

## AVANT-PROPOS

Histoire des sciences et didactique des sciences : le rapprochement des deux disciplines peut s'entendre de diverses manières.

Le pédagogue a souvent été tenté de se tourner vers le passé pour y retrouver l'origine des connaissances qu'il est chargé de transmettre - non qu'il espère trouver dans l'enfance des sciences une science pour l'enfance, mais plutôt pour voir à l'oeuvre le travail d'élaboration des connaissances.

L'historien des sciences, de son côté, a été longtemps enclin à penser l'évolution des connaissances selon un modèle pédagogique. La tradition, essentiellement française, d'une histoire philosophique des sciences doit sans doute nombre de ses traits, de ses notions clés (l'obstacle, la rupture, la construction des concepts) comme de ses sujets de prédilection (la fondation des disciplines, les grands auteurs, les révolutions scientifiques...), à son alliance avec la didactique.

Cette dernière a trouvé là un outil efficace pour démonter le dogmatisme de l'enseignement traditionnel sans céder aux séductions de l'empirisme prôné par certaines pédagogies nouvelles.

Cette association ne va pas aujourd'hui sans poser quelques problèmes à ceux qui conçoivent l'histoire des sciences comme partie intégrante de l'histoire générale des sociétés humaines et souhaitent y appliquer les mêmes méthodes que dans les autres branches de l'histoire, selon une approche répandue depuis longtemps dans les pays anglo-saxons.

De ces acquis, de ces débats et de ces voies nouvelles, on peut lire le reflet dans les pages qui suivent.

Certains des auteurs ont choisi d'aborder de front une analyse des relations entre didactique et histoire des sciences, d'autres ont préféré présenter un exemple de recherche en histoire des sciences dans lequel le pédagogue puisse trouver son compte.

A travers les contributions des uns et des autres on percevra l'écho d'un dialogue, dont les termes et les enjeux évoluent et se diversifient, mais qui reste plus que jamais fécond pour les uns et les autres.



## LA DIDACTIQUE A-T-ELLE RAISON DE S'INTERESSER A L'HISTOIRE DES SCIENCES ?

**Daniel Raichvarg**

*La question des relations entre la construction historique et la construction personnelle des connaissances doit nécessairement constituer un champ d'investigations pour la didactique. Cependant, une conception, le récapitulatinnisme, issue du XIXème siècle, apparaît comme une conception-écran qui bloque la question dans son heuristique. Nous nous proposons, en travaillant en historien des sciences sur le modèle récapitulatinniste - c'est-à-dire en analysant les conditions de son émergence, les modifications de son extension et de sa compréhension - de faire sauter cet obstacle. Tout au long de cette histoire épistémologique du concept, nous nous proposons aussi de relever les éléments qui, de Baldwin à Bachelard, en passant par Haeckel, Freud et Piaget, peuvent nous servir de points d'ancrage à des investigations didactiques.*

### **Préambule : Vers la question...**

Dans cet article, nous discuterons des conditions de mobilisation de l'histoire des sciences dans le cadre d'une recherche en didactique de la biologie.

Le problème est ardu car sa solution repose précisément sur la rencontre de deux champs qui ont, par ailleurs, leurs difficultés propres. Les concepts et les méthodes de l'histoire des sciences ne sont plus les mêmes que dans une période que nous pourrions qualifier de "post-bernardienne". Certains concepts introduits par Gaston Bachelard, certaines méthodes de travail proposées par Georges Canguilhem ont même été soumises à la critique.

Bref, faire de l'histoire des sciences \* n'est pas, actuellement, s'installer dans la certitude ! Quant à la didactique elle-même, dont la récente émergence n'échappe à personne, elle se fraie un chemin tortueux parmi les différentes conceptions sur les... conceptions et leurs origines dans la tête des chères têtes blondes

faire de l'histoire  
des sciences (ou de  
la didactique) n'est  
pas simple

---

(\*) L'enseignement de l'histoire des sciences dans les cursus de spécialités est ... un serpent de mer. Le dernier avatar se trouve dans le Rapport de l'Académie des Sciences pour l'histoire des sciences et des techniques dans l'enseignement scientifique de novembre 1984, p.6.

(ou brunes !).

Le problème est ardu, également, car sa solution repose sur la rencontre de **praticiens** de deux champs qui souvent s'ignorent ou ignorent le travail du champ autre. Cette difficulté tient, en particulier, à l'enseignement de l'histoire des sciences et aux conceptions des enseignants scientifiques non-spécialisés en la matière (1).

des rencontres  
pour une thérapeutique  
réciproque

Ainsi, le didacticien ne sait pas toujours qu'un certain nombre de questions qu'il se pose peuvent être éclairées par une perspective historique. Ainsi, l'historien des sciences n'imagine pas davantage que son travail est susceptible d'être interrogé par le didacticien, voire serait modifié par ce didacticien, et n'est guère à l'écoute des questions que ce dernier se pose.

Les conditions institutionnelles d'une **thérapeutique réciproque**, pour reprendre une expression déjà ancienne d'Imre Lakatos (2), ne sont donc pas réunies. Si nous en contournons quelques aspects dans ce qui suit, nous trouvons, dans cette remarque préalable, des limites, à l'évidence temporaire, aux conclusions qui pourront, dans le meilleur des cas, en être tirées !

Enfin, le problème est ardu parce que cette tentative de rapprochement est ancienne et présente, assez souvent, une conception dont il faut bien dire qu'elle joue un rôle pervers. Voyons cela de plus près :

la banale idée du  
progrès est à l'ori-  
gine de la question

- Que le développement mental et l'élaboration des concepts soient unifiés, rapprochés, cela ne peut guère nous surprendre. Tous deux sont en effet liés à l'idée d'un **progrès, d'une évolution dans le temps**. Dès que la question d'une histoire-progrès se pose, cette idée ne peut qu'émerger : à l'époque des Lumières, "l'oeuvre pédagogique d'un Condorcet est profondément marquée par l'idée de l'histoire-progrès" (3) et Condorcet écrit son Esquisse d'un Tableau Historique des Progrès de l'Esprit Humain en étroite collaboration intellectuelle avec son Projet sur l'Organisation Générale de l'Instruction Publique, en 1792. Mais, précisons-le, la correspondance qu'établit Condorcet n'oeuvre pas dans le cerveau des instruits mais dans l'organisation pédagogique qui doit "imiter la marche de l'esprit humain" \*. Ainsi est justifiée l'abandon de la langue latine, ainsi est justifiée la distribution de l'enseignement des Sciences et, en particulier, tout progrès des connaissances doit se retrouver dans le contenu

---

\* Le Rapport et Projet de Décret sur l'organisation générale de l'Instruction Publique a été re-publié dans le livre de BACZKO.

de l'enseignement : la prédominance des Sciences Mathématiques \* (5).

hélas, une des formulations, le récapitulatinnisme, forme une conception-écran

- Cette recherche de relations conduit très souvent, depuis la deuxième partie du XIXe siècle, à un modèle dérivé de la **loi Biogénétique Fondamentale d'Ernst Haeckel** - autrement dit "l'ontogénie récapitule la Phylogénie". Il faut dire que la naissance de cette loi a représenté un virage important et qui marque très (trop ?) fortement les esprits : sa naissance, faut-il le rappeler, date d'une époque où les sciences et les théories nouvelles allaient bon train et avaient tendance à se télescoper \*\*, ce qui, tout en donnant de l'écho, produisait de nombreuses difficultés comme nous le verrons dans notre cas. Pour des chercheurs acquis à la cause du constructivisme, avec une large part faite aux déterminants sociaux, un tel modèle, une telle "récapitulation", ne peut conduire qu'à une défiance face à toute tentative. Les excès auxquels a pu mener "la transposition de la Loi Biogénétique Fondamentale de l'ordre biologique à l'ordre mental"(6) disqualifient, dès l'abord, aux yeux de certains, la problématique. Des dérives, comme celle du docteur Down - découvreur du "mongolisme" et de son interprétation et inventeur de la relation onto-phylogénique existant entre les peuples orientaux et les idiots mongoliens (7) - font craindre, à tout instant, si quelques garde-fous ne sont pas placés, de tomber dans le syndrome... du syndrome du docteur Down. Toute hypothèse qui rejoint, ou qui semble rejoindre, une forme de récapitulatinnisme devient alors déconsidérée par suite de cette conception-écran qui, selon nous, non seulement balaye trop vite toute tentative de rapprochement entre histoire des sciences et didactique mais aussi masque l'analyse du fonctionnement du modèle récapitulatinniste.

il nous faut donc travailler sur le récapitulatinnisme en historien des sciences...

Ainsi, partant de l'idée qu'écartier d'un geste du cerveau n'est pas suffisant pour se donner les moyens de soutenir une vigilance armée envers des mouvements downiens, nous nous proposons, dans cet article, de mener une analyse serrée du modèle récapitulatinniste en vue, soyons clair, d'en faire "cycle bas". Cette analyse devrait permettre de se démarquer définitivement de propositions telles que "l'ontogénèse du développement mental récapitule la phylogénèse des connaissances" de telle sorte que

---

\* Nous demandons au lecteur de se souvenir de cette remarque quand nous aborderons les conceptions de Bachelard sur son profil épistémologique.

\*\* La psychologie, la génétique, l'ethnologie, la théorie de l'évolution, les théories psychanalytiques, en ce qui concerne le domaine de cet article !

soient enfin recherchées des relations entre les deux champs - si elles existent ! \* -, relations qui ne pourront plus, dès lors, être rendues invalides au nom du modèle-écran.

Pour ce faire, nous travaillerons en historien des sciences \*\* : c'est, en effet, en usant des nouveaux concepts et des nouvelles méthodes de l'histoire des sciences que ce modèle sera mis à mal, et, plus encore, que des fausses conceptions sur ce modèle, colportées çà et là, pourront être rectifiées, dépassées et vaincues. Ainsi disparaîtra, selon nous, la conception-écran. Tout d'abord, nous verrons la signification du modèle à l'époque-même de sa première grande ampleur et nous devrions comprendre combien par une mauvaise lecture, il est accordé tout à la fois plus ou moins, trop et trop peu, au modèle d'Haeckel. Puis, nous nous pencherons sur l'extension et la compréhension du modèle... telles qu'elles ont été données par Sigmund Freud. Si celui-ci est un récapitulacionniste convaincu, mais non dogmatique, il nous fera pointer deux obstacles majeurs : le déroulement dans le temps sous forme de stades et le problème des analogies-différences. Nous continuerons en opposant Piaget et Bachelard, tant sur la notion de stades et sur celle d'origine des connaissances que sur le plan méthodologique. Nous terminerons par l'énoncé d'un certain nombre de thèses-questions, tirées des trois présentations précédentes, thèses-questions que nous croyons propres à faire avancer la mise à jour d'un modèle opérationnel.

... pour mieux  
le comprendre et  
l'évacuer

---

\* Et nous le croyons. Ceci pourrait être l'objet d'un autre travail. En effet, dans plusieurs thèses de didactique, dans différents articles - comme celui de Guy RUMELHARD sur "Quelques représentations à propos de la photosynthèse", dans *Aster* n° 1, Paris : INRP. 1985 - l'histoire des sciences commence à être mobilisée. Mais les auteurs mettent, sous cette mobilisation, des attributs bien divers !

\*\* On pourra alors sentir une autre utilité de cet article : mieux comprendre ce qu'est faire de l'histoire des sciences actuellement.

## I. LE TRANSFERT ORIGINEL : LE PREFORMATIONNISME D'HAECKEL FACE A L'EPIGENISME DE BALDWIN \*

Avec cette conception du rapprochement entre développement mental et élaboration des concepts par l'intermédiaire de la loi "l'Ontogénie récapitule la Phylogénie", nous sommes en présence d'un emprunt de concept comme l'histoire des idées en est friande \*\*. Dans ce cas précis, le concept emprunté a été défini à partir d'un objet de connaissance déterminé dans un champ, l'embryologie, et se retrouve charrié dans un autre champ, celui de la psychogénèse. Au cours de tels emprunts, il y a un double risque : un premier est que le concept ainsi "métaphorisé" ait tôt fait d'oublier son origine disciplinaire et que certaines de ses caractéristiques ne soient pas opératoires dans le nouveau champ, un deuxième est que le charriage s'accompagne de contaminations du champ d'arrivée et conduise à des illusions conceptuelles qui annulent l'heuristique de l'opération.

Nous ne reviendrons pas sur les ambiguïtés actuelles de la Loi à l'intérieur même du champ où elle a été produite - sauf pour signaler que nous pourrions clore tout le travail ici : si nous suivons Stephen Jay Gould (8) qui considère que la théorie de la Récapitulation s'est effondrée en... 1920, sous le poids conjugué de l'évolutionnisme et des découvertes d'animaux néoténiques. Comment pourrions-nous continuer à poser des questions à une théorie qui resterait opératoire hors de son champ d'origine où elle serait, là, complètement insuffisante ? Nous ne reviendrons pas non plus sur ses a priori et ses a posteriori idéologiques, qui en expliquent fort probablement le succès au détour du XIXème et du XXème siècles. Comme précédemment en effet, l'évacuer à grands coups d'arguments ne peut satisfaire une histoire épistémologique des sciences et n'apporte pas à la démarche tout ce qu'elle est susceptible de lui apporter. Canguilhem montre, en particulier, que l'idée d'évolution

le danger de la ballade des concepts entre la biologie (ici l'embryologie) et la psychologie (ici la psychogénèse)

un concept peut cacher deux conceptions :

---

\* Nous prenons le terme de "transfert" malgré sa connotation psychanalytique car tout transfert s'accompagne de déterminismes inconscients et, à ce sujet, le transfert de concept n'échappe pas à la règle !

\*\* Le déplacement de concepts n'est pas nécessairement un mécanisme bloquant de l'évolution de la pensée scientifique. De nombreux cas existent où des déplacements ont eu, même mal maîtrisés, une importance primordiale (on peut se reporter aux déplacements du concept de microbe, voir Histoire de la Biologie).

ainsi, derrière le récapitulatinnisme : le préformationnisme ou l'épigenèse (Haeckel contre Baldwin)

c'est la place de l'enfance qui décide

le poids des hypothèses ad hoc dans la prise de décision

a conduit à deux conceptions assez différentes des relations entre développement mental et élaboration des concepts : **une conception encore toute chargée de "préformationnisme"** - celle de Haeckel - et **une conception nettement plus "épigéniste"** et, donc, plus en relation avec l'embryologie de l'époque - celle de Baldwin. Les deux stratégies s'opposent très clairement dans la façon dont elles mobilisent l'évolution. Canguilhem souligne ainsi que le modèle de Haeckel manque de cohérence puisque, à travers la récapitulation, "l'évolutionnisme haeckelien conserve du temps biologique" (9). Au contraire, en s'appuyant sur des travaux par ailleurs plus anciens, Baldwin "oppose plus nettement l'instinct à l'intelligence" (10) en introduisant un important correctif dans le fonctionnement du modèle. A la prise en compte de ce temps biologique et, dans la même lignée, Baldwin "accorde une place plus importante dans l'ontogénèse à l'apprentissage" utilisant **une nouvelle interprétation de l'enfance** qu'il glisse dans le modèle - "la prématuration de la naissance va avec la longueur de la maturation" (11).

La synthèse est ainsi exprimée par Canguilhem, alors que l'enfance est intégrée dans le processus ontogénèse/phylogénèse : "La phylogénèse biologique est source d'une indétermination croissante qui laisse l'enfant à la naissance à peu près sans équipement" (12).

Cet aspect de la pensée baldwinienne - trop souvent négligée - mérite d'être mis en relation avec des interprétations et les prises de position plus récentes car il est un point très important du dispositif, voire un argument fondamental de la démonstration. Utilisant le concept de néoténie, Montagu puis Katz considèrent que "le passage de l'état de singe à l'état d'être humain fut le résultat de mutations néoténiques qui, pendant les phases de développement de l'adolescent et de l'adulte, provoquèrent le maintien des tendances à la croissance du jeune cerveau et de ses capacités d'apprendre, ce qui lui permit d'échapper à la spécialisation de l'évolution" (13). Il n'y a clairement pas de différence entre Baldwin et les auteurs plus récents, sauf la possibilité qu'ont ces derniers d'y ajouter une dimension "biologique", sous forme de néoténisme !

