compétences professionnelles des personnels d'enseignement et d'éducation.*
[109] *Op. cit.*
[110] MEIRIEU, Ph. (1990). *Enseigner, scénario pour un métier nouveau*. Paris : ESF éditeur.
[111] PERRENOUD, Ph. (1997). *Construire des compétences à l'école*. Paris : ESF éditeur Collection Pratiques et enjeux pédagogiques.

situations-problèmes avec d'autres plus propices à la progression dans un curriculum structuré ou aux exercices plus conventionnels"[112]. Concernant les compétences professionnelles d'un enseignant dans le rapport expérimental au vivant en classe, nous pourrions placer les capacités à faire des choix, à expliciter et à hiérarchiser les fonctions de l'expérimental et les différentes formes scolaires, à ne pas craindre d'affronter la matérialité des sciences, et la capacité à prendre en compte des problèmes éthiques.

Des outils didactiques pour penser la formation des enseignants

Des outils didactiques pour aider aux décisions de l'enseignant (extrait du texte 27)

Pour permettre de développer la cohérence du curriculum se pose également la question de la formation des enseignants. Une des conclusions des enquêtes réalisées pour le projet *Labwork in Science education* (Séré, 1998) était "*qu'une condition pour améliorer l'efficacité des TP est une formation des enseignants spécifique de cette stratégie d'enseignement*". Pour favoriser les pratiques expérimentales, on peut certes développer le référent empirique des enseignants stagiaires afin de leur faciliter la gestion des pannes éventuelles et des résultats inattendus. Il s'agit également de repenser la formation à des compétences professionnelles. Dans ce cadre, la compréhension des finalités d'un enseignement scientifique, de la place et du rôle de l'expérimental dans les sciences et dans les apprentissages scientifiques, de la progressivité des apprentissages et de la cohérence de la matrice curriculaire, semble indispensable. Certains outils, provenant des recherches didactiques, pourraient aider les enseignants à :

- objectiver des pratiques et favoriser une communication relative à l'expérimental dans la classe ;
- analyser la faisabilité d'activités, analyser les contraintes humaines ou matérielles ;
- clarifier des priorités d'apprentissage, pour effectuer des choix alternatifs ou successifs ;
- et enfin à mettre en place et à animer des situations qui impliquent des pratiques expérimentales.

Si encourager, promouvoir et développer la réflexion critique sur les pratiques de classe et sur les expériences représente une partie essentielle du développement professionnel des enseignants, la recherche didactique fournit des outils pour penser la formation et aider à analyser ces pratiques. Des outils, construits pour la recherche relative aux pratiques expérimentales dans l'enseignement (telle la grille d'analyse des fonctions de l'expérimental), ou par la recherche (telle la grille d'analyse des modalités d'intervention pédagogique selon les différents modes didactiques de pratiques expérimentales) peuvent, en effet, être utiles en formation des professeurs de lycée et de collège.

[112] PERRENOUD, *op. cit.* p. 84.

Prenons le cas de la formation des professeurs des écoles à l'expérimental. Les professeurs des écoles, enseignants spécialistes des apprentissages des élèves de l'école primaire, se doivent d'"*initier les élèves à certains aspects de la démarche scientifique*". Dans la perspective de construction de formation pour l'enseignement expérimental, une enquête, réalisée conjointement avec R. Flageul (texte 15) par questionnaire auprès de 201 professeurs des écoles stagiaires a permis l'identification et l'analyse en termes de "*représentations-obstacles*" des conceptions des professeurs des écoles stagiaires sur l'expérimentation. Dans ces conceptions, les conceptions dualistes sont majoritaires, l'approche empiriste est valorisée, la priorité est accordée à l'aspect "*pratique*" et "*concret*" de l'expérience, et les propositions relatives au raisonnement ou à la mise à l'épreuve d'idées sont peu présentes. Si on considère le cadre épistémique de ces sujets, ces conceptions nous semblent représenter un obstacle dans la compréhension de ce qu'est une expérimentation. Des tentatives de remédiation, et des situations de formation, bâties autour de l'obstacle que peut représenter une confusion entre manipulation et expérimentation, ont été mises en œuvre, dans plusieurs groupes de stagiaires. Le tableau ci-après, repris et adapté du réseau dynamique d'Astolfi et Peterfalvi (1993)[113], analyse les représentations-obstacles relatives au concept d'expérimentation et suggère des actions de remédiation.

Pour que l'expérimentation du vivant ne se réduise pas à ce seul aspect, il apparaît nécessaire que les autres activités de formation permettent aux stagiaires de s'approprier quelques pratiques expérimentales sur du matériel biologique, simples à mettre en œuvre (par exemple concernant la biologie végétale, ou l'initiation à l'étude de comportements d'animaux comme les *preferendum*). Une priorité de formation peut se situer dans la préparation à la mise en œuvre et à l'animation de situations éducatives favorisant l'expérienciation du vivant par les jeunes, des perspectives d'empirie contrôlée ou d'initiation expérimentale pour les plus âgés.

La recherche didactique produit des outils théoriques pour aider à penser la formation ou aider à analyser les pratiques. Elle fournit aussi des données empiriques qui peuvent ensuite servir de ressources pour la réalisation de document de formation, comme le film vidéo sur la construction et l'exploitation d'un terrarium au cycle 2, que nous avons réalisé à l'IUFM de Rouen, dans le cadre de la recherche coopérative IUFM/INRP (texte 47).

La didactique permet également de penser la création de documents pédagogiques innovants et de "guides du maître", qui ont pour visées d'aider et d'accompagner les enseignants dans la mise en œuvre de ces activités dans les classes (textes 2, 49). Ainsi, les guides pédagogiques de la collection *Gulliver* ont pour objectifs de :

- présenter des informations sur les conceptions des élèves et les obstacles éventuels à l'apprentissage,

[113] Proposé dans un autre contexte puisqu'il s'agissait des obstacles à la construction de concepts scientifiques. ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16 : 103-142.

- de fournir des mises au point sur les contenus notionnels et des explications sur les documents du manuel de l'élève,
- mais aussi de proposer des pistes pour favoriser une réelle mise en pratique (informations sur la conduite des activités des élèves et en particulier sur les phases d'investigation et d'expérimentation).

La recherche coopérative actuelle IUFM Rouen/INRP "*la main à la pâte*" a pour but d'analyser l'aide ou l'obstacle que représente l'utilisation par les stagiaires du site informatique *lamap*, pour aider à mutualiser des pratiques et mettre en œuvre des activités scientifiques dans les classes.