Une première conclusion s'impose donc à nous, qui concerne **la filiation des idées** : une conception que l'on pourrait qualifier de "haeckelienne stricte" - tout est redevables de l'ontogénie/phylogénie" - ne s'infère pas immédiatement du transfert de Haeckel. Une autre conception, "haeckelienne restreinte", à la Baldwin, peut ne pas être, dès l'abord, exclue, sous réserve de l'accompagner **d'une hypothèse complémentaire quant à la période post-embryonnaire** - l'enfance. Cette dernière hypothèse, assez environnementaliste s'accorderait avec

nos conceptions plus récentes sur l'intervention des processus sociaux dans le développement psychogénétique des idées.

Les deux conceptions sont cependant en accord sur un deuxième aspect : ce qu'elles mettent en correspondance, ce sont, si l'on peut dire, des comportements phylogénétiquement primitifs ou, à tout le moins, simples. Il s'agit de "s'asseoir, se tenir debout, ramper, courir, marcher, sauter, grimper" (14). En ce sens, toutes deux restent assez près du biologique, près de comportements biologiques. C'est Baldwin encore qui nous précise les choses. Si l'on parle de correspondance, c'est plutôt dans le cours des trois premiers stades de la phylogénèse mentale - "processus sensoriels rudimentaires, époque de la représentation simple (mémoire, imitation), époque de la représentation complexe et de la coordination complète" (15) - **que dans celui du quatrième - celui de la pensée, de la réflexion et de l'affirmation de soi**" (16), ce dernier étant hautement spécifique de l'homme, donc non susceptible de s'intégrer dans le processus de récapitulation.

Cette précision de Baldwin est très importante, sinon essentielle, pour comprendre notre propos. En effet, c'est Baldwin seul, qui donne du corps à une hypothèse à peine suggérée par Haeckel. Ce dernier en reste à une formulation lâche, souple, floue : "c'est tout-à-fait de la même manière que l'admirable activité intellectuelle de l'homme est sortie graduellement, à travers des milliers d'années, de la grossière intelligence des vertébrés inférieurs, et le développement psychique de chaque enfant n'est qu'une brève répétition de cette évolution phylogénétique" (17). Et mettez sous "développement psychique" ce que vous voulez !

Par conséquent, en même temps que Baldwin prolonge Haeckel en nous précisant ce que lui entend par "développement psychique", il s'en démarque immédiatement par le puissant correctif signalé au-dessus : la place de l'enfance dans le processus. En même temps que Baldwin prolonge Haeckel et s'en démarque, il nous montre bien plus : dans un raisonnement épistémologique très fin, il n'oublie pas les limites que son époque met à la méthode : "Comment pouvons-nous dire quelque chose de la récapitulation consciencielle alors que nous ne savons presque rien de l'ontogénèse mentale et si peu de psychologie individuelle ?" (18).

Une deuxième conclusion s'impose maintenant. C'est une conclusion prospective, pourrions-nous dire : elle concerne les évolutions de ce transfert. Sans anticiper trop, nous pouvons dire qu'elles vont se faire exactement dans l'espace libéré par Baldwin : alors que nos connaissances sur l'ontogénèse mentale et sur la psychologie individuelle progressent, qu'est-ce qui peut, au juste, être concer-

les débuts de la pensée sur la notion de "stade" avec notamment, un dernier stade indéterminé

les conditions de l'évolution du transfert sont déjà dans les idées de Baldwin

né par le rapprochement, si le rapprochement garde bien évidemment une quelconque heuristique ? Le grand nom qu'il faut rattacher à cette nouvelle façon de voir est celui de Freud.

Mais avant, comme nous l'avions annoncé, il nous faut faire un commentaire du point de vue de l'histoire des sciences. Il est clair que les époques postérieures se sont arrêtées lourdement sur une hypothèse - celle de Heckel - à laquelle il est, par ailleurs, beaucoup plus prêté qu'elle n'a effectivement offert et que tout cela a masqué une autre hypothèse - celle de Balwin -, plus sympathique semble-t-il. Cela est malheureusement classique en histoire des sciences et résulte d'une façon de travailler que nous ne pouvons que récuser \*. Il est le fruit d'une **illusion régressive** qui s'explique par deux raisons principales :

- la lecture de l'époque haeckelienne est faite avec une récurrence trop forte et on juge cette époque avec quelques clichés marquants, comme ceux du docteur Down qui en occulte les pistes positives possibles ;
- les textes invoqués sont ceux d'un seul homme, voire d'un seul courant d'idées : Haeckel est massivement connu pour un ensemble de travaux et la Loi Biogénétique Fondamentale porte ailleurs son nom alors que Baldwin, pourtant un des fondateurs de la psychologie, reste relativement peu connu.

La difficulté de l'histoire des sciences est précisément là : travailler progressivement et non régressivement, alors que travailler sans récurrence, sans le regard de l'état actuel d'une notion est, ailleurs, impossible. Il faut prendre garde de bien comprendre, comme l'explique Imre Lakatos, que les raisons et la logique du "contexte de découverte" ne sont pas forcément les raisons et la logique du "contexte de justification". De ce télescope naissent bien des anachronismes et bien des conceptions erronées \*\*. Un usage d'un corpus de textes, entendu dans le sens synchronique - que pensent d'autres auteurs sur le même sujet ? - et diachronique est un moyen d'éviter ces anachronismes et ces conceptions erronées.

---

\* Deux exemples sont analysés dans Histoire de la Biologie (op.cit) : le premier est le cas Thuret (vu par André Giordan en introduction), le deuxième est le cas Pasteur (vu par Daniel Raichvarg dans le chapitre "les infiniment petits", sur deux points : la fondation de la microbiologie médicale et la vaccination contre la rage).

\*\* Dont la fameuse ligne droite !

les erreurs de lecture d'une pseudo-histoire des sciences peuvent...

... expliquer les erreurs d'utilisation du modèle

## 2. EPISTEMOLOGIE DES POSITIONS FREUDIENNES

éclatement des stades, multiplicité des mises en relation et problème de la mémorisation résumant les apports de Freud

Dans la période qui suit - et dans les autres, comme nous le verrons plus loin - nous assistons à un développement du quatrième stade proposé par Baldwin et, en même temps, à une diversification des éléments constitutifs. Ce développement et cette diversification vont se compléter par une extension progressive des éléments qui peuvent être pris en compte dans le rapprochement, et nous serons amenés à discuter les différents points de vue de Freud. Enfin, nous assistons également à l'émergence d'une nouvelle et très importante question : celle des processus de mémorisation à la fois par les individus et par la société de ces éléments précis de la vie psychique. Et là encore, nous verrons qu'il faut quelque peu rectifier les mauvaises habitudes de l'histoire des sciences.

Freud était-il haeckelien ou baldwinien ?

Résumer en une phrase les caractéristiques du transfert chez Freud n'est pas chose facile car sa pensée évolue et se modifie tout en gardant, tout au long de son oeuvre, un certain nombre de points d'ancrage. Par exemple, Freud peut apparaître comme un récapitulatinniste convaincu mais, selon les textes mobilisés, la teneur de son récapulationnisme change. Un auteur plutôt biologiste et dont nous avons parlé, Stephen Jay Gould, et un auteur plutôt psychologue, Emile Jalley (19), en feraient, à quelques hésitations près pour Jalley, un tenant de l'haeckelianisme strict. Une formulation, dans "Trois essais sur la théorie de la sexualité" est, au contraire, très en faveur de l'haeckelianisme restreint : "Il y a un rapport analogue entre l'ontogénèse et la phylogénèse. L'ontogénèse peut être considérée comme une répétition de la phylogénèse toutes les fois que **cette dernière n'est pas modifiée par une expérience récente** \* . La disposition phylogénique transparaît au travers de l'évolution ontogénique mais, au fond, **la constitution n'est que le sédiment d'une expérience antérieure, auquel s'ajoute une expérience nouvelle et individuelle**" (20).

Freud dépasse très largement Haeckel, tient compte du temps biologique comme Baldwin. On ne peut donc parler, ainsi que le fait Jalley du "principe de Haeckel-Freud" \*\*, d'autant plus que Freud va intégrer et modifier la conclusion prospective de Baldwin que nous

---

\* C'est moi qui souligne.

\*\* L'expression est d'Emile JALLEY (ibidem). Notons, au passage, que JALLEY tombe dans le piège tendu aux historiens des sciences de compétence insuffisante.

une transformation  
du problème de  
l'enfance :  
l'irruption de la  
préhistoire  
individuelle

signalions. La citation suivante est très révélatrice de la recherche freudienne :

*"La préhistoire à laquelle nous ramène le travail d'élaboration (du rêve) est double : il y a d'abord la préhistoire individuelle, l'enfance ; il y a, ensuite, dans la mesure où chaque individu reproduit en abrégé au cours de son enfance, tout le développement de l'espèce humaine, la préhistoire phylogénique. Qu'on réussisse un jour à établir la part qui, dans les processus psychiques latents, revient à la préhistoire individuelle et les éléments qui, dans cette vie, proviennent de la préhistoire phylogénique, la chose ne semble pas impossible" (21).*

Tout se transforme en une difficulté de séparer ce qui est redevable de ce qui ne l'est pas. D'une façon moderne et provocatrice, ce qui est inné et ce qui est acquis. Précisant ainsi le problème, Freud ouvre la porte, comme nous le verrons plus loin, à des recherches ou à des réflexions sur **les processus mnésiques** : comment la préhistoire individuelle peut s'intégrer dans l'organisme, voire dans le phylogénique ? Non seulement on ne peut rapprocher brutalement Freud de Haeckel mais on doit à Freud cette ouverture qui, quand bien même n'obtiendrait-elle pas de réponse claire de la part de son auteur, a le mérite de soulever un lièvre !

on peut "se souvenir"  
de l'anatomie ou de  
la psychologie  
primitives

Donc, **tout** l'ontogénique mental n'est pas redevable du phylogénique. Mais tout se passe comme si, lorsque de l'ontogénique... mental - des processus psychiques qu'il nous faudra préciser - est redevable du phylogénique, il **peut être redevable soit du phylogénique anatomique, soit du phylogénique mental**. Les processus psychiques garderaient des traces du passé anatomique (du corps biologique) de l'espèce et des traces du passé psychologique ! Voyons ces points de plus près.

Du point de vue du premier point, des rapprochements, que nous pourrions considérer comme plutôt douteux et sans autre fondement que la croyance, sont invoqués non seulement par Freud lui-même mais par d'autres auteurs contemporains du maître et aussi par des auteurs tout à fait récents. Par exemple, dans "Trois Essais sur la Théorie de la Sexualité", Freud fait sien un argument d'Abraham pour caractériser le stade sadique-anal en faisant remarquer que "l'anus provient de la bouche primitive (blastopore) de l'embryon, fait biologique qui apparaît le prototype de l'évolution psychosexuelle" (22). Il caractérise de la même façon des événements plus pointus de la vie psychique : à propos des théories infantiles de la naissance conçue "comme lorsqu'on va à la selle", il considère qu'elles rappellent certains faits de la zoologie, ainsi "l'existence des cloaques dans les espèces inférieures" (23).

Un peu plus tard, Geza Roheim, reprenant des propos de Freud tenus dans "Malaise dans la civilisation", réactive

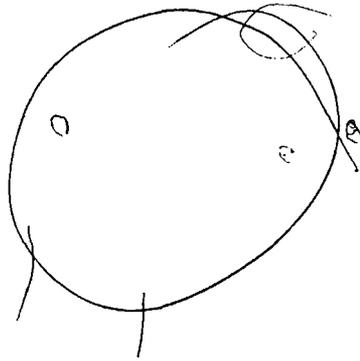
mais l'anatomie  
peut conduire à  
des rapprochements  
douteux

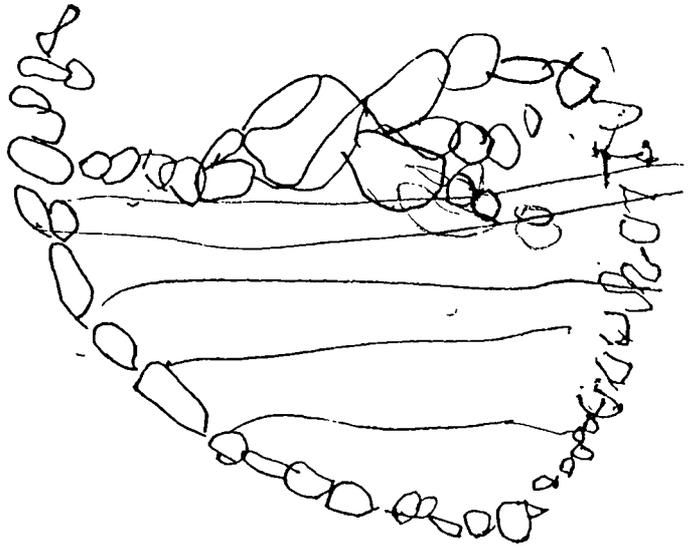
même la pensée balwinienne sur la station debout, en y incluant, tout naturellement, un **sentiment**, la pudeur : "On peut tranquillement affirmer qu'ici joue un parallélisme tout à fait valable entre l'acquisition de la posture debout dans l'histoire de l'espèce et son acquisition dans l'histoire de l'individu. Comme le dit Freud, "le retrait à l'arrière-plan de l'odeur semble être lui-même consécutif au fait que l'homme s'est relevé du sol, s'est résolu à marcher debout, station qui, en rendant visibles les organes génitaux jusqu'ici masqués, faisait qu'ils demandaient à être protégés et engendrait ainsi la pudeur. Par conséquent, le redressement ou la "verticalité" de l'homme serait le commencement du processus inéluctable de la civilisation" (24).

Enfin, des auteurs récents (25) vont même jusqu'à laisser entendre que, par des dessins, l'enfant nous montrerait qu'il se souvient de différentes étapes de son embryogénie - point fondamental si on veut justifier ces rapprochements. Voici quelques-uns des dessins et des figures embryologiques que ces auteurs nous proposent :

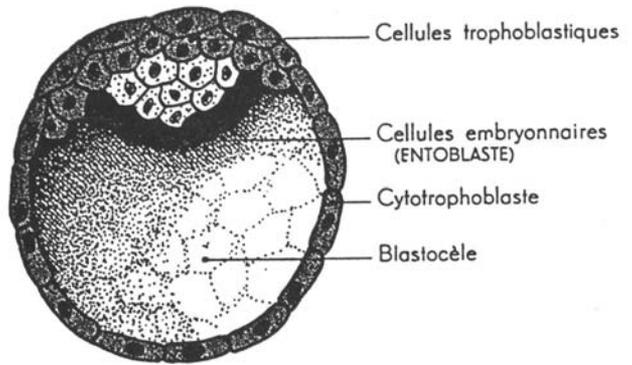


— Phénomènes morphologiques de la fécondation.





Avez-vous reconnu la fécondation et le blastocyste dans les dessins de l'enfant ? Tout commentaire est superflu.