La posture de recherche que j'ai prise a pour but de clarifier l'épistémologie scolaire, avec une perspective de ne pas limiter l'expérimentation scolaire à des fonctions de scientificité, mais de considérer aussi des fonctions éducatives élargies. Les orientations de travaux, engagés ou à développer, souhaitent être des contributions à la connaissance des pratiques expérimentales en classe et à leurs enjeux éducatifs. Ils ont pour but de contribuer à analyser les fonctions et les formes scolaires du rapport expérimental au vivant. Ils doivent permettre d'apporter des éléments pour pouvoir penser les multiples décisions, à court terme et à long terme, les concernant, et pour aider à penser la formation les enseignants

Les représentations-obstacles relatives à expérimentation (extrait du texte 15)

Représentation - obstacle	Réseau d'idées associées qui expliquent la résistance à l'obstacle	Ce que l'obstacle empêche de comprendre	Objectif-obstacle	Conditions de possibilité de franchissement de l'obstacle	Concept visé
Observer c'est expérimenter. Ce qui relève de l'observation est une expérience	L'observation du réel m'apporte une connaissance. Les phénomènes naturels ne doivent pas être perturbés, pour pouvoir les comprendre.	Expérimenter, c'est créer des conditions artificielles pour comparer des observations, des résultats. L'expérience est une observation provoquée. Expérimenter c'est intervenir de façon consciente dans le déroulement d'un phénomène, en vue de provoquer une modification observable.	C'est en imaginant et en créant artificiellement une situation nouvelle que l'expérimentateur peut connaître.	Il est possible d'observer sans expérimenter. Il est possible d'observer les résultats d'une expérience involontaire.	Expérimenter c'est créer un phénomène et les conditions nécessaires au déroulement contrôlé ou non. L'observation est nécessaire pour collecter les résultats d'une expérience.
Manipuler, c'est expérimenter. Expérimenter, c'est manipuler.	Les scientifiques utilisent des outils souvent sophistiqués d'un maniement complexe. Exécuter une "manip", des Travaux Pratiques.	Expérimenter c'est imaginer des hypothèses plausibles, des protocoles expérimentaux, c'est un travail intellectuel Le matériel est utile pour la réalisation effective de l'expérience, pour aider les sens de l'homme, pour stocker l'information, ou pour simuler.	C'est l'activité intellectuelle qui est nécessaire pour imaginer un environnement artificiel favorable à l'observation et la simulation.	Il est possible de concevoir des expériences sans les réaliser immédiatement. Observation de phénomènes rapides, lents. Utilisation de substituts artificiels à des produits ou des phénomènes naturels.	C'est l'activité intellectuelle qui permet de créer l'environnement matériel qui est nécessaire pour réaliser, collecter et stocker les résultats de l'expérience.
Chercher, c'est expérimenter. Expérimenter, c'est chercher	Les chercheurs font des expériences à partir de leurs connaissances antérieures. On fait des expériences pour chercher, trouver les réponses à une question, à un problème.	Expérimenter c'est avoir un cadre de référence et une solution (explication) plausible. Chercher n'implique pas une maîtrise de tous les paramètres.	Le cadre de référence est antérieur à l'expérimentation.	Comparaison d'expériences à valeur heuristique avec des expérimentations. La résistance du réel ne permet pas la réalisation de toute expérimentation.	Lors d'une expérimentation, on met à l'épreuve une hypothèse ou un modèle.
Collecter des informations, c'est expérimenter Expérimenter c'est recueillir des informations	Recueillir des données c'est expérimenter. Les scientifiques recueillent énormément d'informations.	Expérimenter, c'est contrôler le plus possible de paramètres, en maîtrisant les valeurs de la variable mise en jeu pour tester le modèle ou recueillir des données.	La maîtrise de " tous " les paramètres d'un dispositif est nécessaire pour pouvoir expérimenter.	Les résultats de 2 situations différant par une seule variable peuvent être comparés, et nous informer. L'expérience témoin est gage de maîtrise des paramètres.	C'est la comparaison entre les résultats (ceux prévus et ceux observés) qui nous informe.
Prouver, démontrer c'est expérimenter Expérimenter c'est prouver, démontrer	Le raisonnement, la logique peuvent prouver, démontrer (en mathématiques). Idée de preuve expérimentale	Expérimenter, c'est confronter au " réel " une solution provisoire pour la réfuter ou la conforter.	L'expérience ne prouve pas, mais elle peut réfuter.	Les résultats différents de ceux attendus sont souvent très intéressants dans une recherche.	C'est par la réfutation expérimentale, la mise en débat et la conviction des pairs que se fait le "travail de la preuve"

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

SCIENCES BIOLOGIQUES

CHANGEUX, J.-P. (1983). *L'homme neuronal*. Paris : Fayard.

CHEVALLIER, F. (1984). *Systèmes et modèles. Une introduction à la méthode des indicateurs*. Paris : Éditions du CNRS.

COLLECTIF, (1995). *Livre blanc sur l'expérimentation animale*. Paris : CNRS/INSERM.

HAILA, Y. (1996). Mesurer la nature : données quantitatives en biologie de terrain. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences*. Paris : Synthélabo. 300-328.

HOUSSAY, F. (1908). *Nature et sciences naturelles*. Paris : Flammarion

PICARD, E. (1905). *La science moderne et son état actuel*. Paris : Flammarion

PRAT, R. (1993). *L'expérimentation en physiologie végétale*. Paris : Hermann collection Méthodes.

SABOURDY, M. (1967). *L'animal de laboratoire dans la recherche biologique et médicale*. Paris : PUF.

SCHWARTZ, D. (1994). *Le jeu de la science et du hasard. La statistique et le vivant*. Paris : Flammarion.

TAMBOURIN, P. (1992). Réflexions sur l'expérimentation animale. *Bulletin APBG*, 3 : 555-559.

ÉPISTEMOLOGIE, PHILOSOPHIE ET HISTOIRE DES SCIENCES

Sources

BACON, F. (1620). *Novum Organum*. In Trabucco (introduction et notes, s.d.). Paris : La renaissance du livre, Collection les cent chef-d'œuvre étrangers.

BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. (réedition 1984). Paris : Flammarion.

BERNARD, C. *Principes de Médecine expérimentale*. Paris : PUF (publié en 1947).

BUFFON, (1778). *Histoire naturelle, générale et particulière*. Supplément.

DARWIN, Ch. (éd. française 1868). *De la variation des animaux et des plantes sous l'action de la domestication*.

GRATELOUP, L.-L. (1957). *Expérience-connaissance*. Choix de textes. Paris : Hachette collection Textes et documents philosophiques.

MILNE EDWARDS, H. (1867). *Rapport sur les progrès récents des sciences zoologiques en France.* Ministère de l'Instruction Publique

PASTEUR, L.. *Écrits scientifiques et médicaux*. Choix et notes par A. Pichot (1994). Paris : Garnier-Flammarion.

SENEBIER, J. (1774). *Essai sur l'art d'observer et de faire des expériences*. Genève.

Epistémologie, éthique et philosophie des sciences

BACHELARD, G. (1953). *Le matérialisme rationnel*. Paris : PUF (rééd. 1990).

BACHELARD, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique.* Paris : Vrin (rééd. 1967).

BACHELARD, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : Alcan (rééd. PUF 1968).

BAJA, R. (1969). *La méthode biologique*. Paris : Masson.

BLANCHÉ, R. (1975). *L'induction scientifique et les lois naturelles*. Paris : PUF.

CAILLEUX, A. (1963). L'Expérience. XXIVe semaine de synthèse. *Revue de synthèse* 29-31. Paris : Albin Michel. 108-114.

CANGUILHEM, G. (1977). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie.* Paris : Vrin (2e éd. 1981)

CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin (2e éd. 1980).

CANGUILHEM, G. (1961). Techniques et problèmes de la physiologie au XIXe siècle. In R. Taton (dir.), *Histoire générale des Sciences*, tome 3, La science contemporaine, le XIXe siècle. Paris : PUF. 480-484.