**Le blastocyste au 6<sup>e</sup> jour**

Quant au deuxième point - l'ontogénique mental est redevable du phylogénique mental - il apparaît relativement simple si nous partons de la constatation que la gestion du "mental" mobilise quatre personnages :

un quatuor apparaît :  
l'enfant, le primitif,  
l'homme et le  
névrosé

l'enfant, le primitif, l'homme et le névrosé. Comme le note Emile Jalley, à propos de "Totem et Tabou" par exemple, on relève un agencement "selon un tissu complexe de rapports établis par couples variés ou en trio selon le cas" (26). Les rapports entre ces quatre personnages s'articulent, en effet, **autour d'un nouveau découpage que Freud propose de la quatrième période de la vie psychique**, que Baldwin avait laissé indivise. Freud estime que "le mode d'évolution des conceptions humaines va d'une phase animiste (qui) a procédé une phase religieuse, qui, à son tour, a précédé la phase scientifique" (27). On peut ainsi intégrer dans le processus de récapitulation non seulement des comportements simples - se tenir debout... - mais aussi des comportements psychiques. En plaçant ce nouveau découpage sur la ligne des temps, le primitif et l'enfant sont en-deçà du scientifique et portent en eux une potentielle identité : le primitif récapitule moins, l'enfant ne récapitule pas encore tout, quant au névrosé (pour différentes raisons, nous le verrons plus loin), il récapitule ... mal. Et Freud de clôturer définitivement son discours par ce "névrosé qui constitue le pivot autour duquel s'organise le réseau des conceptions comparatives" (28) : on peut en effet remonter à l'oméga de la théorie psychanalytique - le complexe d'Oedipe - puisque ces comparaisons multiples autorisent l'apparition de l'homme originel et, par suite, le soutien inconditionnel au fait que "le désir parricide doit refléter un événement réel qui se produit chez les ancêtres humains adultes" (29).

l'éclatement de la  
notion de "stade" et,  
surtout, du dernier  
stade qui était  
resté indéterminé  
chez Baldwin

Epistémologiquement parlant, nous pouvons contester ce modèle par la mise en question de la notion même de primitif. Nous pouvons également nous interroger sur la disposition des personnages sur la ligne des temps. En effet, il n'est pas d'auteurs qui, actuellement et depuis une quarantaine d'années, **n'aient mis en doute le terme de "primitif"**. On considérait, comme simples les modes de pensée des sociétés dites "primitives", proches de la Nature. Levi-Strauss, dans les "Structures élémentaires de la parenté", a montré au contraire (30) que toutes ces sociétés présentent un ensemble idéologique et conceptuel très structuré autour de la Sexualité : cet ensemble leur est propre et éminemment complexe. Le même auteur, dans "La pensée sauvage", continue de développer l'idée que ces structures - et bien d'autres modes de penser (comme les classements) - ne sont pas si élémentaires que cela du point de vue de la pensée scientifique puisque les "indigènes" sont capables d'en établir des diagrammes et des schémas, donc de les conceptualiser avec des qualités manifestement non négligeables de raisonnement. Walter Benjamin, à la même époque, intervient sur le langage du primitif pour contester les idées de Levy-Bruhl fondées sur des langues des "non-civilisés" qui seraient prétendument uniquement

le modèle de Freud  
présente deux  
ambiguïtés :  
le primitif existe-  
t-il ?...

comment se placent  
les stades sur  
l'échelle des temps ?

et une ouverture :  
l'inscription dans  
la mémoire

Freud formule sa  
position dans un  
cadre bien déter-  
miné

concrètes et pauvres en vocables et en formes (31).  
Finalement, il y aurait là une première position de prin-  
cipe à soutenir, formulée clairement par Wittgenstein  
quand il s'attaque au "Rameau d'Or" de James G. Frazer  
(32) :

**"l'explication historique, l'explication qui prend la forme  
d'une évolution n'est qu'une manière de rassembler les  
données - d'en donner un tableau synoptique. Il est tout  
aussi possible de considérer les données dans leurs rela-  
tions mutuelles et de les grouper dans un tableau  
général, sans faire une hypothèse concernant leur évolu-  
tion dans le temps".** Comme le conclut Benjamin, la re-  
cherche de "symptômes d'un comportement prélogique  
risque de cacher au chercheur des conduites plus  
significatives" (33).

Par ailleurs, nous devons insister sur la manière dont le  
placement sur une ligne des temps sort renforcé par un  
découpage en sous-époques (en sous-stades !) de la qua-  
trième époque de Baldwin. **Ce découpage induit et valo-  
rise une recherche de correspondance terme à terme** qui,  
là-aussi, conduit à négliger les éléments différents de  
ceux qui entrent dans le modèle. C'est une difficulté que  
nous retrouvons avec Piaget et nous devons, dès à  
présent, nous interroger sur cette logique des stades qui  
confortent la logique de la récapitulation.

Malgré ces deux difficultés qui nous feront garder quel-  
que méfiance par rapport aux évolutions du transfert,  
Freud nous pose une question nouvelle qui n'avait pas de  
place encore dans le modèle de Haeckel et de Baldwin.  
Cette question est **la question double des traces mnési-  
ques et des processus d'inscription de ces traces mnési-  
ques dans l'appareil "psychique"**. De même qu'on ne pou-  
vait faire de Freud un récapitulacionniste intransigeant,  
de même nous allons voir qu'on ne peut en faire un lar-  
marckien à cent pour cent. Cette analyse épistémologi-  
que aboutira, par ailleurs, à l'énoncé d'un deuxième prin-  
cipe important, concernant le problème de la réduction  
de comportements psychologiques à une approche  
physiologique.

Le système de Freud, en apparence ambigu, est très  
homogène et rappelle ses positions sur le problème du  
récapitulacionnisme. En plein débat avec les disciples de  
Charcot - nous sommes en 1896 - sur les causes déter-  
minantes des névroses, Freud estime que **"l'hérédité rem-  
plit le rôle d'une condition puissante et même indispen-  
sable (mais qu') elle ne saurait se passer de la collabora-  
tion de causes spécifiques"** (34). Cette double origine - il  
y a de l'inné et de l'acquis, pourrait-on dire - se retrou-  
ve dans ses conceptions sur les pulsions : si "la source  
(en) est corporelle et relativement indépendante des in-  
teractions de l'organisme avec son entourage, (...) de par

dans ce cadre, la place de l'entourage est fondamentale mais il se garde bien d'avoir recours à la neurophysiologie

son immaturité, l'enfant humain dépend de son entourage, dont l'action tend à modeler le développement pulsionnel" (35). Il n'y a donc pas de doute possible : une part du développement reviendra à l'entourage, et l'idéal serait bien de déterminer ce qui lui revient... Il faut compléter les idées de Freud en rappelant qu'il revendique toujours une forte indépendance du psychologique par rapport au physiologique. Quand il décrit la paralysie hystérique, il "estime que (cette) lésion doit être complètement indépendante de l'anatomie du système nerveux puisque tout se passe comme si l'anatomie n'existait pas", la paralysie de l'hystérique étant extrêmement localisée et excessivement intense (36). Freud ne cherche jamais à préciser sous quelle forme organique la relation pourrait s'établir \*. Et c'est bien un point qui peut tout aussi bien mettre Freud en difficulté qu'instituer une limite fondamentale à la méthode. En difficulté, car penser de la récapitulation va de pair avec penser une forme biologique qui sous-tend et rend possible cette récapitulation : si Freud ne tombe pas dans le piège du réductionniste à la physiologie, comment peut-il alors continuer à argumenter comme un quelconque récapitulationnisme ?

l'impossible réductionnisme était déjà bien décrit par Claude Bernard, Cabanis et bien d'autres

il est repris actuellement

Mais en même temps, Freud nous permet de reformuler un principe que d'autres avaient émis avant lui, comme Claude Bernard sur la recherche - hypothétique - de mécanismes "neuronaux" qui sous-tendent un comportement. Rappelons simplement une phrase de Claude Bernard, citée par le docteur Cabanes : "les phénomènes de l'intelligence et de la conscience, quelque inconnus qu'ils soient dans leur essence, exigent pour se manifester, des conditions organiques ou anatomiques, des conditions physiques ou chimiques, et c'est dans ces limites exactes que le physiologiste circonscrit son domaine" (37). Et Cabanes d'ajouter : "la tentative d'inféodation complète de la psychologie à la physiologie sera, croyons-nous, toujours vouée à un échec". A chaque progrès de la neurophysiologie, a succédé une nouvelle interprétation des relations entre psycho-et physiologie dont on peut a priori dire qu'elles relèvent toutes de la même volonté d'inféodation, comme le montre Merleau-Ponty, avec l'atomisme pavlovien, les théories de localisations cérébrales. Comme le montre aussi, et pour s'en défier tout autant, Pierre Karli dans "L'Homme Agressif", alors que sont apparues l'importance des liaisons avec le sous-cortex et l'incontournable neurochimie (38). Nous avons donc ici notre deuxième principe : **ne pas se laisser aller au réductionnisme qui conforte, à la manière de la logique des stades, la logique récapitulationniste.**

---

\* A la fin de sa vie, il cherchera un modèle énergétique.

qu'en est-il alors de la transmission d'une génération à l'autre ?

est-ce la transmission par les gènes ou bien par le social ? là encore, Freud hésite et évite le réductionnisme lamarckien

Donc, s'il y a des traces mnésiques, elles peuvent interférer avec un fond organique d'une part, elles ne sont pas précisées quant à leur forme organique d'autre part. **Sous quelles formes peuvent-elles se retrouver de génération en génération ?** Là encore, Freud paraît tendu entre deux solutions, "l'une évoquant un facteur organique, un lot de traces héréditaires conçues au sens lamarckien du terme, l'autre privilégiant la voie des transmissions sociales par le langage" (39). Citant le Freud de "Totem et Tabou", Jalley explique que les prohibitions concernant le tabou "se sont ensuite maintenues de génération en génération peut-être seulement à la faveur de la tradition, transmises par l'autorité paternelle et sociale ... il se peut aussi qu'elles soient devenues une partie organique de la vie psychique des générations antérieures" (40). Freud ne dit rien, bien évidemment, de l'organisation de ces "parties organiques", de la même manière qu'il restait silencieux sur la "neuro-physiologie des comportements" \*. Cela est donc clair : un comportement psychique peut être transmis par la tradition, terme sous lequel nous ne devons pas seulement mettre le langage mais aussi les coutumes, les façons d'être et de vivre. Cette fois-ci, et au contraire du principe précédent, grâce à cette ouverture, le modèle récapitulonniste devient jouable, sans organicisme exagéré puisqu'une place est effectivement laissée à "l'indétermination croissante de Baldwin" \*\*.

En conclusion de ce passage, nous pouvons dire que Freud laisse le transfert dans un état se caractérisant par les propositions suivantes :

- il y a de la récapitulation dans l'air, et ce qui est ... récapitulable, ce sont des comportements psychiques plus fins que les comportements décrits à la période précédente ;
- on ne sait pas encore bien de quoi est ce récapitulable, (de l'anatomique ou du psychologique) et ce qui est récapitulable de ce qui ne l'est pas ;
- le processus de récapitulation peut être mis en oeuvre de deux façons : par une inscription dans l'organique ou par la tradition ;
- il y a toujours de l'interférence entre ce qui sera récapitulé et ce qui sera vécu comme neuf.

---

\* De la même manière que précédemment, on peut s'interroger sur tous les ouvrages traitant de la mémoire alors que nos connaissances augmentent sur le sujet.

\*\* Moyennant de l'organique, comme les pulsions, par exemple !

le transfert s'est donc considérablement modifié

Nous en avons également sorti deux principes :  
 - la mise en place de stades sur la ligne des temps ne fait que conforter une pensée récapitulacionniste : nous devons donc y regarder de très près ;  
 - tout réductionnisme de la psychologie à la physiologie va aussi dans le sens de la pensée récapitulacionniste : nous devons, là-aussi analyser de près tout ce qui conforte et révèle un réductionnisme.

Et nous entrons dans l'ère Piaget...

### 3. PIEGES ET CONTRADICTIONS PIAGETIENNES

deux ouvrages parfois contradictoires nous renseignent sur les positions de Piaget

Jean Piaget aborde massivement le problème dans deux ouvrages qui sont, ici, de référence : "Biologie et Connaissance" (que nous noterons désormais "B et C") et "Psychogénèse et Histoire des Sciences" (que nous noterons "P et H") (41). Le deuxième est dans la lignée du premier et pourtant, nous y reviendrons, il n'y est jamais fait référence au premier, de 16 ans l'aîné !

Piaget va donner une nouvelle compréhension de ce que l'on peut considérer comme redevable du processus de récapitulation - ou, simplement, d'une comparaison. Dans "B et C", il pose le problème ainsi :

*"L'enfant de l'homme ne présente-t-il au cours de son développement que des caractères transmis par le langage, la famille et l'école ou fournit-il des productions spontanées ? En un mot, et pour ce qui est des caractères intellectuels, l'homme explique-t-il l'enfant ou l'enfant rend-il compte de l'homme ?*

le déplacement des caractères psychologiques vers les caractères intellectuels

"Plus loin, il explicite ce qu'il entend par "caractères intellectuels", en se démarquant de Freud et Baldwin : "le problème avait été soulevé par Baldwin puis par Freud, mais sur le **seul terrain de l'affectivité**" (42). Freud "se contentait" de constater que "l'attitude de l'enfant à l'égard des animaux présente de nombreuses analogies avec celle du primitif" (43), Piaget va s'intéresser à "la genèse des structures logico-mathématiques" (formulation dans "B et C", p. 124) ou "au développement psychogénétique portant sur le contenu même des notions successives et sur les instruments et les mécanismes de leurs constructions" (formulation de "P et H", p. 39). En changeant la compréhension de "la quatrième époque", pour garder la formulation de Baldwin, en **déplaçant et reconstruisant des stades**, Piaget est ainsi amené à chercher ses données comparatives dans un autre domaine que celui des comportements psychiques : il les cherche dans l'histoire des sciences. Cependant, nous devons signaler que ce changement de compréhension, dont on ne peut encore juger de la valeur épistémologique et heuristique, ne rend pas caduc le travail précédent sur

le déplacement du contenu aux mécanismes qui les sous-tendent

mais la position de Piaget sur "préformationnisme" et "épigénisme" n'est jamais nette

et même parfois contradictoire

heuristique, ne rend pas caduc le travail précédent sur Haeckel, Baldwin et Freud, car nous allons voir qu'elle soulève un certain nombre de questions qui prolongent les précédentes et un certain nombre de difficultés que l'on ne peut comprendre qu'en regard des précédentes analyses.

Une première difficulté surgit quand on cherche à comprendre la position de Piaget sur "l'épigénisme ou le préformationnisme". En effet, les formulations dans les deux livres-sources sont différentes. Les choses apparaissent clairement posées dans "B et C" : d'une part, il signale que, comme en histoire de l'embryologie où l'on est passé progressivement du préformationnisme à l'épigénisme, en matière de psychogénèse "on a commencé également par croire que la raison adulte était préformée en l'enfant, sous une forme innée et qu'il suffisait de meubler ce cadre formel, puis Rousseau a été le premier qui ait contesté que l'enfant soit "un adulte en miniature" ("B et C", p. 124-125). D'autre part, il considère que ce "problème de la préformation ou de l'épigénèse se retrouve en toute son acuité dans la discussion de chaque question d'ontogénèse des fonctions cognitives "tout en insistant, comme Freud le fit, sur le fait que "les divers aspects du comportement intellectuel sont des réactions phénotypiques et qu'un phénotype est le résultat d'une interaction entre le génotype et le milieu **mais il reste à comprendre le détail de cette collaboration entre le génôme et le milieu qui permette d'éviter à la fois le préformisme et la notion d'une action exclusive du milieu**" ("B et C", p. 35).

Dans "P et H", les formulations n'ont jamais la même évidence interrogative. Bien plus, une lecture attentive montre des formulations qui s'entrecroisent et s'opposent à quelques pages d'intervalle. Discutant, dans l'introduction, du problème de "la construction et de la préformation" (p. 25-27), Piaget et Garcia voient une preuve de

*la "fausseté de la thèse (selon laquelle) l'enfant n'invente rien et reçoit par éducation tout ce qu'il apprend" dans le développement spectaculaire auquel on assiste au cours des dix-huit premiers mois de la vie, alors que l'enfant ne parle pas encore \* et n'est dressé qu'à un petit nombre de conduites, cependant (que) les progrès de son intelligence témoignent d'une surprenante multiplication d'inventions et de découvertes (si bien que) le problème se pose de savoir s'il s'agit là de l'exécution d'un programme héréditaire ou encore de l'actualisation des possibilités impliquées dès le départ en des sortes d'intuitions synthétiques a priori".*

---

\* Mais entend ? (sourire !)

Préformation ? Que nenni ! Quelques pages plus loin, et **surtout non présenté comme un argument en regard du précédent**, nous apprenons que

*"les très longs et laborieux tâtonnements qui précèdent au cours de la psychogénèse (certaines propriétés opératoires fondamentales) seraient difficilement compréhensibles si ces opérations étaient programmées héréditairement, leur constitution tardive (aux environs de 7 ans) ne tenant alors qu'à la lenteur des maturations nerveuses et cela \* d'autant moins vraisemblable que, selon les dispositifs expérimentaux utilisés, on peut accélérer ou ralentir ces constructions".*

sa position sur le réductionnisme n'est pas claire non plus

**Une autre différence très importante** touche au second principe que nous avons discuté avec Freud, **celui du réductionnisme de la psychologie à de la physiologie**. Là encore, les modes de traitement sont très contradictoires dans les deux ouvrages. Certes, le titre "Biologie et Connaissance" est plus impliquant quant à la problématique psy-psy, mais il faut noter qu'il n'en est jamais fait mention, dans "P et H", et qu'il n'est pas plus fait référence aux résultats de "B et C" dans "P et H" ! Dans "B et C", Piaget discute longuement du problème dans ses deux composantes : l'intégration dans l'organisme "par fixation dans l'ARN" (p. 155) et "la fixation proprement héréditaire" (P. 155). Se ralliant à une sorte de néo-lamarckisme teintée de néo-darwinisme, Piaget fait la synthèse grâce à une critique de l'empirisme et de l'apriorisme : "les sujets ne construisent pas leurs connaissances uniquement soumis aux contraintes de l'objet" (p. 159) pas plus que les sujets "ne sont pourvus de catégories ou de "formes" variées (causalité, espace...) qui s'imposent à l'expérience à titre de conditions préalables" (p. 168). On reconnaît ici, bien évidemment, la position de Piaget sur **l'action** (encore qu'il faille faire attention sur ce que Piaget appelle "action", nous y reviendrons plus loin).

l'abandon de la recherche en termes de neuro-physiologie est sans doute révélateur de l'impossible réductionnisme

La séparation entre "l'action" et "l'objet" lui permet, alors, de soutenir un schéma possible, sans que Piaget, il faut bien le reconnaître, ne se lance dans une description fine : si ce qui relève de l'action peut se conjuguer avec "préformisme" et ce qui relève de l'objet se conjuguer avec "épigénisme", la description fine apparaît décidément impossible, même s'il y a eu, de "B et C" à "P et H", des progrès en neuro-physiologie et en génétique \*\*. Conservons l'idée que la gestion de tout modèle évoquant un quelconque parallélisme - onto/phy-

---

\* La conception héréditaire.

\*\* Ou à cause des progrès, peut-être.

Piaget propose un découpage encore plus rigoureux en "stades"

le modèle présente une contradiction aigüe : la notion de "contenus de savoir"

logénique ou non - impose, à un moment ou à un autre, la production d'hypothèses ad hoc sur les mécanismes organiques qui sous-tendent et rendent possibles le passage d'un niveau à l'autre. **Alors l'impossible réduction révélée par l'abandon de ce type de recherche dans "P et H" est bien le talon d'Achille de la méthode \***.

Nous avons vu, plus haut, que le parallélisme nécessitait un **découpage en stades** et un placement de ces stades sur la ligne des temps. Comme précédemment, Piaget modifie l'acceptation de "stade" par rapport à Freud \*\*. Piaget, dans "B et C" par exemple, critique l'usage qui est fait de la notion de "stade" par les psychologues en général et par Freud en particulier. Aux stades dont "la succession n'est pas constante et qui sont caractérisés par un caractère dominant", Piaget oppose, "sur le terrain de l'intelligence et non plus dans le domaine affectif, des stades "plus rigoureux" : il serre les boulons. "Leur succession est constante, ils sont caractérisés par une structure d'ensemble et les structures successives sont telles que chacune est préparée par la précédente et s'intègre dans la suivante" (p. 37). De stades à la définition encore plus précise que précédemment, nous pouvons craindre une sur-punctuation encore plus forte. Ce qui se produit effectivement par le jeu d'une **nouvelle et très forte contradiction et de deux réductions.**

La contradiction concerne le **rôle qu'il assigne aux contenus de savoir.** "Il est possible de dégager certaines analogies de contenus, portant sur les concepts utilisés pour comprendre et indiquer les phénomènes" ("P et H", p. 79). Dont acte. Piaget place les contenus sur la ligne des temps et assigne une position à l'émergence de la scientificité. En conséquence, souligne Piaget, "après qu'une discipline eût été constituée sous une forme scientifique, comme la physique après Newton, il n'est naturellement plus question de chercher de telles parentés de contenus entre ces concepts et ceux qui s'élaborent au cours de la psychogénèse, car ceux-ci, malgré le rôle nécessaire qu'ils jouent à titre pour ainsi dire embryogénétique, n'ont encore aucun des caractères théoriques de la pensée scientifique" ("P et H", p. 79). L'interrogation sur ce que l'on peut entendre par "carac-

---

\* Nous lisons cependant dans "P et H", p. 80 :  
*"Cela va de soi, il n'est pas le moins du monde question d'invoquer ici un parallélisme onto-phylogénétique au sens d'HAECKEL".*

Déclaration d'intention suivie de bien curieux effets !

\*\* Voir début du chapitre 3.

téristiques théoriques de la pensée scientifique" sera un point suivant mais remarquons la contradiction. Piaget et Garcia écrivent un peu plus loin que, pour la psychogénèse des structures géométriques, "contrairement à ce que nous disions de la psychogénèse de l'impetus qui portait sur une notion antérieure à la physique moderne et où l'on peut montrer un parallélisme assez détaillé entre les périodes de l'histoire de ce concept et les phases de sa psychogénèse, l'évolution de la géométrie déborde très largement de ce que l'on observe aux stades élémentaires" (p. 131). **Que se passe-t-il, alors, pour les stades de la géométrie avant qu'elle ne se constitue comme scientifique ?** Ne pourrait-on pas les reconstituer en regardant d'abord, cette fois-ci, les enfants ? Ou alors en nous tournant vers des civilisations (primitives ?) où la géométrie n'est pas encore inventée ?

Cette contradiction, nous le verrons plus loin, a le mérite d'éliminer toute possibilité d'une correspondance pour ainsi dire permanente entre l'histoire et le développement mental mais surtout elle va permettre un passage des contenus de savoir aux mécanismes cognitifs. En attendant, voyons les deux réductions.

la pensée de Piaget  
nécessite deux  
réductions :

La première réduction concerne **les stades en histoire des sciences**. Piaget et Garcia procèdent très exactement d'une manière qui ne peut que laisser l'historien des sciences moderne circonspect : ils produisent des effets de re-lecture où l'on décerne des bons points aux contenus propres, porteurs en fonction des hypothèses que l'on cherche à valider. Plusieurs fois, la démarche est d'ailleurs avouée : "à schématiser l'histoire de l'impetus, en négligeant les accélérations et les régressions qui ont pu se produire on peut distinguer quatre périodes" ("P et H", p. 80), puis "le choix des étapes est déterminé tant par des raisons pratiques de limitation qu'en fonction des objectifs précédemment annoncés" ("P et H", p. 61). En somme, la technique est celle du survol et l'on scrute l'histoire avec le grand bout de la lorgnette. Les grands stades peuvent apparaître. La même critique a déjà été portée à l'idée de "révolutions scientifiques" et "d'incommensurabilité des théories" \*. Nous avons montré (44), pour les microbes par exemple, que les théories se chevauchent, les arguments se télescopent, l'incommensurabilité n'apparaissant qu'après coup que par un gommage de tout ce qui peut porter

une en histoire des  
sciences : et il nous  
faut réfléchir à  
la façon de faire de  
l'histoire des  
sciences

---

\* Pour la microbiologie, on peut même dire que l'incommensurabilité est à l'oeuvre pendant les oppositions entre les théories mais, qu'après, la nouvelle théorie va revenir sur des points qu'elle récusait - par exemple, les toxines dont Pasteur nie l'"existence".

une sur la  
scientificité : et  
il nous faut  
être clair sur les  
attributs que nous  
lui prêtons

la part de l'individu  
et du social devient  
la part de l'objet  
et du sujet

atteinte à la séparation. La cause de ces gommages est extrêmement simple : de tels historiens des sciences utilisent uniquement les **résultats de savoir** alors que ceux-ci se sont décantés, ils n'utilisent pas les mêmes objets - se précipitant sur les textes de science-présentée et non sur les textes qui serrent au plus près la science en acte - les cahiers de laboratoire ou les comptes-rendus de l'Académie des Sciences où l'on trouve une science en train de se faire (45). Piaget et Garcia ne rendent donc pas compte des processus qui sous-tendent le passage d'une connaissance à l'autre dans son dynamisme mais des caractéristiques statiques qui séparent et distinguent les connaissances des unes et des autres. La différence est importante.

La deuxième réduction est celle de l'**idée de scientificité**. Cette dernière va présenter des avatars différents selon que l'on se trouve dans le champ de l'histoire des sciences ou dans le champ de la psychogénèse, mais ces avatars sont tout à fait cohérents ensemble. Si nous ne nous intéressons qu'aux simples théories physiques, la scientificité de celles-ci, pour Piaget \*, se matérialise par le lourd appareillage qu'elles mobilisent à partir d'un certain moment de leur histoire. Dès que ce seuil est dépassé, Piaget va s'intéresser essentiellement aux mécanismes cognitifs qui sont derrière ces théories. Du côté des enfants, dans B et C, Piaget distingue l'expérience logico-mathématique de l'expérience physique en notant que, dans la deuxième, "la connaissance acquise est tirée de l'objet lui-même, en tant que son poids et son volume (par exemple) lui appartiennent déjà avant l'action du sujet" (p. 428). Cependant cette idée va évoluer entre "B et C" et "P et H". Sur l'idée du mouvement aristotélien que l'on retrouve chez les petits genevois, Piaget estime "qu'elle est due au sens commun des Grecs au temps du Stragirite (faute de toute expérience du machinisme actuel et de tout soupçon du principe d'inertie), et ce sens commun raisonne à la manière des enfants sur ce terrain physique particulier" ("B et C", p. 124). Le même passage sur le mouvement aristotélien reçoit un autre traitement dans "P et H" (p. 93-94) : "ce qui semble en revanche **mystérieux** (c'est moi qui souligne) est l'accélération considérable que manifeste la succession des stades chez l'enfant par rapport à celle des périodes de l'histoire. La raison tient assurément au milieu social adulte dont l'action continuelle se traduit par de multiples incitations et par des problèmes sans cesse renouvelés. Mais cela ne signifie nullement que les réactions de l'enfant lui aient été dictées par un simple ap-

---

(\*) Et pour BACHELARD.

oui, mais quel  
objet et quel sujet ?  
l'objet biologique  
est beaucoup plus  
complexe que l'objet  
logico-mathématique  
et ne s'y laisse pas  
réduire

prentissage : que l'atmosphère intellectuelle ambiante le pousse à la quantification ne revient qu'à soulever de nouvelles questions et il reste au sujet la nécessité de construire lui-même ses instruments de solution."

L'harmonie se fait donc puisque, même dans le cas de la connaissance expérimentale, Piaget a maintenant déplacé le problème de l'objet au sujet (certes en action sur l'objet). Ce choix a deux conséquences, là encore en complète harmonie, mais qui pour nous, sont terriblement importantes :

1) En renvoyant l'ensemble à du logico-mathématique, Piaget ne sait que faire, et ne fait rien d'ailleurs, de la connaissance biologique. Deux piagétiens, que l'on peut considérer comme trop dogmatiques, Bernstein et Cowan ont, par exemple, voulu faire entrer de force les conceptions des enfants sur "comment les gens ont des bébés" dans les stades piagétiens (46). Nos travaux montrent au contraire que les enfants ne se répartissent pas dans des statistiques aussi précises que ces auteurs le considèrent. On serait donc bien en peine de décrire les connaissances biologiques en terme de logico-mathématique. Le texte qui suit, sur le passage des microbes à travers le placenta, en est une preuve éloquente.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 10 août 1885.

---

PHYSIOLOGIE PATHOLOGIQUE. — *Passage des microbes pathogènes de la mère au fœtus*. Note de M. Koubassoff, présentée par M. Pasteur.

« Nous examinons dans cette Note le passage du *vibron septique*, du rouget et des bacilles tuberculeux, de la mère au fœtus.

» Pour prouver la vraisemblance du passage des microbes en général de la mère au fœtus, nous avons fait deux expériences avec le *vibron septique*, lequel est un micro-organisme anaérobie qui ne se développe pas dans le sang oxygéné. A cause de cette circonstance, le passage de ce microbe de la mère au fœtus est le moins vraisemblable. En conséquence, si l'on constate dans les fœtus les bacilles du *vibron septique* inoculés à la mère, on sera conduit à admettre, comme très vraisemblable, le fait général du passage de tous les microbes de la mère au fœtus, et l'on sera conduit à supposer l'existence, dans le placenta, de communications directes entre les vaisseaux de la mère et des fœtus.

» Voici les expériences qui prouvent ce passage :

» Le 30 janvier, à 9<sup>h</sup>30 du matin, on a inoculé à une cobaye pleine 3 divisions de la culture anaérobie de *vibron septique*. Elle mourut le lendemain à 10<sup>h</sup>30<sup>m</sup> du matin; l'autopsie a été faite tout de suite. On a trouvé 5 fœtus de 0<sup>m</sup>,08 de longueur. On a fait des cultures anaérobiques de leurs organes et de leurs cavités et les organes furent placés dans l'alcool. On a fait douze ensemencements anaérobiques, dont seulement quatre furent féconds. En examinant les coupes des organes des fœtus on a constaté très rarement les bacilles.

» Le 2 mars, à 9<sup>h</sup> du matin, on a inoculé à une cobaye pleine 2 divisions de la culture de *vibron septique*.

» Elle mourut le lendemain à 1<sup>h</sup> après-midi. On a fait l'autopsie de l'animal encore chaud et l'on a trouvé trois fœtus à peu près de 0<sup>m</sup>,06 de longueur. On constatait dans les coupes de leurs organes relativement plus de bacilles que dans l'expérience précédente.

et si on remplaçait "mécanismes cognitifs et opérations" par "modes de pensée"

quant au sujet, il renvoie, bien sûr, au langage, support de son contact avec l'objet

or Piaget l'élimine !

Le résultat de savoir est bon : certains microbes passent à travers le placenta. Mais c'est l'interprétation qui pose question : il y a des communications vasculaires entre la mère et le fœtus. Comment expliquer cela ?

- D'une part, on a à l'oeuvre les oppositions entre une interprétation mécaniste et une interprétation vitaliste d'un phénomène. Par deux fois, cela joue ici : d'abord le microbe est vécu comme une particule physique, incapable de produire lui-même son trou à travers la membrane placentaire (et cela rappelle les travaux de Flourens avec de la garance), d'autre part, le filtre placentaire est interprété comme le filtre mécanique où seule importerait la grosseur des mailles.

- D'autre part, on a à l'oeuvre la volonté de se servir d'un résultat pour interpréter des hypothèses qui appartiennent à un autre champ de savoir : ici le télescopage entre la science sur les microbes et la science sur le placenta.

On ne peut évidemment pas parler de "mécanismes cognitifs" et encore moins "mécanismes opératoires" dans ce cas comme dans d'autres en biologie. On peut simplement avancer : "modes de pensée".

2) En renvoyant le poids de l'objet dans la construction des connaissances à une simple accélération dans le développement, **il diminue le poids du langage** (et de "la tradition") dans cette même construction des connaissances. C'est là, on le sait, une dominante dans la pensée piagétienne. Que l'on songe par exemple à "La genèse des structures logiques élémentaires" dont c'est le thème récurrent - avec le fameux exemple de la chauve-souris classée à 9 ans parmi les oiseaux et qui sort du groupe des oiseaux dès l'instant où la connaissance biologique, apportée par d'autres biais, peut enfin contrecarrer la connaissance logique.

On comprend l'importance de ces deux positions, par ailleurs extrêmement liées si l'on considère que l'on parle de biologie aux enfants plus souvent qu'on ne leur parle mathématique (ce qui n'est pas complètement évident!) : la biologie doit être exclue de toute réflexion sur le parallélisme, d'une part, le langage (et la tradition) n'intervient que peu dans **tous** les mécanismes (y compris les logico-mathématiques) qui font que les enfants construisent leur savoir.

Moyennant ces deux réductions et leurs conséquences, les résultats de Piaget et Garcia apparaissent, au final, comme extrêmement... limités.

Enonçons-les.

- Le premier concerne "le processus général caractérisant tout progrès cognitif" : "le dépassé est toujours intégré dans le dépassant" ("P et H", p. 41). Il n'y a rien de nouveau puisque c'est le résultat auquel arrivait Ba-

deux conclusions,  
à portée limitée, de  
Piaget, rappellent  
Bachelard

chelard avec sa dialectisation des concepts (47).

- Le deuxième concerne "le processus qui fait que l'on passe de l'analyse des objets à l'étude des relations puis à la construction des structures" ("P et H" p. 41). C'est aussi le résultat que Bachelard obtient dans la caractérisation du passage de l'état préscientifique à l'état scientifique puis au nouvel esprit scientifique \*.

Les résultats sont faibles, donc. Sont-ils pertinents ou, tout simplement, sont-ils heuristiques ? On ne sait, tant ils proviennent de réductions dont on peut douter du caractère épistémologiquement valide.