CANGUILHEM, G. (1961). Nécessité de la diffusion scientifique. *Revue de l'enseignement supérieur*, 3.

CANGUILHEM G. (1947). Note sur la philosophie biologique. *Revue de métaphysique et de morale*, juillet-octobre 1947.

CHALMERS, A. (1976). *Qu'est-ce que la science* ? Paris : La Découverte (1987 trad.).

COLLECTIF, (1995). *Livre blanc sur l'expérimentation animale*. Paris : INSERM/CNRS éditions

CONTREPOIDS, A. (1993). L'expérimentation animale, de l'indifférence au droit. *La Recherche*, 258 : 1180-1188.

DAGOGNET, F. (1994). *Pasteur sans légende*. Paris : Synthélabo. Réédition de *Méthodes et doctrines dans l'œuvre de Pasteur* (1970).

DAGOGNET, F. (1988). *La maîtrise du vivant.* Paris : Hachette.

DAGOGNET, F. (1984). Préface. In C. Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Champs Flammarion.

DAGOGNET, F. (1975). *Pour une théorie générale des formes.* Paris : Vrin.

DEBRU, C. (1998). *Philosophie de l'inconnu : le vivant et la recherche*. Paris : PUF.

DOROLLE, M. (1930). *Cours de logique*. Paris : PUF.

FEYERABEND, P. (trad. 1979). *Contre la méthode*. Paris : Seuil.

FONTENAY de, E (1999). Et s'ils dormaient et que nous veillions ? *Res Publica*, 20 : 4-15.

FONTENAY de, E. (1991). La bête est sans raison. *Alliage*, 7-8 : 13-24.

FOUREZ, G. (1988). *La construction des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université (rééd. 1992).

GAYON, J. (1993). La Biologie entre loi et histoire. *Philosophie*, 38 : 30-57. Paris : Editions de Minuit.

GOLSTEIN, K. (1951). *La structure de l'organisme*. Paris : Gallimard (1934).

GOULD, S. J. (1987). *Un hérisson dans la tempête*. Traduction 1994. Paris : Grasset.

GRMEK, M. (1997). *Le legs de Claude Bernard.* Paris : Fayard, p. 345.

GRMEK, M. (1997). *L'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité*. Paris : Les empêcheurs de penser en rond.
GRMEK, M. (1990). *La première révolution biologique*. Paris : 1990.
GRMEK, M. (1973). *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*. Genève-Paris : Droz.
HACKING, I. (1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Christian Bourgois éditeur.
HAILA, H.(1996).Mesurer la nature : données quantitatives en biologie de terrain. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo. 300-328.
ISRAEL, G. (1996). *La mathématisation du réel*. Paris : Seuil
JACOB, F. (1970). *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*. Paris : Gallimard.
KUHN, T. (1970, trad. 1989). *Structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge : Cambridge University Press.
LAZLO, P. (1993). *La parole des choses*. Paris : Hermann.
LECOURT, D. (1996). *Prométhée, Faust, Frankenstein. Fondements imaginaires de l'éthique*. Paris : Synthélabo.
LEGAY, J.-M. (1997). *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*. Paris : INRA éditions.
LE MOIGNE, J.-L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Paris : PUF Que sais-je ?
MIQUEL, J. (1965). *L'empirisme*. Paris : Armand Colin.
MOULIN, A-M. (1995). La rivalité des deux pères de la médecine reste bien vivante. *La Recherche*, 279 : 906-911.
MULLER-HILL, B. (1989). *Science nazie Science de mort*. Paris : Odile Jacob.
PICHOT, A. (1991). *Petite phénoménologie de la connaissance*. Paris : Aubier philosophie.
PICHOT, A. (1990). La vie entre la nature et l'artifice. In J.-Ch. Goddard (dir.), *La Nature*. Paris : Vrin. 243-256.
POPPER, K. (1972). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
REY, R. (1994). Naissance de la biologie et redistribution des savoirs. *Revue de Synthèse*, IV, n°1-2. Paris : Albin Michel.
SCHRÖDINGER, E. (1945). *What is life ?*. Cambridge : Cambridge University Press. Paris : Christian Bourgois (édition française 1986).
STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : La Découverte.
STENGERS, I. (dir.) (1987). *D'une science à l'autre. Des concepts nomades*. Paris : Seuil.
TINBERGEN, N. (1963). On aims and methods of Ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20. Cité in J.-C. Filloux & J. Maisonneuve (dir.), *Anthologie des Sciences de l'Homme*. (1993), tome 2, p. 326.

Histoire des sciences, histoire de l'enseignement des sciences

BELHOSTE, B. (1994). *Les sciences dans l'enseignement secondaire français*. Tome 1 : 1989-1914. Paris : INRP/Economica.

CANTOR, M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Nice : Z'éditions, collection Investigations.

CANTOR, M. (1995). À la conquête des germes. In F. Balibar & M.-L. Prévost (coord.), *Pasteur Cahiers d'un savant.* Paris : CNRS éditions. 121-136.

CHERVEL, A. (1988). L'histoire des disciplines scolaires. *Histoire de l'éducation*, 38. Paris : INRP.

DUBOS, R. (1995). *Louis Pasteur, Franc -tireur de la science*. Paris : La Découverte, (rééd. PUF 1955).

EIDELMAN, J. (1988). La création du Palais de la Découverte à la fin des années 1930. In B. Schiele & D. Jacobi (coord.), *Vulgariser la science*. Champ Vallon.

HEIDELBERGER, M. & THIESSEN, S. (1981). *Natur und Erfahrung.* Munich : Deutsches Museum.

HOLMES, F. (1996). Manomètres, coupes minces de tissu et métabolisme intermédiaire. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo. 201-226.

LEIGH STAR, S. (1996). Artisanat contre produit marchand, chaos contre transcendance: comment le bon outil est devenu inadéquat dans le cas de la taxidermie et de l'histoire naturelle. In A. Clarke & J. Fujimura (dir.), *La matérialité des sciences*. Paris : Synthélabo. 329-365.

LICOPPE, C. (1996). *La formation de la pratique scientifique*. *Le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820).* Paris : La Découverte.

MAYR, E. (1982). *Histoire de la biologie. Diversité, évolution et hérédité*. Paris : Fayard, (traduction 1989).

PICHOT, A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris : Gallimard coll. tel.

RAICHVARG, D. (1995). *Louis Pasteur l'empire des microbes*. Paris : Découvertes Gallimard.

RAICHVARG, D. & JACQUES, J. (1991). *Savants et Ignorants, une histoire de la vulgarisation des sciences*. Paris : Seuil.

ROGER, J. (1971). *Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIIIe siècle*. Paris : Colin.

SALOMON-BAYET, C. (1978). *L'institution de la science et l'expérience du vivant.* Paris : Flammarion

SALOMON-BAYET, C. & *al*. (1986). *La révolution pastorienne*. Paris : Payot.

VILLEY, R. (1979). *Histoire du diagnostic médical*. Paris : Masson

PSYCHOLOGIE

BASTIDE, G. (1962). L'expérience morale. L'Expérience. XXIVe semaine de synthèse. *Revue de synthèse* 29-31. Paris : Albin Michel. 307-320.

VERGNAUD, G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud, J.-P.

Bronkart, *Psychologie*. Paris : Gallimard, *Encyclopédie de la Pléiade.* 821-844
VYGOTSKI, L. (traduction et édition 1985). *Pensée et Langage*. Paris : Messidor.
WALLON, H. (1947). *Les origines de la pensée de l'enfant. Tome 2. Les tâches intellectuelles*. Paris : PUF

ANTHROPOLOGIE, SOCIOLOGIE

CHAPOUTHIER, G. (1992). *Les droits de l'animal.* Paris : PUF Que sais-je ?
CLARKE, A. & FUJIMURA, J. (dir.) (1996). *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo.
CONTREPOIDS, A. (1993). L'expérimentation animale. De l'indifférence au droit. *La Recherche,* 258 : 1181-1188.
GOODY, J. (1979). *La raison graphique*. Paris : Les éditions de Minuit.
GRAVEN, J. (1965). *L'homme et l'animal*. Paris : Encyclopédie Planète
LATOUR, B. (1989). Pasteur et Pouchet : hétérogenèse de l'histoire des sciences. SERRES, M. (dir.) *Éléments d'histoire des sciences*. Paris : Bordas. 423-446.
LATOUR, B. (1989). *La science en action*. Paris : La Découverte.
LATOUR, B., WOOLGAR, S. (1979). *La vie de laboratoire, la production des faits scientifiques.* Paris : La Découverte (traduction 1988).

SCIENCES DE L'ÉDUCATION

COLLECTIF (1972). *Les mouvements de rénovation pédagogiques par eux-mêmes*. Paris : ESF.
DENTANT, V. & FOUREZ, G. (2000). L'éducation scientifique au Royaume-Uni : des souhaits. *Courrier du CETHES*, 44 : 23-45. Namur.
DEVELAY, M. (1996). *Donner du sens à lÉcole.* Paris : ESF éditeur Collection Pratiques et Enjeux Pédagogiques.
DEVELAY, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris : ESF éditeur.
DEWEY, J. (1938). *Logique. La théorie de l'enquête*. Paris : PUF (rééd. 1993).
DEWEY, J. *Expérience et éducation*. Paris : Armand Colin. Cité in J. Houssaye (dir.) (1995), *Quinze pédagogues, Textes choisis*. Paris : Arman Colin. 124-125.
DUBORGEL, B. (1983). *De l'iconoclasme scolaire à la culture des songes.* Paris : Le sourire qui mord.
FABRE, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
FABRE, M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.
LEGRAND L. (1980). Freinet aujourd'hui. *Perspectives,* X, 3 : 389-390.
MEIRIEU, Ph. (1990). *Enseigner, scénario pour un métier nouveau.* Paris : ESF éditeur.
MEIRIEU, Ph. (1987). Apprendre…oui, mais comment. Paris : ESF éditeur.
MONTAGNER H. (dir.) (1995). *L'enfant, l'animal et l'école*. Bayard éditions/AFIRAC.
PERRENOUD, P. (1997). *Construire des compétences dès l'école*. Paris : ESF éditeur Collection Pratiques et Enjeux Pédagogiques..

Perspectives didactiques
BARBIER, J.-M. (dir.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action.* Paris : PUF.
COQUIDÉ, M. & VANDER BORGHT, C. (1998). Des recherches en didactique de la biologie : finalités, problématiques, concepts et productions (1988-1998). *Aster*, 27 : 95-124.
DEVELAY, M. (dir.) (1995). *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines.* Paris : ESF éditeur.
DUMAS-CARRÉ, A. & WEIL-BARAIS, A. (dir.) (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique.* Berne : Peter Lang.
HOST, V. (1991). Les paradigmes organisateurs de l'enseignement de la biologie. *Cahiers Pédagogiques*, 298 : 28-32.
JOHSUA, S. (1998). Des "savoirs" et de leur étude : vers un cadre de réflexion pour l'approche didactique. *Année de la Recherche en Sciences de l'Education*. Paris : PUF. 79-87.
MARTINAND, J.-L. (1987). Quelques remarques sur les didactiques des disciplines. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*. Caen, CERSE. 1.2 : 23-35.
MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
VERGNAUD, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M. Barbier (dir.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action.* Paris : PUF. 275-292

Apprentissages
ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B., VÉRIN, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences.* Paris : Retz.
ASTOLFI, J.-P., CANTOR, M., PRUDOR, P. (1996), *Analyse des ateliers pédagogiques pour la réussite scolaire, organisées par le Conseil général des Hauts-de-Seine*. Étude subventionnée par la Délégation Interministérielle à la Ville. Université de Rouen.
ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16 : 103-142.
ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B., VERIN, A. (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
ASTOLFI, J.-P. (dir.) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
BOYER, C. (1998). *Conceptualisation de la reproduction végétale à l'école primaire*. Thèse de doctorat : Université Paris 5.
CANTOR, M. (1996). Réhabilitation de la diversité et besoin d'unité. "Les spécificités de la biologie et de son enseignement". *Trema*, 9 : 55-64. IUFM de Montpellier.
COQUIDÉ-CANTOR, M. & SCHNEEBERGER, P. (1997). Un modèle d'apprentissage constructiviste comme guide pour l'élaboration d'un manuel scolaire. *Grand N*, 60 : 87-111. IREM Grenoble.
COLLECTIF (1983). Éveil scientifique et modes de communication. *Recherches pédagogiques* 117. Paris : INRP.
COLLECTIF (1974). Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. *Recherches pédagogiques* 70. Paris : INRP.

COLLECTIF (1973). Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. Objectifs, méthodes, moyens. *Recherches pédagogiques* 62. Paris : INRP.
COQUIDÉ, M. & PRUDOR, P. (1999). *Analyse d'ateliers scientifiques animés par des associations de culture scientifique et technique*. Étude subventionnée par le Ministère de l'Education nationale, de la Recherche et de la Technologie, réalisée pour le Ministère chargé de la recherche (DISTNB). IUFM Rouen.
DEMOUNEM, R. & ASTOLFI, J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la Vie et de la Terre*. Paris : Nathan.
DE VECCHI, G. & GIORDAN, A. (1987). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que "ça marche"*. Nice : Z'éditions.
GAY, A. et *al*. (1996). Images biologiques et activités de diagnostic d'élevage. *Aster*, 22 : 195-216.
GIL-PEREZ, D. (1993), Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster,* 17 : 41-64.
GINSBURGER-VOGEL, Y. (1987). *Apprentissages scientifiques au collège et pratiques documentaires.* INRP.
GINSBURGER-VOGEL, Y.& ASTOLFI, J.-P. (1987). Sur la lecture des manuels de biologie. *Aster* 4 : 33-64
GIORDAN, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Belin.
GIORDAN, A., GIRAULT, Y. & CLÉMENT, P. (dir) (1994). *Conceptions et connaissances.* Berne : Peter Lang.
GIORDAN, A. (dir.) (1983). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang (2e éd. 1987).
GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion.
GOIX, M. (1997). Grandir : oui mais comment ? *Aster,* 24 : 113-140.
JONNERT, P. & VANDER BORGHT C. (1999). *Créer des conditions d'apprentissage*. Bruxelles : De Boeck.
LARCHER, C. (coord.) (1995). *Développement des activités scientifiques et technologiques à l'école élémentaire, rapport sur les expérimentations nord-américaines et leur comptabilité avec le contexte français*. Paris : INRP.
LE MEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1995). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.
RUMELHARD, G. (1997). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques. *Aster,* 24 : 13-36.
RUMELHARD, G. (1992). L'enseignement de la biologie comme culture. *Aster*, 15 : 145-167.