Chemin faisant, nous avons cependant glané des pistes pour tenter de sortir de l'impasse dans laquelle nous mène la recherche d'un quelconque parallélisme. Nous devons notamment renoncer à tout réductionnisme à la physiologie, à quelque niveau qu'on la prenne. Mais d'autres pistes nous sont apparues qui sont admirablement résumées dans deux passages de Bachelard trop peu connus.

cependant, nous  
avons appris à  
renoncer au  
réductionnisme

Le premier provient de "la formation de l'esprit scientifique" (48). Bachelard expose sa méthode pour parler des obstacles épistémologiques : tout savoir scientifique étant à tout moment reconstruit, ses "démonstrations épistémologiques auront tout à gagner à se développer au niveau des problèmes particuliers, **sans souci de garder l'ordre historique**". Il considère, par ailleurs, que, s'il faut bien reconnaître une loi des trois états pour l'esprit scientifique, à tout moment, pour tout individu et toute notion, on assiste à une combinatoire complexe de mécanismes. Cette combinatoire complexe est exprimée par l'outil complémentaire de Bachelard, son "profil épistémologique".

mais aussi à  
renoncer au pa-  
rallélisme en cassant  
l'ordre historique  
(comme l'écrit  
Bachelard)

Et voici le second passage : "un profil épistémologique doit toujours être relatif à un concept désigné, vaut pour un esprit particulier qui s'examine à un stade particulier de sa culture" (49). Ceux qui voulaient faire de Bachelard un "internaliste" en sont pour leurs frais. Si Bachelard reconnaît des contenus à une notion, s'il renvoie ces contenus à ce que l'on ne peut pas appeler des "mécanismes cognitifs" mais, plutôt, des "modes de pensée", avec leurs obstacles, qu'il place sur une échelle progressive, il insiste sur **le particulier, le singulier et la**

---

\* LINNE est un bon contre-exemple : il travaille en même temps sur les objets (la classification) et sur les relations entre les objets (il écrit "la Police de la Nature", voir **l'équilibre de la nature**, Paris : Vrin, 1972).

et en recherchant  
le travail social  
sur la science  
(comme l'écrit encore  
Bachelard)

quels sont les  
processus réels  
de construction  
des connaissances ?

comment se constitue  
le savoir socialisé  
par rapport au  
savoir scientifique ?

**culture**, "à des processus de formation sociale des concepts dans la psychogénèse". Il n'y a aucune ambiguïté à ce sujet. Non seulement Bachelard casse l'ordre historique mais nous propose de penser que la culture intègre et dépasse la croissance historique des idées.

Ce sont, en définitive, quatre questions sur lesquelles nous devons continuer à apporter des réponses pour avancer dans le sens d'une mise en relation opératoire entre "la construction historique des connaissances" et "la construction personnelle des connaissances :

1) Quels sont les processus réels de construction des connaissances dans un cas comme dans l'autre ? Souvenez-vous de ces phrases d'Abraham Moles :

*"On ne saurait trop insister sur la différence entre la science mise en forme, celle des traités, des cours, des publications, et la science en train de se faire, les processus heuristiques du raisonnement et de la création intellectuelle. Non seulement l'échelle des valeurs y est changée (rôle de la rigueur, par exemple), mais le mécanisme même des raisonnements, le sens attribué aux termes : vérité, déduction, croyance, etc...y est différent. Cette différence passe généralement sous silence, les scientifiques accréditant la forme achevée et péremptoire de la connaissance mise en forme et laissant les divergences, le rôle des opinions, les sous-structures provisoires, les embardées de la création rationnelle ou les procédés dont ils n'ont pas toujours conscience nette et qui font jaillir la découverte" (50).* Mais gardons aussi à l'esprit l'idée qu'il ne faut pas confondre deux situations d'apprentissage différentes : une première qui consiste "à construire un savoir à partir des données immédiates de l'expérience, exactement comme un chercheur au laboratoire" et une deuxième qui consiste "à construire un savoir à partir d'un savoir socialisé", comme l'indique Victor Host (51). Si la première renvoie au questionnement de Moles, l'autre ouvre notre deuxième question :

2) Comment se construit le savoir socialisé qui va servir de base à la construction du deuxième savoir ? Pour chaque notion, il convient d'analyser les transformations qu'elle subit dans ses différents niveaux d'exposition : du cahier de laboratoire au... cahier de classe, pourrait-on dire, via la communication aux Académies, les cours puis les outils de vulgarisation. Peu de travaux existent en la matière. A cette deuxième question s'ajoute tout naturellement une troisième :

3) Quel impact la Société peut-elle avoir sur cette construction au deuxième degré. Le problème était déjà soulevé par Piaget et Garcia : une différence reste maintenue entre "les mécanismes de l'acquisition de la connaissance qu'un sujet à sa disposition" et "la façon dont l'ob-

la société peut-elle  
mieux intégrer  
le savoir scientifique  
et comment ?

jet à assimiler est présenté à un tel sujet", la société pouvant modifier "les relations entre l'objet et le sujet" ("P et H", p. 295). C'est tout le sens qu'il faut attribuer à ce que les mêmes auteurs appelaient "la mystérieuse accélération". Quand il décrit son profil épistémologique de la notion de masse, Bachelard reconnaît les reliquats des étapes passées, des formulations anciennes qui correspondent, selon lui, à l'enracinement dans l'individu des présentations culturelles du concept qu'on lui a faites. Cela signifie qu'à chaque étape de sa vie de concept, un concept est socialisé et que cette socialisation vient s'ajouter aux socialisations précédentes et que toutes ces socialisations différentes viennent se fondre dans sa vie à lui, Bachelard. La société peut alors avoir à démêler l'écheveau ... pour aller plus vite !

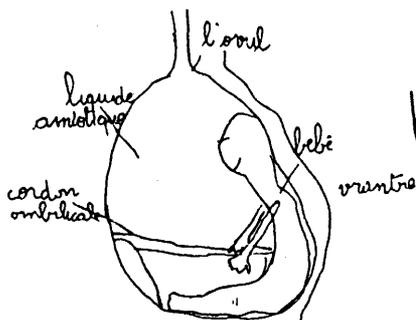
peut-on mieux  
comprendre la fonction  
du langage et  
des autres modes  
de communication,  
de re-présentation ?

4) Enfin la quatrième question est très exactement dans la ligne opposée d'une phrase de Piaget dans "La genèse des structures logiques élémentaires. Quand il tente de "serrer au plus près ce rôle du langage", il estime que "le langage articulé, socialement transmis par l'éducation, ne semble pas ainsi nécessaire à la formation des structures opératoires" (52). Ainsi donc cette quatrième question est : quel type d'intervention à la langue ou, beaucoup plus généralement, quels types d'intervention ont les différents modes de communication sur les mécanismes opératoires, les fonctions cognitives, les modes de pensée ? Non seulement Bruner, par exemple, estime avoir démontré que les mécanismes opératoires eux-mêmes ne s'acquièrent que par l'intériorisation du langage (53), mais d'autres auteurs nous entraînent dans de nouvelles et riches directions. Dans "La raison graphique", Jack Goody montre le rôle d'autres modes de présentations : l'invention de l'écriture, le tableau, la liste, les recettes, ces "changements de mode de communication par rapport au simple langage" ont grandement influé "dans le développement des structures et des processus cognitifs, dans l'accroissement du savoir et des capacités qu'ont les hommes à la stocker et à l'enrichir" (54).

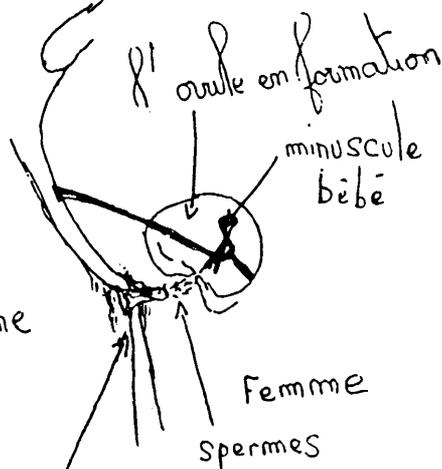
En particulier, ils rendent possible une nouvelle façon d'examiner le discours par rapport à la forme semi-permanente que lui donnait le message oral. Ce sont de véritables "moyens d'inspection" qui accroissent tout à la fois "le champ de l'activité critique, la rationalité, la pensée logique en faisant des dichotomies, des éléments autres".

- "- Et du côté de la maman, que fait-elle pour le bébé ?
- Comment ça ?
  - Bien, le papa donne les graines, les spermatozoïdes. De l'autre côté, le bébé est bien dans le ventre de la maman ?
  - Ouais.
  - Quel est le rôle de la mère ?
  - Elle doit mettre dans l'ovule, un truc comme ça.
  - L'ovule, qu'est-ce que tu appelles "l'ovule" ?
  - Le truc, là.
  - La poche ?
  - Ouais.
  - Alors, c'est le rôle de la maman : fournir la poche, c'est ce que tu veux dire ?
  - Et puis elle donne à manger et l'air pour respirer."

AVANT  
 quand le père se marie avec la mère, la graine du père rien dans l'ovule de la mère et c'est comme ça que le bébé apparait



le bébé est enfermé dans l'ovule



l'homme et la femme ont des rapports

"L'oeuf ou la vésicule fournie par la femme comprend tout l'arrière-faix, c'est-à-dire le placenta et les enveloppes du foetus. Le ver fourni par l'homme fait proprement le foetus et la femme fournit le nid".  
 De Lignac, De l'Homme et de la Femme dans l'Etat du Mariage, 1772, p.443.

La femme est-elle condamnée à n'être qu'un hôtel-restaurant ? On remarquera ici le jeu des enfants sur le langage : jeu sur le sens (la graine va DANS l'ovule) et jeu sur le son (assonance ovule-bulle), et le résultat final : la graine du papa donne le bébé et l'ovule de la maman l'enveloppe...

Peut-être la recherche d'un modèle unifiant n'est-elle, après tout, qu'une tentative pour se rassurer en se convaincant que tous les hommes partagent "certains sentiments, désirs et envies" (55). Hélas, le simple est toujours complexe.

Daniel RAICHVARG  
Ecole Normale de Livry-Gargan  
LDES, Université de Genève

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) André GIORDAN et al. **Histoire de la biologie**. tome 1. Paris : éd. Lavoisier. 1987. Voir l'introduction générale que nous avons écrite avec A. GIORDAN.
- (2) Imre LAKATOS. "The Teaching of History of Science", in **Mathematics, science and epistemology**. Cambridge University Press. 1980. p. 254. (texte original de 1963).
- (3) Bronislaw BACZKO. **Une éducation pour la démocratie**. Paris : Collection "Les classiques de la politique". Textes et projets de l'Epoque Révolutionnaire. P. 180.
- (4) Ibid. P. 190.
- (5) Ibid. p. 192 et 205. notamment.
- (6) Georges CANGUILHEM et al. **Du développement à l'évolution au XIXème siècle**. Paris : PUF. 1985. 2ème édition. p. 48. Ouvrage de référence.
- (7) Stephen Jay GOULD. **Le pouce du Panda**. Paris : Grasset. 1982. p. 154-161.
- (8) On peut aussi lire de GOULD "**La Mal-mesure de l'Homme**". Paris : Editions Ramsay. University Press. 1977, sur lequel nous reviendrons pour, très légèrement, le contester dans son interprétation du récapitulationnisme de Freud.
- (9) Georges CANGUILHEM et al. op. cit. p. 44. Par la suite, nous le désignerons dans le texte sous la forme de "CANGUILHEM" seulement.
- (10) Ibidem. p. 51.
- (11) Ibidem. p. 50.
- (12) Ibidem. p. 47.
- (13) Solomon KATZ. "Anthropologie sociale/culturelle et biologie". in **L'Unité de l'Homme**. Paris : Seuil. 1974. p. 534-535.
- (14) CANGUILHEM et al. op. cit. p. 47.
- (15) Ibidem. p. 49.

(16) Ibidem. p. 49.

(17) Ibidem. p. 44.

(18) J. BALDWIN **Mental development in the child and the race**. 1985. cité par CANGUILHEM et al., op. cit. p. 50.

(19) Voir, pour Stephen Jay GOULD, notamment. **La Mal-mesure de l'Homme**. op. cit. p. 122. GOULD ignore (volontairement ?) la façon dont FREUD tient compte, à l'image de BALDWIN, de la place de l'enfance. Voir, pour Emile JALLEY. **Wallon, lecteur de Freud et Piaget**. Paris : Terrains/Editions sociales. 1981. nombreux passages.

(20) Sigmund FREUD. **Trois essais sur la théorie de la sexualité**. Paris : Galimard. Edition de 1962. p. 9.

(21) Sigmund FREUD. **Introduction à la psychanalyse**. Paris : Petite bibliothèque Payot. Edition de 1971. p. 184.

(22) Sigmund FREUD. **Trois essais...**, op. cit. p. 182.

(23) Ibidem. p. 93.

(24) Geza ROHEIM. **Origine et fonction de la culture**. Paris : Gallimard. 1972 (1ère éd. 1943) Collection Idées. p. 145. Les cinéphiles en concluront qu'il faut habiller Max.

(25) Olivier et Varenka MARC. **L'Enfant qui se fait naître**. Paris : Buchet-Chastel. 1981. La décence intellectuelle obligerait pourtant à taire leurs noms.

(26) Emile JALLEY. op. cit. p. 61.

(27) Sigmund FREUD. **Totem et tabou**. op. cit. p. 103.

(28) Emile JALLEY. op. cit. p. 75-76.

(29) Stephen Jay GOULD. op. cit. p. 122-123.

(30) Claude LEVI-STRAUSS. **Les structures élémentaires de la parenté**. Paris : Mouton. 1967. 2e édition. voir notamment. p. 146-150.

(31) Walter BENJAMIN. "Problèmes de sociologie du langage", in **Essais 2. 1935-1940**. Paris : Denoël-Gonthier. 1971. p. 10-12.

(32) Luwig WITTGENSTEIN. **Remarques sur le rameau de Frazer**. Paris : l'Age d'Homme. Collection le Bruit du Temps. 1981. p. 21. Comme BENJAMIN contre LEVI-BRUHL. il ne s'agit pas de critiquer les faits rapportés par FRAZER - tous extrêmement intéressants - mais l'interprétation qu'en donne l'auteur.

(33) Walter BENJAMIN. op. cit. p. 12.

(34) Sigmund FREUD. "L'hérédité et l'étiologie des névroses". in **Névrose, psychose et perversion**. Paris : PUF. 1973. p.51.

- (35) Daniel LAGACHE. **La psychanalyse**. Paris : PUF. Collection Que sais-je ?. p. 29-32. 1976.
- (36) Sigmund FREUD. **Extracts from the Fliess Papers**. trad. D. RAICHVARG. FREUD y met tout simplement en cause le couple structure-fonction.
- (37) Claude BERNARD. cité par Docteur CABANES. in **L'Histoire éclairée par la clinique**. Paris : Albin MICHEL. 1920. p. 49 et p. 53.
- (38) Maurice MERLEAU-PONTY. **La Structure du comportement**. Paris : PUF. 1967 et Pierre KARLI. **L'Homme agressif**. Paris : Odile Jacob. 1987. p. 64 à 74 notamment. On peut ajouter l'ambigu (au niveau du titre) Homme Neuronal.
- (39) Emile JALLEY. op. cit. p. 105.
- (40) Ibidem. p. 106.
- (41) Jean PIAGET. **Biologie et Connaissance**. Paris : Gallimard. Collection Idées. 1967. Jean PIAGET et Rolando GARCIA. **Psychogénèse et histoire des sciences**. Paris : Flammarion. Nouvelle Bibliothèque Scientifique. 1983.
- (42) Jean PIAGET. **Biologie et Connaissance**. p. 124. Pour la suite.
- (43) Sigmund FREUD. **Totem et tabou**. op. cit. p. 147.
- (44) Daniel RAICHVARG. "Vers la compréhension des êtres infiniment petits", in **Histoire de la Biologie** sous la direction d'A. GIORDAN. Paris : Lavoisier. 1987.
- (45) Voir sur ce sujet l'ancien mais fort intéressant livre d'Abraham MOLES : **La création scientifique**. Genève : Kister. 1957.
- (46) BERNSTEIN and COWAN. "Children's concepts of how people get babies", in **Enfance et Sexualité. Actes du Symposium International**. Montréal : Etudes Vivantes. 1979. p. 320-343 et Daniel RAICHVARG. **Représentations enfantines sur quelques concepts de la Sexualité**. Mémoire de DEA. UER de Didactique des disciplines. Université Paris VII. 1983. non publié.
- (47) Voir par exemple, la belle analyse qu'en fait Olivier ROY (**Le Nouvel esprit scientifique**. Paris : Pédagogie Moderne. 1979. Lectoguide. p. 25-26).
- (48) Gaston BACHELARD. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris : PUF. 1970. p. 8. C'est moi qui souligne.
- (49) Gaston BACHELARD. **La philosophie du Non**. Paris : PUF. 1970. p. 43. 5e édition.
- (50) Abraham MOLES. op. cit. p. 28.
- (51) Victor HOST. Conférence faite à l'école normale de Guéret. 1982. non publiée.
- (52) Jean PIAGET. **La genèse des structures logiques élémentaires** DELACHAUX et NIESTLE. p. 11-12.
- (53) Maurice REUCHLIN. **Psychologie**. Paris : PUF. 1981. p. 236.

(54) Jack GOODY. **La raison graphique ou la domestication de la pensée sauvage.** Paris : éditions de minuit. 1979. p. 86.

(55) Bruno BETTELHEIM. **Les blessures symboliques.** Paris : Gallimard. 1971. p. 10. collection Tel.

**DU TERRAIN AU LABORATOIRE :**  
**REAUMUR ET L'HISTOIRE DES FOURMIS**

**Jean-Marc Drouin**

*Écrit il y a près de deux siècles et demi, resté longtemps inédit, exhumé il y a cinquante ans par un entomologiste américain, L'histoire des fourmis de Réaumur peut intéresser le pédagogue autant que l'historien. En effet, l'observation et l'expérimentation, le récit des expériences et l'analyse de ce qu'on appelle aujourd'hui les représentations, s'y trouvent mêlés d'une manière qui peut éclairer les pratiques actuelles d'enseignement et de vulgarisation dans ce domaine.*

oubliés ou  
ressuscités ?

Parmi les textes scientifiques anciens, il est difficile de ne pas éprouver une tendresse particulière pour les textes "redécouverts". Une étude qui est passée inaperçue du vivant de l'auteur et à qui la postérité rend justice, c'est un peu une promesse de résurrection, une version laïque de la consolation aux affligés ; c'est au moins la preuve qu'on peut faire appel devant l'histoire du jugement des pairs. On sait en particulier combien la manière de présenter Mendel a été longtemps dominée par cette thématique du génie méconnu. Dans ce panthéon des textes ressuscités, une place à part devrait être réservée à L'histoire des fourmis de René-Antoine Ferchault de Réaumur (1). Resté à l'état de brouillon, parmi ses manuscrits, ce mémoire aurait dû prendre place dans le tome VII des Mémoires pour servir à l'histoire des insectes qui ont assuré à leur auteur la place qui est la sienne dans l'histoire de l'entomologie. Exhumé des archives de l'Académie des sciences à la demande de l'entomologiste américain William Morton Wheeler qui le publia en 1926 aux États-Unis, il fut mis à la disposition du public français en 1928.

On trouvera dans l'introduction de l'édition américaine toute l'histoire du manuscrit et de sa redécouverte dans les archives de l'Académie des Sciences. Wheeler cite en particulier un article de Flourens en 1860 qui mentionne l'existence dans les papiers inédits de Réaumur d'un mémoire sur les fourmis. Reste cependant sans réponse la question de savoir pourquoi Réaumur n'a pas publié ce texte ; ce qui revient en fait à savoir pourquoi il n'a pas terminé ses Mémoires pour servir à l'histoire des insectes...

Maeterlinck a pu écrire que ce texte, étant resté inédit, n'avait "exercé aucune influence sur les entomologistes du siècle dernier" et que cependant on y trouvait "en germe et souvent mieux qu'en germe, c'est-à-dire pres-

texte  
fondateur...

que à l'état parfait, un certain nombre d'observations qu'on croirait d'avant-hier." (2)

L'auteur de La vie des fourmis ajoute : "Ce petit traité, d'ailleurs inachevé et qui ne compte qu'une centaine de pages, renouvelée ou plutôt instaurée la myrmécologie telle qu'on l'entend aujourd'hui". Le paradoxe mérite qu'on s'arrête un instant : voici donc un texte fondateur qui n'est lu que deux siècles plus tard au moment où tout ce qu'il contenait a été redécouvert par d'autres auteurs. Pour citer encore Maeterlinck, Réaumur est "le véritable père de la myrmécologie" mais "c'est un père que ses enfants n'ont pas connu", paternité toute mystique comme on le voit... Il est à noter que Réaumur a toujours été célèbre comme physicien et que le succès de ses études sur les abeilles, les guêpes, les papillons était tel qu'on l'a surnommé "le Plin des insectes." (3)

Ce texte sans postérité immédiate, sans effet sur les contemporains, n'échappe pas pour autant à l'histoire : il est de son époque, il se situe par rapport à des textes antérieurs. Toutefois l'obscurité dans laquelle il est resté pendant près de deux siècles met une distance singulière entre sa rédaction et les éventuelles réinterprétations postérieures. Souvent les textes, ceux de Darwin par exemple, nous parviennent enveloppés dans les lectures successives qui en ont été faites aux différentes époques ; ces lectures sont faites en fonction d'un état du savoir qui lui-même est en partie le produit du texte que l'on veut lire ! Ici au contraire, le texte s'offre à nous avec la fraîcheur d'un insecte fossilisé dans un morceau d'ambre ou d'une ville ensevelie par un volcan. Sans influence sur le développement ultérieur de la discipline, le texte de Réaumur en trace par avance certains contours.

... ou texte  
marginal ?

Vue ainsi, L'histoire des fourmis apparaît non comme un texte fondateur de la myrmécologie mais comme un texte marginal au sens d'un texte écrit dans la marge, et qui souligne, d'avance ou après coup selon qu'on parle de son écriture ou de sa publication, quelques-uns des problèmes-clés de la discipline et en premier lieu l'anthropomorphisme qui est le plus évident et le plus difficile peut-être des obstacles que rencontre l'étude scientifique des fourmis.

### Critique de l'anthropomorphisme

Réaumur consacre les premières lignes du texte à la bonne réputation dont jouissent les fourmis et il fournit d'emblée la clé de celle-ci :

*"Quoique nous n'ayons pas toujours à nous louer des fourmis on est assez généralement bien disposé pour elles ; on n'a point pour elles de ces aversions qu'il est assez ordinaire d'avoir pour tant d'autres insectes. Une des vertus les plus utiles à la société est l'amour du*

"de petits hommes plus parfaits que les grands"

travail ; nous aimons les hommes laborieux, et nous sommes portés à aimer de petits animaux qui le sont à un point où il serait à désirer que tous les hommes le fussent". (p. 9).

Toutefois cette bienveillance ne va pas sans quelque inconvénient si de la fascination devant l'activité de la fourmilière on passe à l'éloge de son organisation. Selon l'expression de Réaumur :

"on ne s'est pas tenu à admirer ce qu'elles nous permettent de voir. On a cherché à interpréter à leur avantage toutes leurs actions, celles mêmes dont les motifs sont le moins pénétrables." (p. 10)

De là procèdent quantité de récits légendaires rapportés par les naturalistes des siècles passés : les fourmis feraient preuve de pudeur, elles auraient leurs jours de fêtes chômés, leurs foires où elles échangeraient leurs produits, leurs funérailles (4)... En un mot :

"on a voulu faire des fourmis de petits hommes plus parfaits que les grands, auxquels on les a proposées comme des modèles à imiter." (p.13)

Pour Réaumur, le fait que ces fictions aient pu être reçues par des auteurs anciens témoigne des "progrès de l'esprit humain" ; en effet, dit-il :

"ce que des savants ont débité autrefois sérieusement à d'autres savants, à peine aujourd'hui des nourrices crédules le conteraient-elles à leurs enfants." (p. 12)

On retrouve dans ces lignes l'esprit qui anime le premier des Mémoires pour servir à l'histoire des insectes publié en 1734 et dans lequel Réaumur critique le finalisme et l'anthropomorphisme. Dans tout cet aspect de sa pensée, l'auteur des Mémoires est bien un homme du siècle des Lumières, même si par d'autres aspects, il se distingue de l'esprit des encyclopédistes (5). En fait, il est sans doute philosophiquement plus proche de Descartes que de Diderot. Loin d'être matérialiste, Réaumur admire la sagesse divine d'avoir réalisé de grandes oeuvres avec des moyens très simples, mais il met en garde contre les éloges puérils appuyés sur une prétendue connaissance des causes finales :

"Tout ce que nous voulons conclure, c'est que nous devons être extrêmement retenus sur l'explication des fins que s'est proposée celui dont les secrets sont impénétrables ; que nous louons souvent mal une sagesse qui est si fort au dessus de nos éloges. Décrivons le plus exactement qu'il nous est possible les productions, c'est la manière de louer qui nous convient le mieux".

(Mémoires, t.1, p.25)

Il est cependant plus aisé de critiquer l'anthropomorphisme que de l'éviter. Certes les fourmis n'ont pas de rites funéraires mais pourquoi ne pas appeler "cimetière" le lieu où elles déposent les cadavres qui encombrant leur fourmilière ? Réaumur lui-même compare les grandes fourmilières permanentes à des "villes" qu'il oppose

critique du finalisme

aux "établissements passagers" que construisent les espèces qui vivent comme des "Tartares" qui "campent pour ainsi dire", "toujours prêtes à quitter le lieu où elles s'étaient arrêtées, dès qu'il cesse d'avoir les commodités qui les avaient déterminées à le choisir" (p. 16). Il n'emploie pas le terme de "reine", lui préférant apparemment celui de "mère" mais il utilise plusieurs fois celui de "république", qui est d'ailleurs à prendre au sens ancien d'Etat et non comme désignant un type de régime.

Il faut distinguer ici comme chez les auteurs plus récents trois choses différentes :

- des termes métaphoriques comme "république", "reine", "ouvrières", "noces",

- des analogies didactiques qui permettent au lecteur de se représenter un comportement ou une structure par analogie avec ce qu'il connaît, comme lorsque Réaumur écrit :

*"les environs d'une fourmilière ont en petit comme ceux d'une grande ville, des chemins qui partent et qui se dirigent de différents côtés..."*

- des interprétations de comportements observés en terme de sentiments (entraide, attachement, vengeance...) dont il est douteux qu'ils aient un sens dans un groupe zoologique si éloigné des Primates.

En définitive Réaumur fait des termes métaphoriques, des analogies didactiques et des interprétations anthropomorphiques un usage plus modéré que beaucoup d'auteurs postérieurs. Il faut sans doute en voir la raison dans sa situation historique particulière : il vient de donner congé à la quasi-totalité des récits que se transmettaient jusque-là les naturalistes à propos des fourmis et il n'est pas encore devant un corpus considérable de connaissances antérieures à prendre en compte. Une comparaison serait à faire à ce propos avec les chapitres consacrés aux abeilles sur lesquelles on possédait déjà à l'époque un savoir pratique non négligeable. Il ne s'agit pas de prétendre pour autant que la myrmécologie se crée sur une table rase. Tout d'abord, l'idée même qu'existe au sein de l'entomologie une spécialité entièrement consacrée aux fourmis ne peut surgir que lorsque cette spécialité a atteint un développement suffisant pour justifier l'existence d'une discipline autonome avec ses institutions propres. Le même raisonnement vaut d'ailleurs pour l'entomologie toute entière par rapport à la zoologie (6). Ensuite, si Réaumur rejette le savoir légendaire c'est parce qu'il lui semble plus grave d'admettre une erreur que de rester dans l'incertitude, c'est aussi parce qu'il mesure les propos sur les fourmis à l'aune non de leur valeur poétique ou morale mais de leur capacité à être appuyés par une expérience réalisable et reproductible.

métaphores,  
analogies,  
et interprétations

## Le problème des fourmis ailées

Pour illustrer ce lien entre l'expérimentation et la critique des traditions, le meilleur exemple est sans doute celui des fourmis ailées. Si beaucoup de gens aujourd'hui croient que ces dernières constituent une espèce particulière de fourmis, les naturalistes avaient remarqué que les fourmis ailées provenaient des fourmilières d'où elles sortaient certains jours.

Il est difficile de savoir comment les fourmis ailées étaient perçues autrefois par les bûcherons, les bergers et tous ceux qui avaient souvent l'occasion de voir des fourmilières. Réaumur nous parle des éleveurs de perdreaux ou de faisans (p. 71-72) et de la manière dont ils trompent les fourmis pour prendre leurs "oeufs", c'est-à-dire en fait, comme le précise l'auteur, les larves et les nymphes ; il ne nous dit pas ce qu'ils pensaient des fourmis ailées. On trouve une indication intéressante dans *Don Quichotte*. Cervantes met dans la bouche de Sancho Pança le proverbe suivant : "Pour son mal les ailes sont venues à la fourmi" (II, 33, traduction de L. Viardot) ; et lorsqu'il abandonne son prétendu poste de gouverneur Sancho déclare : "Je laisse dans cette écurie les ailes de la fourmi qui m'ont enlevé en l'air pour me faire manger aux oiseaux" (II, 53).

La coexistence dans une même fourmilière de sujets de tailles et d'aspects différents mais appartenant à la même espèce avait ainsi été établie avant Réaumur. On connaissait depuis longtemps une situation analogue dans la ruche avec les reines, les faux-bourçons et les ouvrières, mais avec cette différence que toutes les abeilles ont des ailes, tandis que l'absence d'ailes chez la plupart des fourmis et leur présence, à certaines périodes, sur une partie d'entre elles rend le polymorphisme dans la fourmilière à la fois plus spectaculaire et plus malaisé à interpréter.

Swammerdan - l'un des seuls prédécesseurs de Réaumur qui trouve grâce à ses yeux - avait supposé que "les grosses fourmis ailées étaient les mâles", "que les grosses fourmis non ailées étaient les femelles" et enfin que toutes les autres fourmis à qui reviennent tous les travaux de la fourmilière étaient "dépourvues de sexe" (p. 47). Ce que n'a pas vu cet "attentif observateur" c'est d'une part qu'il y a d'autres fourmis ailées, plus petites, et d'autre part que si l'on dissèque les grosses fourmis non ailées on y trouve des oeufs comme dans les grosses fourmis ailées.

Réaumur pose alors la question :

*"Y-a-t-il donc dans une fourmilière deux sortes de femelles, des ailées et des non ailées ?"* (p. 48)

Et il répond ainsi :

*"... non il n'y en a qu'une sorte : les unes et les autres sont les mêmes vues en différents temps. Il arrive constamment aux fourmis ce qui n'arrive à aucun autre animal connu de la classe de ceux qui portent des ailes, el-*

ce que n'a pas vu  
Swammerdam

*les perdent les leurs" (p.48)*

Réaumur semble bien conscient du caractère paradoxal de cette affirmation qui est comme une image inversée de la vieille tradition qui voulait que les ailes apparaissent chez les fourmis à la fin de leur vie. Il lui faut beaucoup d'habileté pour montrer que son interprétation repose sur de tout autres fondements. Il résume d'abord l'ancienne conception en faisant ressortir son invraisemblance. En même temps il se garde de donner l'impression qu'il n'y aurait pas d'autres arguments en faveur de sa position que les faiblesses de la thèse adverse :

*"Les anciens naturalistes (...) ont assuré qu'après avoir été dépourvues d'ailes dans leur jeunesse et dans leur âge de vigueur, elles en prenaient dans leur vieillesse, que des ailes leur poussaient lorsqu'elles étaient devenues caduques et prêtes à mourir. On ne serait pas assez fondé à nier un fait si généralement avancé, si on avait qu'à y opposer qu'il ne paraît pas vraisemblable que des ailes aient été accordées aux fourmis simplement pour les faire périr avec plus de dignité ou comme le veut Cardan comme une consolation dans leur vieillesse ; qu'elles aient été accordées à des fourmis qui ne sont plus en état d'agir pour le bien de leur espèce. Mais ici ce qui semblait ne devoir pas être n'est pas." (p. 49)*

apothéose funèbre  
ou noces aériennes ?

La dernière formule sous-entend que la réalité est parfois "ce qui semblait ne devoir pas être" : l'auteur sait que le reproche d'invraisemblance est une arme à double tranchant, qu'on pourrait retourner contre lui. Il s'emploie par ailleurs à expliquer ce qui a pu faire naître la conception ancienne :

*"Après n'avoir vu dans une fourmière que des fourmis sans ailes, au bout de quelque temps on y en a vu d'ailées, et c'est de cette observation qu'on a conclu trop vite, que les fourmis qui avaient alors des ailes étaient de celles à qui on n'en avait pas vu".*

Enfin, et c'est évidemment le point décisif, il décrit "la manière aussi aisée que simple" de faire les "observations qui prouvent que les fourmis perdent naturellement leurs ailes." (p. 49)

Plus encore que sur cette ingénieuse présentation, l'argumentation s'appuie ici sur une double mise en relation, conceptuelle et méthodologique : conceptuelle en montrant que la question du polymorphisme est indissociable de celle du cycle de vie, et méthodologique en liant l'observation sur le terrain à l'élevage en laboratoire.