Rapport au savoir

CHARLOT, B. (1997). *Du rapport au savoir. Éléments pour une théorie*. Paris : Anthropos.
CHARLOT, B., BAUTIER, E., ROCHEX, J.-Y. (1992). *École et savoirs dans les banlieues... et ailleurs*. Paris : Armand Colin.
CHARTRAIN, J.-L. (1998). *Différenciation scolaire et conceptions des élèves.* Mémoire de DEA : Université Paris 5.

FONTAINE, V. (1997). *L'écriture dans l'enseignement des sciences*. Mémoire de DEA : ENS Cachan.
KALALI, F. (1997). *Étude et analyse des stratégies de motivation dans l'enseignement et la vulgarisation de la biologie*. Thèse de doctorat : Université Paris 7.

Conceptions sur l'expérimental

CANTOR, M. (1996). Les pratiques d'activités scientifiques : une enquête auprès d'instituteurs. *La formation initiale des professeurs des écoles en sciences et technologie*. Paris : INRP. 56-60.
DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1 : 49-68.
DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster*, 17 : 13-39.
FLAGEUL, R. & COQUIDÉ, M. (1999). Conceptions d'étudiants professeurs des écoles sur l'expérimentation et obstacles corrélatifs à sa mise en œuvre à l'école élémentaire. *Aster,* 28 : 33-56.
GUILBERT, L., MELOCHE, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? *Didaskalia*, 2 : 7-30.
HASHWEH, M. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, n°1 : 47-63.
LIKA, I. (1999). *La place des activités pratiques dans l'enseignement de la biologie au lycée. Interviews de trois enseignants*. Mémoire de DEA : ENS Cachan.
ORLANDI, E., (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13 :111-132.
SAINT GEORGES, M. (1998). *La pratique expérimentale en classe :le point de vue des enseignants*. Document interne INRP.
SÉRÉ, M.-G. (coord.) (1998). *Labwork in Science education*. Final Report. Commission européenne.
VIALLE, B. (1998). *Étude des conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. Analyse de trois cas à propos de la biologie des levures en option sciences expérimentales, en classe de première S*. Mémoire de DEA : ENS Cachan.

Modèles et référents

DESBEAUX-SALVIAT, B. (1997). *Un modèle biologique, le cycle de Krebs : découverte, diffusion, enseignement à l'université et au lycée*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud.
GUILLON, A. (1996). *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et de deuxième année d'université*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud.
MARTINAND, J.-L. (à paraître). Apprendre à modéliser. *Actes du Colloque de Trois-Rivières.* Québec.
MARTINAND, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995*. ENS Cachan.

MARTINAND, J.-L. (dir.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
MARTINAND, J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
ORANGE, C. (coord.) (1998). "Réel de terrain", "réel de laboratoire" et construction de problèmes en biologie-géologie. Rapport final de la recherche coopérative IUFM Caen et Nantes/INRP coordonnée par C. Larcher *L'expérimental dans la classe*. Document interne INRP.
ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
RUMELHARD, G. (1988). Statut et rôle des modèles dans le travail scientifique et dans l'enseignement de la biologie. *Aster*, 7 : 21-48.

Le rapport à l'expérimental

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.
BOMCHIL, S., & DARLEY, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, 26 : 85-108.
BRUNET, P. (1996). *Le statut de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie.* Mémoire de DEA : ENS Cachan.
CANTOR, M. (1996). Un atelier implicatif : "vivant" ou "non vivant". *Trema*, 9 : 169-176. IUFM de Montpellier.
CAUZINILLE-MARMÉCHE, E., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.
COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster,* 26 : 109-132.
COQUIDÉ, M., BOURGEOIS-VICTOR, P., DESBEAUX-SALVIAT, B. (1999). "Résistance du réel" dans les pratiques expérimentales. *Aster,* 28 : 57-78.
COMTE, M.-J. (1994). *Approche des odeurs et des saveurs à l'école élémentaire.* Thèse de doctorat : Université Paris 7 Denis Diderot.
DARLEY, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia,* 9 : 31-56.
DARLEY, B. (1992). L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux de biologie à l'Université. Analyse et propositions. Thèse de doctorat : Université Grenoble 1
DOWNIE, R., MEADOWS, J. (1995). Experience with a dissection opt-out scheme in university level biology. *Journal of Biological Education,* 29 : 187-194.
GALIANA, D. (1999a). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *Aster,* 28 : 9-32.
GALIANA, D. (1999b). *Problèmes didactiques posés par l'enseignement expérimental de la biologie dans les classes scientifiques des lycées. Cas de la photosynthèse*. Thèse de doctorat : Université Paris-Sud.
GOHAU, G. (1992). Esprit déductif versus esprit inductif. *Aster,* 14 : 9-19.
GOTT, R., DUGGAN, S. (1996). Practical work : it role in the understanding of

evidence in science. *I.J.S.E.*, 18, n°7 : 791-806.
HODSON, D. (1993). Philosophic stance of secondary school science teachers, curriculum experiences, and children's understanding of science : some preliminary findings. *Interchange*, 24 : 41-52.
JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster,* 8 : 29-54.
KALALI, F. (1997). *Étude et analyse des stratégies de motivation dans l'enseignement et la vulgarisation de la biologie*. Thèse de doctorat : Université Paris 7.
KASSOU, S. (1993). *Éléments pour l'analyse didactique du statut de l'expérience dans l'enseignement de la biologie : le cas de la photosynthèse.* Thèse de Doctorat : Université Paris 7.
LACOMBE, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience. *Aster,* 8 : 17-28.
LAUGIER, A., LEFEVRE, R. (1993). Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen. *Aster*, 16 : 143-170.
LAZAROWITZ, R., TAMIR, P. (1994). Research on using Laboratory instruction in Science. *Handboock of research on science teaching and learning.* New York : Mac millan Publishing Company. 94-128.
LIKA, I. (1999). *La place des activités pratiques dans l'enseignement de la biologie au lycée*. Mémoire de DEA : ENS Cachan
MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9 : 9-30.
NDIAYE, V. (1990). *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans les Travaux Pratiques universitaires de biologie.* Thèse de doctorat : Université Lyon 1.
NOTT, M., WELLINGTON, J. (1996). When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *I.J.S.E.*, 7 : 807-818.
RAICHVARG, D. (1997). L'expérimentation scientifique, décoder le réel. *TDC* 741.
RALPH, C. (1996). The Illusion of the Instructional Biology Laboratory. *The American Biology Teacher*, 58, n° 3: 142-146.
RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In Collectif, *La problématique d'une discipline à l'autre*. Paris : Adapt. 157-177.
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.
SCHNEEBERGER, P., & RODRIGUEZ, R. (1999). Les lycéens face à une investigation à caractère expérimental : un exemple en classe de Première S. *Aster,* 28 : 79-106.
SÉRÉ, M.-G. (coord.) & *al.* (1998). Quelques résultats des enquêtes réalisées en Europe à propos des Travaux pratiques. *Labwork in Science Education,* Document 11. Commission Européenne.
SÉRÉ, M.-G. (1992). Le déterminisme et le hasard dans la tête des élèves. Ou : de l'utilité du traitement statistique des mesures. *BUP,* 740 : 87-96.
SOLOMON, J., DUVEEN, J., HALL, S., (1994). What's happened to biology investigations ?. *Journal of Biological Education,* 28 : 261-268.
SZTERENBARG, M. (1991). Élaborer l'idée d'expérience. *Aster*, 12 : 61-90.
VÉRIN, A. (1992). Raisonnement et écriture à propos d'activités expérimentales au collège. *Aster*, 14 : 103-126.