Tout d'abord, Réaumur raconte ses premières observations sur la fécondation. Il le fait sous forme narrative en une page dont la fraîcheur littéraire souligne la portée scientifique. L'auteur semble bien conscient de cette portée puisqu'il introduit son récit par une formule qui évoque celle de Pasteur sur le hasard qui ne favorise que les esprits préparés :

*"Peut-être pourtant n'eussè-je pas été instruit par le*

la rencontre du  
hasard et d'un esprit  
préparé sur une levée  
de la Loire, par une  
belle journée de  
septembre 1731

*premier hasard, qui me mit à portée de voir deux fourmis accouplées, si j'eusse moins connu ces petits insectes. Etant en route pour le Poitou, et me trouvant sur la levée de la Loire assez proche de Tours dans un des premiers jours du mois de septembre 1731 ; je descendis de ma berline, invité à me promener par la beauté du lieu, et par un air tempéré que la chaleur qu'il avait fait pendant le reste du jour rendait très agréable. Le soleil ne devait plus rester sur notre horizon que pendant une heure."*

Réaumur décrit ensuite les petits monticules sur lesquels se tenaient deux sortes de fourmis ailées, les unes pas plus grosses que les fourmis sans ailes, les autres nettement plus volumineuses (7). Il retrouve par la mémoire et il restitue par l'écriture cet instant fugace où le constat ne s'est pas encore dégagé de la perception.

*"Sur cette belle levée où je me promenais avec plaisir, paraissaient en l'air dans des endroits peu éloignés les uns des autres de petites nuées de gros mouchérons qui volaient très vite en tournoyant (...). Souvent la petite nuée se tenait dans l'air à une hauteur où la main pouvait atteindre. Je me servis d'une des miennes pour prendre de ces mouches, et j'en pris à bien des reprises différentes. Toutes celles dont je me rendis maître ne devaient pas m'être difficiles à reconnaître pour ce qu'elles étaient ; c'étaient des fourmis ailées, semblables à celles que je trouvais à chaque pas sur les petits tas de terre. Mais une remarque qui était aussi essentielle qu'aisée à faire, c'est que je les prenais presque toujours par paires. Non seulement j'en trouvais presque toujours dans ma main une grosse et une petite, le plus souvent je les prenais jointes ensemble, et je les y tenais pendant du temps sans qu'elles se séparassent. La petite était posée sur la grosse comme dans les accouplements des mouches ordinaires le mâle l'est sur la femelle. Le derrière de la petite fourmi était recourbé pour s'appliquer sur celui de la fourmi femelle ; et il y était si adhérent qu'il fallait avoir recours à la force pour l'en séparer. Le corps de ce petit mâle n'avait qu'à peine la moitié de la longueur de celui de la femelle, aussi ne pouvait-il couvrir que la partie postérieure du corps de celle-ci. Je pressai le corps de quelques-unes des grandes fourmis et j'en fis sortir des grappes d'oeufs."* (p. 52)

Après ce récit - qui est cité in extenso par Maeterlinck - Réaumur donne de plus amples précisions sur les vols nuptiaux et des indications sur la manière de capturer des fourmis en train de s'accoupler. Puis il en vient aux observations, "aussi aisées à faire que décisives", qui lui ont révélé la transformation des fourmis ailées en fourmis non ailées. Il les décrit "pour mettre en état de les répéter, ceux qui en auront envie". Après avoir capturé en l'air un couple et une femelle il les place dans une petite boîte et retrouve le lendemain l'une des femelles privée de ses ailes mais nullement affectée de cette

comment capturer  
les reines

perte. Les ailes étaient intactes sans aucun signe qu'elles aient pu être arrachées. Il répète l'expérience avec une seule fourmi prise en vol et obtient le même résultat. Avec des fourmis ailées prises sur une fourmilière, donc probablement encore vierges, la perte des ailes n'intervient qu'au bout d'une douzaine de jours.

polymorphisme et  
cycle de vie

Ainsi c'est avec une conscience aiguë de sa démarche que Réaumur établit le cycle complet de la vie d'une femelle fertile (oeuf, larve, nymphe, reine vierge ailée, reine fécondée aptère) et que, ce faisant il identifie les différentes formes qu'on trouve dans chaque espèce. Bien entendu, son interprétation ouvre la question du polymorphisme plus qu'elle ne la résout et en particulier elle laisse de côté l'analyse de son déterminisme. L'essentiel en fait est dans la méthode employée.

### Classification et expérimentation

"rien de plus  
remarquable que de  
légères différences"

L'existence de sujets ailés n'amène pas seulement une recherche sur le développement et la reproduction ; elle éclaire aussi une autre question, celle de la classification. Elle permet à Réaumur d'assurer que les fourmis, "parmi lesquelles on en trouve d'ailées en certaines saisons" sont "de vraies mouches de la classe de celles à quatre ailes." (p. 46) Le terme "mouche" est à prendre ici au sens d'insecte à ailes membraneuses. Cette catégorie comprend aussi bien des "mouches à deux ailes" (les mouches au sens courant et tous les autres Diptères) que des mouches à quatre ailes dans lesquels on retrouve nos actuels Hyménoptères, parmi lesquels les abeilles. On sait que ces dernières étaient couramment appelées "mouches à miel", l'expression utilisée par Réaumur lui-même à la page suivante. L'auteur précise d'ailleurs qu'il aurait dû traiter des fourmis à la suite des Ichneumons, famille qui appartient aussi aujourd'hui aux Hyménoptères (8).

Cependant cette brève remarque taxinomique insérée entre la description anatomique et l'exposé sur la fécondation reste relativement isolée dans l'ensemble du mémoire. Non seulement Réaumur n'ébauche aucune nomenclature savante, se contentant des noms courants ou de périphrases descriptives pour désigner les espèces, mais il considère l'établissement d'une classification rigoureuse et précise comme une entreprise vaine. Il le dit dès les premières pages du premier Mémoire :

*"Tant que cent et cent espèces de mouches et de très petits papillons ne nous offriront rien de plus remarquable que quelques légères différences dans la forme des ailes, dans celle des jambes, ou que des variétés de couleurs ou que des distributions différentes des mêmes couleurs, il me paraît qu'on peut les laisser confondues*

*les unes avec les autres."*

(Mémoires pour servir à l'Histoire des insectes, t.I, 1734, p. 2-3) (9).

Il le redit à propos des fourmis : elles présentent peu de différences de forme, de sorte que "quand on connaît bien la figure extérieure d'une fourmi on connaît assez celles des fourmis de toutes les autres espèces." (p. 14) Cette attitude l'amène à citer les Termites parmi les Fourmis alors qu'ils constituent aujourd'hui une famille bien distincte appartenant à un ordre très différent, les Isoptères.

Ce dédain d'une activité, la taxinomie, à laquelle on attribue d'ordinaire une grande place dans l'histoire naturelle le rapproche paradoxalement de Buffon qui n'accorde pas non plus beaucoup de valeur aux classifications. On a souvent opposé les deux hommes. Pour Réaumur, aucun objet de la nature n'est insignifiant. Pour Buffon, "une mouche ne doit pas tenir plus de place dans l'esprit d'un naturaliste qu'elle n'en tient dans la nature." (10) Pourtant au delà de la rivalité personnelle, de la divergence métaphysique, de la différence de "style scientifique" enfin, ce qui rapproche profondément les deux auteurs c'est d'être des physiiciens au sens du XVIIIème siècle, c'est-à-dire des physiologistes autant, sinon plus, que des naturalistes. Pour l'un comme pour l'autre, la nomenclature et la classification sont des démarches scientifiques assez mineures par rapport à l'expérimentation.

En ce qui concerne Buffon, l'intérêt pour l'expérimentation apparaît surtout dans des oeuvres de jeunesse comme sa traduction de La statique des végétaux de Hales, tant ses préoccupations ultérieures sont nombreuses et diversifiées. Chez Réaumur, cette tendance "expérimentaliste" qui l'amène à s'intéresser aussi bien à la thermométrie qu'à l'étude de la reproduction ou de la digestion, se manifeste dans l'étude des insectes par l'importance donnée à l'observation des comportements et surtout par la construction de matériel d'élevage et d'observation.

On a vu que le problème de la perte des ailes chez les reines fécondées avait été résolu en observant les fourmis ailées sur le terrain puis en plaçant certaines dans des conditions d'isolement. Ce n'est pas la seule expérience que rapporte Réaumur ; il fait constamment référence aux récipients dans lesquels il place ses fourmis et aux conditions qu'il crée ou qu'il modifie pour étudier la construction de la fourmilière, pour savoir s'il est vrai que les fourmis font des réserves de grains, pour observer la formation du cocon...

Toutefois, il ne s'agit pas d'une transposition pure et simple des méthodes de la physique à l'étude des insectes. Ceux-ci peuvent être des sujets d'étude, ils n'en restent pas moins des êtres vivants et, à ce titre, ils peuvent innover et ruser avec l'expérimentateur. C'est ainsi qu'on pourrait presque dire que ce sont les fourmis

Buffon et  
Réaumur

l'invention des  
fourmilières  
d'observation

elles-mêmes qui ont inventé ces fourmilières d'observation que l'on utilise aujourd'hui à des fins de recherche ou dans un but pédagogique (11).

On sait que Réaumur utilisait pour observer les abeilles des ruches à parois vitrées protégées par des volets qu'il ouvrait au moment d'observer. Or, dit-il, "des fourmis de différentes espèces tentent chaque année de profiter de la chaleur que les abeilles entretiennent dans leur habitation" ; elles s'installent entre le volet et le carreau. Malheureusement elles ne peuvent pas prévoir que leur installation sera bouleversée "par le premier curieux qui viendra ouvrir les volets". C'est une sorte de contrat implicite que leur propose alors Réaumur puisque "fâché des dérangements" qu'il leur cause, il ne songe "qu'à leur assurer de la tranquillité à la seule condition qu'il lui serait permis de les observer de temps en temps". Voici comment il y parvient :

*"J'ai arrêté un carreau de verre en dehors de la ruche, à fleur de l'endroit où se trouvait la surface d'un volet fermé. Ainsi le nid a été renfermé entre deux carreaux, et n'étant plus appuyé contre le volet on pouvait ouvrir celui-ci sans déranger aucunement les travaux des fourmis, au travers d'un verre bien transparent on observait aisément à quoi elles étaient occupées. Rien n'était caché de l'intérieur d'un nid si mince et plein de cavités disposées par étages, on le voyait enfin dans toute son épaisseur, et du haut en bas" (p. 29).*

Le dispositif imaginé par Réaumur réalise, on le voit, un véritable compromis entre les exigences des fourmis d'une part, et les nécessités de l'observation d'autre part. Il substitue à un espace à trois dimensions et dont on ne voit toujours que le haut, une vitrine presque plate et visible sur toute sa hauteur, dans lequel cependant une fourmilière peut s'installer. C'est grâce à ce type de compromis qu'une science des comportements animaux est possible.

\* \* \*

Réaumur et  
ses successeurs

Critique de l'anthropomorphisme, découverte du cycle de vie, mise au point d'un matériel d'observation, tels sont, exprimés avec les mots d'aujourd'hui, et en y ajoutant les relations entre les fourmis et les pucerons, les thèmes majeurs de ce texte. Est-ce à dire pour autant que Réaumur aurait dit par avance tout ce que les autres myrmécologues auraient découvert bien plus tard ? En fait, les notes très érudites de l'édition américaine montrent que certaines des remarques du savant français ont été faites à la même époque par d'autres naturalistes comme l'anglais William Gould, ou Linné lui-même, et elles rappellent que les décennies suivantes seront marquées par les contributions du suédois De Geer et du suisse Pierre Huber (12). Par ailleurs, plus que quelques interprétations contestées, - ainsi sur l'inexistence des

fourmis moissonneuses, sur l'affection des ouvrières pour les larves ou sur le destin des mâles - ce qui éloigne l'oeuvre de Réaumur du développement ultérieur de la myrmécologie, et de l'entomologie en général, tient à la place de la systématique. Négligées dans l'Histoire des fourmis comme dans l'ensemble des Mémoires, la nomenclature et la classification prendront dès la fin du siècle une importance considérable : elles s'avèreront d'abord indispensables pour mettre de l'ordre dans les collections, elles sous-tendront ensuite les travaux de biogéographie, elles conditionneront enfin les interprétations évolutionnistes et les analyses génétiques. Loin de s'opposer, l'étude éthologique et la détermination des espèces, des genres, des familles, se complètent dès lors que le comportement et la morphologie apparaissent comme le produit d'une évolution et la classification comme l'aboutissement d'une généalogie.

En définitive, l'intérêt essentiel de ce mémoire est sans doute moins d'être un peu "en avance" sur les autres textes du XVIIIème siècle, que de nous montrer, condensés en une centaine de pages, plusieurs des problèmes cruciaux que l'on retrouve aujourd'hui lorsqu'on entreprend de parler des fourmis ; il part de l'imaginaire traditionnel qui s'est développé sur ces insectes et le confronte à l'étude expérimentale, il rapporte des observations qu'on peut faire sur le terrain et propose un matériel qui peut constituer un moyen pédagogique, aussi bien qu'un outil de recherche, il décrit tout cela enfin dans une langue aussi éloignée de la sécheresse d'un protocole d'expérience, que des ornements de la vulgarisation. Il peut intéresser tout ceux qui s'occupent de didactique des sciences expérimentales, moins comme un exposé élémentaire de myrmécologie, que comme matière à réflexion méthodologique.

recherche et  
vulgarisation

Jean-Marc DROUIN  
Cité des Sciences et de l'Industrie  
(La Villette)

## NOTES

(1) **L'histoire des fourmis**, traduite et annotée par William Morton Wheeler, a été publiée, sous le titre **The Natural History of Ants...**, à New-York, par Alfred A. Knoppf, en 1926. L'édition française avec une introduction de E.L. Bouvier et des notes de Charles Perez, est parue à Paris chez Paul Lechevalier en 1928. Dans toutes les citations de cet article l'orthographe de Réaumur a été modernisée ; on trouvera dans l'édition américaine de 1926 comme dans l'édition française de 1928 l'orthographe d'origine, ainsi que la terminaison en "oi" à l'imparfait.

(2) On sait que l'auteur de Pelléas et Melisande a consacré trois livres de vulgarisation et de réflexion aux insectes sociaux : **La vie des abeilles**, Paris, Fasquelle, 1901, (réed. Le Livre de Poche) ; **La vie des termites**, Paris, Fasquelle, 1927 ; **La vie des fourmis**, Paris, Fasquelle, 1930.

(3) Th. Huxley a écrit que Réaumur était la plus grande figure de la biologie dans la période qui va de Aristote à Darwin. Maurice Caullery qui cite ce jugement le reprend à son compte et désigne l'auteur des **Mémoires pour servir à l'histoire des insectes** comme "un des plus grands naturalistes de tous les temps". Il mentionne aussi ses travaux d'ingénieur et ses recherches en physiologie sur la reproduction et sur la digestion ("Les sciences biologiques du milieu du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle", in **Histoire de la science**, sous la direction de M. Daumas, Enc. de la Pléiade, Paris, Gallimard, 1957, p. 1185, 1186, 1193, 1201). L'apport de Réaumur à la construction des thermomètres est sans doute ce qui est le plus célèbre aujourd'hui mais non pas le mieux connu, l'article d'Arthur Birembault dans l'ouvrage collectif cité ci-dessus (Paris, 1962) constitue une savante mise au point. Pour une vue d'ensemble sur l'oeuvre de Réaumur, on pourra consulter la notice de J.B. Gough dans le **Dictionary of Scientific Biography** (vol. 11. 1975. p.327-335), et le recueil d'articles publié par le Centre International de Synthèse, sous le titre **La vie et l'oeuvre de Réaumur (1683-1757)**, Paris, PUF, 1962. Sur "Réaumur et les insectes sociaux", l'article de J. Théodoridès (*Janus*, 48, 1959, p. 62-76) fournit un résumé synthétique.

(4) Pline l'Ancien, **Histoire naturelle**, Livre XI, 36. Paris. Les Belles Lettres. (Collection Budé). 1947. p. 62-64.

(5) cf. J. Torlais. **Un esprit encyclopédique en dehors de l'Encyclopédie**. Réaumur. Paris. Desclée de Brouwer. 1936. (réed. chez Blanchard en 1961).