WHITE, R. (1996). The link between the laboratory and learning. *I.J.S.E.*, 18, n°7 : 761-774.

Instrumentation

BEAUFILS, D., SALAMÉ, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ?. *Aster,* 8 : 55-80.
DUVAL, J.-C., SALAMÉ, N. (1991). *L'informatique scientifique dans l'enseignement de la biologie et de la géologie au lycée.* Paris : Actes du colloque ENS-INRP.
GINGRAS, Y., & GODIN, B. (1997). Expérimentation, instrumentation et argumentation. *Didaskalia,* 11 :151-162.
RABARDEL, P. (1988). *Les activités avec instruments*. Mémoire de HDR : Université Paris 8.

Perspectives curriculaires

ANTHEAUME, P. (1993). *Contribution à la définition des objectifs spécifiques et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la Biologie*. Thèse de doctorat : Université Paris 7.
BEAUFILS, D., RICHOUX, H., CAMGUILHEM, C. (1999). Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique. *Aster*, 28 : 131-148.
COQUIDÉ, M. (1999). Pratiques expérimentales et perspectives curriculaires en biologie. *Actes des premières rencontres scientifiques de l'ARDIST* : 178-183. ENS Cachan.
COQUIDÉ-CANTOR, M. (1997). Didactique de la biologie et histoire des sciences. In J. Rosmorduc (coord.), *Histoire des sciences et des techniques*. 335-346. CNDP coll. Documents.
DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1 : 49-68.
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.
FLAGEUL, R., & COQUIDÉ, M. (1999). Conceptions d'étudiants professeurs des écoles sur l'expérimentation et obstacles à sa mise en œuvre à l'école élémentaire. *Aster*, 28 : 33-56.
GAGNÉ, B. (1994). Autour de l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences. *Didaskalia*, 3 : 61-78.
GUEYE, B. (1989). L'épreuve écrite de biologie au baccalauréat fait-elle appel au raisonnement en sciences expérimentales?. *Aster,* 8 : 119-134.
JENKINS, E. (1995a). Central policy and teacher response ? Scientific investigation in the national curriculum of England and Wales. *I.J.S.E.*, 17, n°4 : 471-480.
JENKINS, E. (1995b). When is a policy not a policy ? School-based assessment of practical science at 16 +. *I.J.S.E.*, 17, n°5 : 555-563.
KILLERMANN, W. (1996). Biology education in Germany : research into the effectiveness of different teaching methods. *I.J.S.E.*, 18, n°3 : 333-346.

LAKIN, S. & WELLINGTON,J. (1994). Qui enseignera l'épistémologie des sciences ? Conceptions d'enseignants et conséquences pour l'enseignement des sciences. *Aster*,19 : 175-194.
LEBEAUME, J. (1999). *Perspectives curriculaires en éducation technologique*. Mémoire d'HDR : Université Paris Sud.
MARTINAND, J.-L. (1994a). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster* 19 : 61-76.
MARTINAND, J.-L. (1994b). Les sciences à l'école primaire : questions et repères. I, B. Andries & I. Beigbeder (coord.), *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*. Paris : Hachette. 44-54.
ROBARDET, G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de doctorat : Université Grenoble.
RUMELHARD, G. (1995). De la biologie contemporaine à son enseignement. In M. Develay (dir.), *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines : une encyclopédie pour aujourd'hui*. 317-337. Paris : ESF éditeur.

Éducation non formelle

BROOKE, H. & SOLOMON, J. (1998). From playing to investigating : research in an Interactive Science Centre for primary pupils. *IJSE*, vol 20, 8 : 959-971.
CANTOR, M. (1994). Pouchet et le Muséum de Rouen au XIXe siècle. Expo-dossier *La Science pour tous*. 49-60. Musée d'Orsay, Paris : Réunion des Musées nationaux.
COQUIDÉ, M. & PRUDOR, P. (1999). Des ateliers de pratiques scientifiques pour l'insertion scolaire : vers l'élaboration d'un cahier des charges. *Aster* 29 : 203-228.
DAVALLON J., GRANDMONT G., SCHIELE, B. (1992). *L'environnement entre au musée*. PUL et Musée de la civilisation de Québec.
GUICHARD, J. (1998). *Vers une "médiatique" des sciences : actions et problèmes*. Mémoire d'HDR : Université Paris-Sud.
GUICHARD, J. (1990). *Diagnostic didactique pour la production d'un objet muséologique*. Thèse de doctorat : Université de Genève.
RAICHVARG, D. (1997). *La vulgarisation des sciences en sa poétique*. Mémoire d'HDR : Université Paris-Sud.
SCHIELE, B. (dir.) (1989). *Faire voir Faire savoir*. Québec : Musée de la Civilisation.
SCHIELE, B. & JACOBI, D. (dir.) (1988). *Vulgariser la science*. Paris : Champ Vallon.

Pédagogie et manuels scolaires

ANTHEAUME, P. & *al.* (1995). *Découverte du vivant et de la terre*. Paris : Hachette éducation.
CANTOR, M., SCHNEEBERGER, P. & *al* (1995, 1996, 1997). *Collection Gulliver*, J.-P. Astolfi (coord.) Paris : Nathan primaire (cycle 2 et cycle 3, 3 manuels scolaires, 3 guides pédagogiques, 4 cahiers activités élève).
CANTOR, M., LANGE, J.-M., MARTINET, I. (1996). *De la découverte du monde à la biologie aux cycles II et III*. Paris : Nathan collection Pratiques de l'éducation.
COQUIDÉ-CANTOR, M., GIORDAN, A. & *al.* (1997). *L'enseignement des sciences et des techniques à l'école maternelle*. Nice : Z'éditions.

COLLECTIF (1999). Recherche biomédicale et santé. Complément au bulletin *Biologie Géologie* 3, 99. GIRCOR/APBG.
COLLECTIF, (1995). *Sciences de la Vie et de la Terre, Guide Pratique 1e S*. Coédition Pierron/CRDP de Lorraine.
COLLECTIF, (1995). *Developing Biological Literacy*. Guide BSCS, 2éme édition, Kendall/Hunt Publishing Company.
COLLECTIF, (1993). *Sciences de la vie et de la terre, livrets option sciences expérimentales 1e S*. Paris : Nathan collection Demounem-Périlleux.
COLLECTIF, (1992). *ExAO en biologie-géologie*. Aix-en-Provence : MAFPEN.
COLLECTIF, (1992). *Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des disciplines, biologie-géologi*e. Versailles : CRDP.
COLLECTIF, (1992). *Nouveaux moyens audiovisuels en biologie-géologie*. Marseille : CRDP.
LEBEAUME, J. & MARTINAND, J.-L. (coord.) (1998). *Enseigner la technologie au collège*. Paris : Hachette éducation.
MONTAGNER, H. (dir.) (1995). *L'enfant, l'animal et l'école*. Paris : Bayard éditions/AFIRAC.
POL, D. (1994). *Travaux Pratiques de Biologie*. Paris : Bordas

Textes institutionnels

MEN, (1999). Documents d'application des programmes de l'école élémentaire. *BOEN* n°spécial 7, 26 août 1999.
MEN, (1999). Les principes qui doivent régir l'enseignement au lycée. *XXIe siècle* n°4.
MEN, (1996). Rapport Inspection Générale. *Évaluation des effets de la formation initiale sur les compétences professionnelles des personnels d'enseignement et d'éducation.*
MEN, (1996). Physique-Chimie Des pratiques expérimentales rénovées. *BOEN*, décembre 1996.
MEN, (1996). *Rapport du jury du CAPES* Sciences de la Vie et de la Terre.
MEN, (1995). Nouveaux programmes des classes de l'école élémentaire. *BOEN*, octobre 1995.
MEN, (1995). *Rapport de l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale*. Paris : La documentation Française.
MEN, (1992-1995). Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées. *BOEN*, numéro hors série du 24 septembre 1992. Documents d'accompagnement, textes définitifs. *BOEN* octobre 1995.
MEN, (1992). *Rapport de l'Inspection Générale de l'Éducation nationale.* Paris : La documentation Française.
CNP, (1991). Déclaration sur l'enseignement des sciences expérimentales. *BOEN*, 8.

LISTE DES PUBLICATIONS

Les textes repérés : ✻ sont les textes principaux
➢ ✻ sont les textes du dossier

Livres

➢ ✻ 1. COQUIDÉ-CANTOR, M., & GIORDAN, A. (1997). *L'enseignement scientifique et technique à l'école maternell*e. Nice : Z'éditions, collection Guides pratiques. 248 p.

➢ ✻ 2. CANTOR, M., LANGE, J.-M. & MARTINET, I. (1996, réed. 1998). *De la découverte du monde à la biologie aux cycles II et III*. Paris : Nathan Pédagogie. 95 p.

➢ ✻ 3. CANTOR, M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. *Musée et Fécondité*. Nice : Z'éditions, collection Investigations scientifiques. (Adaptation de la thèse soutenue en 1992) 260 p.

✻ 4. GIORDAN, A., SOUCHON, C. & CANTOR, M. (1994). *Évaluer pour Innover. École, Musées et Médias*. Nice : Z'éditions, collection Guides pratiques. 202 p.

Articles dans recueils et ouvrages collectifs

✻ 5. COQUIDÉ, M. (à paraître). Pratiques expérimentales et perspectives curriculaires. In C. Larcher (coord.), *L'expérimental dans la classe*. Paris : INRP.

✻ 6. CANTOR, M. (1997). Article "Pouchet" et article "Génération spontanée". In M. Ambrière (dir.), *Dictionnaire européen du XIXe siècle*. Paris : PUF.

➢ ✻ 7. COQUIDÉ-CANTOR, M. (1997). Didactique de la biologie et histoire des sciences. In J. Rosmorduc (coord.), *Histoire des sciences et des techniques*. 335-346. CRDP Bretagne coll. Documents.

8. CANTOR, M. (1996). Les pratiques d'activités scientifiques : une enquête auprès d'instituteurs, *La formation initiale des professeurs des écoles en sciences et technologie, Actes des Journées d'étude.* 56-60. Paris : INRP.

➢ ✻ 9. CANTOR, M. (1995). À la conquête des germes. In F. Balibar & M.-L. Prévost (dir.), *Pasteur Cahiers d'un savant*. 121-136. Paris : CNRS éditions.

✻ 10. CANTOR, M. (1994). Conceptions des apprenants et formation des élèves-instituteurs. In A. Giordan., Y. Girault & P. Clément (coord.), *Conceptions et Connaissances*. 147-156. Berne : Peter Lang.

* 11. CANTOR, M. (1994), Une évaluation d'exposition : ses intérêts et ses limites. *Culture scientifique et technique de l'entreprise.* 241-246. Nice : Z'éditions, collection Investigations scientifiques.

* 12. CANTOR, M. (1994). Pouchet et le Muséum de Rouen au XIXe siècle. Expo-dossier *La Science pour tous*. 49-60. Musée d'Orsay, Paris : Réunion des Musées nationaux.

13. CANTOR, M. (1994). Interviews de chercheurs en didactique des sciences. Intégré A. Giordan & Y. Girault, *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. UNESCO : Institut International de Planification de l'Éducation.

Articles dans revues à comité de lecture

➢ * 14. COQUIDÉ, M., BOURGEOIS-VICTOR, P. & DESBEAUX-SALVIAT, B. (1999). "Résistance du réel" dans les pratiques expérimentales. *Aster*, 28 : 57-78.

➢ * 15. FLAGEUL, R. & COQUIDÉ, M. (1999). Conceptions d'étudiants professeurs des écoles sur l'expérimentation et obstacles corrélatifs à sa mise en œuvre à l'école élémentaire. *Aster*, 28 : 33-56.

➢ * 16. COQUIDÉ, M. & VANDER BORGHT, C. (1998). Des recherches en didactique de la biologie : finalités, problématiques, concepts et productions (1988-1998). *Aster*, 27 : 95-124.

➢ * 17. COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster* , 26 : 109-132.

18. DESBEAUX-SALVIAT, B., SALVIAT, N. & COQUIDÉ, M. (1997). La respiration du muscle broyé : expériences de Krebs transposées pour l'ExAO. *Bulletin APBG*, 2 : 271-283.

➢ * 19. COQUIDÉ-CANTOR, M. & DESBEAUX-SALVIAT, B. (à paraître). Chimie et biologie : figures de rencontres. *Didaskalia* .

➢ * 20. COQUIDÉ, M. & PRUDOR, P. (à paraître). Des ateliers de pratiques scientifiques pour l'insertion scolaire : vers l'élaboration d'un cahier des charges. *Aster,* 29.

Articles dans d'autres revues

➢ * 21. COQUIDÉ-CANTOR, M. & SCHNEEBERGER, P. (1997). Un modèle d'apprentissage constructiviste comme guide pour l'élaboration d'un manuel scolaire. *Grand N*, 60 : 87-111. IREM Grenoble.

* 22. CANTOR, M. (1996). Les politiques du musée d'Histoire Naturelle de Rouen au XIXe siècle. *Les musées de province dans leur environnement. Cahiers du GRHIS*, 4 : 31-44. Rouen : CNRS/Université de Rouen.

➢ * 23. CANTOR, M. (1996). Réhabilitation de la diversité et besoin d'unité en biologie. "Les spécificités de la biologie et son enseignement". *TREMA*, 9 : 55-64. IUFM de Montpellier.

* 24. CANTOR, M. (1996). Un atelier implicatif : vivant ou “non vivant”. *“Les spécificités de la biologie et de son enseignement"*. *TREMA*, 9 : 169-176. IUFM de Montpellier.

25. CANTOR, M. (1991). F.-A. Pouchet et le malthusianisme. *Actes du Muséum de Rouen,* 1 : 9-11. Rouen : Bulletin municipal scientifique.

Articles publiés dans actes de colloques

➢ * 26. COQUIDÉ, M. & MARTINAND, J.-L. (à paraître). Recherches et postures de recherche en didactique de la biologie. *Symposium des didactiques*. Tunis.

* 27. COQUIDÉ, M. (1999). Pratiques expérimentales et perspectives curriculaires en biologie. *Actes des premières rencontres scientifiques de l'ARDIST* : 178-183. ENS Cachan.

* 28. COQUIDÉ, M. (1999). Obstacles à l'apprentissage en didactique des sciences : point de vue critique et analytique, point de vue technique et propositionnel. Actes du colloque *Obstacles à l'apprentissage des sciences dans le secondaire* : 31-40. Université de Sfax, avril 1998.

29. BOURGEOIS, P., COQUIDÉ, M. & LANGE, J.-M. (1999). Comment problématiser une formation des enseignants en éducation pour la santé ? Colloque *Recherche(s) et formation des enseignants*. IUFM de Grenoble.

* 30. COQUIDÉ, M., BOURGEOIS-VICTOR, P., LANGE, J.-M. & LE PRIELLEC, M. (1997). L'éducation aux risques dans la formation des enseignants : quels enjeux ? Quels problèmes ? *Actes des XIXe Journées Internationales sur la Communication, l'Education et la Culture Scientifiques et Industrielles : Sciences, technologies et citoyenneté,* 165-170. Paris, Association DIREST, LIREST, Université Paris 7.

* 31. CANTOR, M. & SCHNEEBERGER, P. (1996). Réaliser un manuel scolaire : pas si simple ! *Actes des XVIIIe Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique* : 411-416. Paris : UF de Didactique des Disciplines, Université Paris 7.

* 32. CANTOR, M. (1995). Histoire des sciences et formation des enseignants et médiateurs scientifiques, *Actes des XVIIe Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique* : 347-352. Paris : UF de Didactique des Disciplines, Université Paris 7.

* 33. CANTOR, M., CLOAREC, S., KAHARD, E. & LAINNÉ, M.-P. (1994), Fonctionnement d’un atelier d’histoire des sciences au collège. *Actes des XVIe Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique* : 433-436. Paris : UF de Didactique des Disciplines, Université Paris 7.

34. CANTOR, M., & UEBERSCHLAG, J. (1993). La publicité : Quoi pourquikenfaire ? *Actes des XVe Journées Internationales sur l'Éducation Scientifiqu*e : 209-216. Paris : UF de Didactique des Disciplines, Université Paris 7.

* 35. CANTOR, M. (1993). Félix-Archimède Pouchet et le Muséum de Rouen

au XIXe siècle : conciliation de la science et de la culture. C*olloque REMUS, La muséologie des sciences et des techniques:* 219-229. Dijon : OCCIM.

36. CANTOR, M. (1993). “Le corbeau, la corneille et la femme de ménage”, spectacle-leçon sur les objets muséologiques. *Actes des XVe Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique* : 55-60. Paris : UF de Didactique des Disciplines, Université Paris 7.

Documents multigraphiés

* 37. COQUIDÉ, M. & PRUDOR, P. (1999). *Analyse d'ateliers scientifiques animés par des associations de culture scientifique*. Rapport final de l'étude subventionnée par le Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie, réalisée pour le Ministère chargé de la recherche (DISTNB). 116 p.

38. COQUIDÉ, M. (1999). Des recherches en didactique de la biologie. *Les cahiers du DFR1* : 26-45. IUFM de Rouen.

* 39. COQUIDÉ, M. (coord.) & *al*. (1998). Rapport final de la recherche associative INRP/IUFM Rouen. *L'expérimental dans l'enseignement de la biologie*. 341 p.

40. COQUIDÉ-CANTOR, M. (1997). La structuration des disciplines, de l'école au lycée : le cas de la biologie. *Journée d'étude des formateurs SVT "Pôle grand Est*". IUFM Amiens.

* 41. ASTOLFI, J.-P., CANTOR, M. & PRUDOR, P. (1996). *Analyse des Ateliers Pédagogiques pour la Réussite scolaire organisés par le Conseil général des Hauts-de-Seine*. Rouen : Université de Rouen UFR de Psychologie, Sociologie et Sciences de l’Education. 136 p.

42. CANTOR, M. (1995). Collaboration à l’étude du projet Hands on. In C. Larcher (dir.) *Rapport sur les expérimentations nord-américaines et leur compatibilité avec le contexte français*. Paris : INRP.

43. CANTOR, M. (1994). Évaluation de l’exposition *Tous parents, tous différents*. Subvention REMUS. Paris : Musée de l’Homme, 113 p.

* 44. LE VERDIER, E., GIGOU, J., DELAFENÊTRE, J.-P., BATIFOULIER, A. & CANTOR, M. (1993). *Dossier et pièces annexes du concours architectural pour le nouveau Museum de Rouen*. Rouen : ATAUB

* 45. CANTOR-COQUIDÉ, M. (1992). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Thèse de doctorat de didactique des Sciences. Université Paris XI, Paris Sud Orsay. 340 p.

46. CANTOR, M. (1985). *Démarche expérimentale et construction des connaissances : statut de l'hypothèse*. Mémoire de DEA de didactique des Sciences. Université Paris VII. 83 p.

Documents pédagogiques innovants

* 47. BOURGEOIS, P., COQUIDÉ, M., LANGE, J.-M. & MARTINET, I. (1998). Vidéo et livret d'accompagnement destinés à la formation des Professeurs des écoles, *Réaliser et utiliser une "mini-forêt" au cycle II.* Production IUFM Rouen .

* 48. ASTOLFI, J.-P., COQUIDÉ, M. & PLÉ, É. (1998). Émission de Télévision Interactive et disque compact *Didactique des sciences à l'école primaire*. Production CNED.

* 49. CANTOR, M. (1995-1997). Coauteur de la *Collection Gulliver*, J.-P. Astolfi (coord.) éditions Nathan. Découverte du monde au cycle II (1 manuel scolaire, 2 guides d'activités élève, 1 guide du maître. Sciences et technologie au cycle III (2 manuels scolaires, 3 guides d'activités élève, 2 guides du maître). Paris : Nathan primaire.

50. CANTOR, M. & SCHNEEBERGER, P. (1997). Adaptation de la vidéo *Explorons le corps humain* et réalisation du guide pédagogique d'accompagnement. Paris : Nathan primaire.

51. CANTOR, M. (1989). Collaboration in J. Deunff (dir.), Brochure destinée aux instituteurs pour accompagner le dessin animé de vulgarisation scientifique pour enfants *La Vie*. CRDP Chambéry.

52. CANTOR, M. (1982). Collaboration in M. Fauquet (dir.), *Éléments d'évaluation en sciences naturelles*. CRDP Amiens.

Non publiés

➢ * 53. COQUIDÉ, M. *Construction des faits en didactique de la biologie*. Séminaire de didactique des disciplines technologiques de Cachan, ENS Cachan, 1998. (Actes en cours de publication).

54. COQUIDÉ, M. & LANGE, J.-M. *L'expérimentation du vivant à l'école élémentaire : diversité des pratiques et des situations*.

* 55. COQUIDÉ, M. *"Ça ne marche pas !" Comment les élèves en sciences expérimentales gèrent-ils la "résistance du réel" lors d'expérimentations sur du vivant ?* Colloque AECSE, Bordeaux, 1999 (CD en cours de réalisation).