(6) cf. Michael Farley. **Politique, discours et institution : l'émergence de l'entomologie française (1734-1834)**. Thèse à l'Université de Montréal. 1986.

(7) D'après Wheeler (note 50), il s'agit vraisemblablement de **Myrmica rubra L.**

(8) Il est à noter toutefois que, depuis Latreille, les entomologistes distinguent trois groupes à l'intérieur de l'ordre des Hyménoptères : les Phytophages (ou Symphytes), les Térébrants et les Aculéates et qu'ils placent les Ichneumons dans le deuxième groupe, les guêpes, les fourmis et les abeilles dans le troisième ; cf. D. Cherix. **Les fourmis des bois**, Lausanne, Payot, 1986, préface de R. Chauvin. Pour une mise au point et une synthèse récente sur la myrmécologie, cf. L. Passera, **L'organisation sociale des fourmis**, Toulouse, Privat, 360 p.

(9) Cette phrase est citée par Charles Perez, note 1, p.14 de l'édition française.

(10) Buffon. "Discours sur la nature des animaux". in **Histoire naturelle**. (tome 3. p. 507 dans l'édition de 1849) ; cf. J. Torlais. "Une rivalité célèbre. Réaumur et Buffon". **La Presse médicale**. n° 46. 66ème année. 11 juin 1958. p. 1057-1058.

(11) Comme exemple de fourmilière à caractère pédagogique on citera celle de l'Inventorium (6-12 ans) de la Cité des Sciences et de l'Industrie, conçue par Jack Guichard en fonction des contraintes muséologiques propres à cet espace. D'après Wheeler (note 25) l'invention des fourmilières d'observation était attribuée, avant la redécouverte de **L'histoire des fourmis**, à John Lubbock. On trouve effective-

ment dans les premières pages de l'ouvrage intitulé **Les fourmis, les abeilles et les guêpes**, publié par cet auteur en 1883, la description et le schéma d'une telle fourmilière. Le numéro 14 de la revue **Culture technique** (1985) contient un article de Dominique Lestel, "Les fourmis dans le panoptique" (p.125-131) qui montre l'utilisation de ces fourmilières dans les recherches actuelles.

(12) Wheeler cite en particulier W. Gould, **An account of English ants**, 1747, mais il montre aussi que Réaumur ne pouvait pas connaître ce texte puisqu'il établit par ailleurs que **L'histoire des fourmis** a été écrite dans les années 1742-1743.

De Geer, précise encore Wheeler, a surtout fait oeuvre de systématicien ; quant à Pierre Huber qu'un demi-siècle sépare de Réaumur et qui était le fils de François Huber, le spécialiste des abeilles, tous les auteurs placent son oeuvre au premier rang de la myrmécologie.



## DIFFICULTES D'UNE PEDAGOGIE DE LA DECOUVERTE DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

**Gabriel Gohau**

La méthode pédagogique qui cherche à retrouver le cheminement de la découverte scientifique a été mise en oeuvre sous l'appellation "méthode de la redécouverte". L'analyse du rôle des expériences faites en classe montre comment cette méthode inductive peut se révéler tout aussi dogmatique que la méthode expositive. Une véritable redécouverte exigerait que les élèves soient mis en situation de recherche, d'initiative, de tâtonnement, qu'un vrai dialogue s'instaure pour faire apparaître les représentations des élèves. Pour mettre en oeuvre cette vraie pédagogie de la redécouverte, la formation des enseignants devrait être complétée par une initiation à l'histoire des obstacles épistémologiques et exigerait aussi une formation de chercheur.

Le présent texte est celui d'un exposé fait à Erice (Sicile) en février 1977, dans le cadre d'un cycle sur **La découverte scientifique : aspects logique, psychologique, culturel et social**, organisé par l'International School of History of Science (dirigé par M. D. Grmek et V. Cappelletti).

Il a paru en version anglaise, sous le titre "Difficulties inherent in a pedagogy of discovery in the teaching of the sciences", in M.D. Grmek, R.S. Cohen & G. Cimino (eds), *On Scientific Discovery*, D. Reidel Publ. Company, Dordrecht, 1981, pp. 191-210. Il a aussi été traduit en italien : "Difficoltà di una pedagogia della scoperta nell'insegnamento delle scienze", in G. Cimino, M.D. Grmek, V. Somenzi (a cura di), *La scoperta scientifica...*, Armando Armando, Roma, 1984, pp 147-167.

Il est reproduit ici sous sa forme initiale, quoique, dix ans après, il aurait sans doute mérité quelques aménagements. L'auteur préfère le conserver dans sa formulation du moment, croyant d'ailleurs que l'exposé garde quelque actualité. La comparaison avec un texte plus récent (G. Gohau, "l'enseignement des sciences et la formulation du jugement", *Cahiers Laïques*, n° 206, janvier-février 1987) conforte cette impression. Qu'on peut interpréter de façon moins bienveillante en estimant que la pensée de l'auteur est demeurée figée.

Simplement les références à l'épistémologie poppérienne, qui ne sont qu'une toile de fond à la critique pédagogique, pourraient-elles être actualisées (cf. G. Gohau, "Vers l'extinction du poppérisme", *Raison présente*, n° 81, 1987, pp 79-88).

Un mot encore : l'exposé de 1977, fait devant d'illustres

historiens des sciences de divers pays, avait pour but - en accord avec M.D. Grmek - de leur montrer la nécessité d'une histoire orientée vers la mise en évidence des obstacles épistémologiques, pour aider la pédagogie de la découverte.

## I. Deux méthodes pédagogiques

### I.1. Méthodes expositives, méthodes interrogatives

On peut classer les diverses pratiques pédagogiques en deux groupes : d'un côté, celles où le maître parle seul - nous les nommerons **méthodes expositives** ; de l'autre, celles où le professeur questionne ses élèves - nous les appellerons **méthodes interrogatives**.

dogmatisme

Les **méthodes expositives** sont classiquement celles des manuels d'enseignement, comme aussi des articles de vulgarisation... et des conférences. En classe, elles connaissent une certaine défaveur. On les qualifie volontiers de "dogmatiques" depuis que la psychologie de l'enfant nous a appris que le jeune n'était pas un adulte en miniature, et qu'il avait besoin de construire progressivement, à coup de rectifications successives, son propre savoir.

dialogue

Les **méthodes interrogatives** sont venues répondre à ce besoin. L'élève y est constamment sollicité, en sorte que le maître est contraint de suivre, dans une certaine mesure, la démarche de la pensée de ses interlocuteurs, avec ses hésitations, ses détours, voire ses régressions temporaires. L'archétype de ces méthodes est naturellement le dialogue socratique, où le maître parvient, à force de questions, à détruire le savoir apparent du disciple et à le remplacer par un savoir vrai.

Cette référence à la maïeutique socratique montre que les méthodes interrogatives n'ont pas attendu le développement de la psychologie de l'enfant pour s'imposer à l'esprit des meilleurs pédagogues. Sans prétendre vouloir retracer l'historique de la pédagogie, on peut dire, très grossièrement, que la méthode expositive, paraît prévaloir dans les périodes où l'on **conserve** la culture, alors que la méthode interrogative serait celle des temps de **création** culturelle et de remise en question du savoir antérieur.

Ainsi, la Renaissance critique les méthodes pédagogiques dogmatiques du Moyen-Age et pour nous contenter d'une référence littéraire, nous pouvons dire que la méthode expositive est celle du premier maître du **Gargantua** de Rabelais, et la méthode interrogative celle du second.

de Rabelais ...

Rabelais raille le "grand docteur sophiste nommé maître Thubal Holoferne" qui apprit si bien l'alphabet à son élève que celui-ci "le disait par coeur au rebours". Le second maître, Ponocrates, à l'opposé, lui fait faire toutes sortes d'exercices, et par exemple, "passant par quelques prés ou autres lieux herbus, visitant les arbres et les plantes", il en recueille pour les examiner au logis, et compare ce qu'il observe à ce qu'en disaient les anciens (1).

... à l'enseignement scientifique

J'ai choisi à dessein ce court extrait de **Gargantua** parce que Rabelais y fait allusion à l'observation de la nature (ici les végétaux). Or je dois parler de la pédagogie de l'enseignement scientifique, dont l'observation (ainsi que l'expérimentation) est une composante fondamentale. En sorte que l'opposition entre la méthode interrogative et la méthode expositive recouvre finalement une opposition entre un procédé où l'on découvre progressivement, à coup d'observations et d'expériences, et une technique où l'on récite l'exposé rationnel bâti par le maître, et où l'observation des objets et des phénomènes est remplacée par la reproduction de schémas. C'est pourquoi cette méthode est parfois dite "livresque", car elle procède, comme les livres, par exposés et schémas.

### 1.2. Construction - illustration, induction - déduction

du cas particulier au général, et l'inverse

L'opposition se retrouve aussi sur un autre plan. La méthode interrogative **construit** le savoir, c'est-à-dire les lois, théories et concepts généraux à partir des observations et des expériences. Elle procède donc par **induction**, cheminant du particulier au général. Au contraire, habituellement, le maître qui expose seul les connaissances part des principes dont il déduit les cas particuliers. Si donc il introduit des expériences dans son enseignement, il les place en fin de cours, en **illustration** de la théorie. Sa méthode est **déductive**.

Et finalement, dans l'enseignement scientifique, cette distinction entre induction et déduction est plus fondamentale que l'opposition exposé-dialogue ou l'opposition cours sans expériences - cours avec expériences. Car aujourd'hui peu d'enseignants rejettent totalement le dialogue, et tous sont contraints par les instructions ministérielles d'expérimenter et de faire manipuler (séances de travaux pratiques) leurs élèves.

Parce qu'elle vise à construire à partir des observations des élèves, la méthode inductive peut se targuer de suivre la démarche de la pensée des jeunes. Par ailleurs, elle cherche à reproduire le cheminement de la science, en progressant des faits particuliers aux lois et théories générales. Ce qui lui assure en pédagogie des sciences un certain prestige. Pourtant le rapport entre la démarche pédagogique et celle de la science n'est pas aussi

retrouver le  
cheminement de  
la découverte  
scientifique

connaître  
l'histoire  
des sciences

simple.

Cette induction s'éloigne évidemment de celle des philosophes (induction amplificante ou généralisante). Le logicien R. Blanché (2) compare avec humour la première à un saut en hauteur (en ce sens qu'elle **invente**, qu'elle s'élève au-dessus des faits déjà connus) et la seconde à un saut en longueur, car elle ne fait que prolonger l'acquis.

Ainsi définies les méthodes inductives tendent à retrouver le cheminement de la science, de la **découverte** scientifique. Elles intéressent donc l'historien de la science plus que les méthodes déductives qui ne visent, en partant des principes, qu'à l'exposé logique d'un édifice théorique supposé achevé dans sa construction.

Et pourtant leur utilisation pose un problème épistémologique, car dans l'ignorance où est l'enseignant des sciences de l'histoire et de l'épistémologie de sa discipline les techniques inductives ont abouti à des absurdités en croyant qu'il suffisait de retourner la méthode traditionnelle déductive pour fonder une pédagogie active de la découverte. Pour le démontrer, j'examinerai la méthode utilisée dans l'enseignement français depuis la fin de la guerre, et connue sous le nom de technique de la redécouverte.

## 2. LA "REDECOUVERTE" DEPUIS BRUNHOLD

### 2.1. Origine et objectif

Proposée par l'Inspecteur général Brunhold, cette technique renoue avec une tradition inductive amorcée dans les années 1880, au moment du vote des lois laïques, ce qui, au passage, souligne que les méthodes inductives renaissent dans les périodes de progrès.

Dans un texte de 1948 (3), Charles Brunhold définit ainsi son objectif : il ne s'agit nullement de "**répéter les démarches historiques de telle ou telle recherche**" mais seulement de "**retrouver, avec les moyens dont le professeur dispose aujourd'hui (...) les résultats de ces recherches**". Et l'auteur précisait que si sa réflexion l'avait conduit à la redécouverte plutôt qu'à une stricte méthode historique c'était à cause de "**la nécessité pour beaucoup de nos élèves qui se destinent à des carrières scientifiques ou techniques, d'acquérir avant toute formation spécialisée, l'ensemble des connaissances indispensables**". Ce que les méthodes purement historiques n'auraient pas permis, estimait-il, de faire en un temps d'étude raisonnable.

Autrement dit : la "redécouverte" vise à faire acquérir par l'"esprit" et la "méthode" de l'histoire des sciences, les "connaissances indispensables" qu'on inculquait anté-

former aux  
carrières  
scientifiques

esprit,  
méthode,  
connaissances

rieurement par les procédés expositifs. Entreprise louable si l'on peut donner aux jeunes le même savoir d'une façon plus formatrice pour leur esprit, en suivant mieux le développement de leur pensée.

## 2.2. Limites de sa mise en oeuvre

Mais l'équivoque fondamentale de la méthode provient de ce qu'elle croit légitime de gommer les obscurités et les tâtonnements de la démarche historique. "Tout se tient quand tout est construit" dit Gaston Bachelard (4) pour souligner qu'après la découverte toutes les incertitudes du cheminement sont effacées par **celui qui sait**. C'est alors qu'on peut bâtir des expériences de vérification (ou de corroboration), capables de tester la théorie. Ce qui veut dire que le chemin qui mène de l'hypothèse à sa corroboration n'est pas l'exact opposé de celui qui conduit des observations préliminaires à la formulation de l'hypothèse. On retrouve une opposition, classique en histoire des sciences, entre la science-qui-se-fait et la science achevée. Et je n'insisterais pas sur ce point connu de chacun de vous si la "redécouverte" n'ignorait cette distinction primordiale.

la science qui  
se fait et la  
science achevée

C'est qu'en effet, sous l'impulsion de C. Brunhold, devenu Directeur de l'enseignement secondaire français, les maîtres et les manuels ont inversé théories et expériences, dans l'ordre d'exposition. De telle sorte que l'expérience, qui servait jusqu'alors à **illustrer** une leçon, en fin de chapitre, fut brusquement placée en introduction, la leçon dérivant de l'"interprétation" de la manipulation. Pour donner une idée de l'application de cette méthode, voici un court extrait du projet de programme présenté en 1966 par l'Inspection générale des sciences naturelles. On verra que lorsque j'affirme que la **même** expérience qui, autrefois, illustrait le cours, sert aujourd'hui à le présenter, je n'exagère nullement. Je prendrai pour exemple la leçon 20, intitulée "les synthèses chlorophylliennes".

inversion  
théorie  
expérience

*"Travaux pratiques :*

*Analyse d'expériences montrant,*

*- qu'une plante verte peut se développer sur un milieu purement minéral,*

*- que certains éléments sont nécessaires dans ce milieu (...)*

*Expérience sur une plante aquatique faisant apparaître un dégagement d'oxygène (...)*

*Expérience permettant la mesure relative de l'intensité de dégagement. Etude de l'influence d'un facteur sur cette intensité (...)*

*Expression graphique des résultats.*

*Cours : les échanges gazeux chlorophylliens."*

La rédaction définitive a beaucoup assoupli le libellé en biffant la séparation travaux pratiques-cours, et en donnant plus de liberté dans le choix des expériences.

Mais l'esprit est resté le même. C'est-à-dire que, dans la pensée de l'Inspection générale, la classe est notamment invitée à réaliser et analyser une série d'expériences complexes **en vue** d'en tirer la notion d'échanges chlorophylliens. Le tout, **last but not least**, en deux heures de travaux pratiques et une heure de cours !

La mise en parallèle de cette liste extravagante et du temps accordé à son étude ferait sourire si elle ne laissait apparaître une conception totalement erronée de la démarche scientifique. Pour croire ainsi que par une suite d'expériences de cours on puisse établir une notion scientifique, il faut posséder de la science une conception singulièrement empiriste, et tenir pour des aberrations les hésitations et les tâtonnements de son histoire.

occultation des  
tâtonnements de  
la science

Ce projet implique en effet :

1° - Que les expériences de vérification peuvent être présentées comme des données premières. Autrement dit, que si la science a réalisé, sur le même sujet, de multiples expériences beaucoup moins probantes avant d'en arriver à celle-ci, ce n'est que par un regrettable accident de parcours qui a retardé indûment la saine compréhension du phénomène. Les obscurités et les lenteurs de la science, et avec elles toute l'histoire de la pensée scientifique ressortissent à une sorte de pathologie de la recherche.

2° - Que les expériences de cours sont démonstratives, et sont, par conséquent, de véritables expériences de vérification (au sens fort).

Ces deux propositions sont la marque d'une pensée empiriste, mais d'un empirisme outré, quasi-caricatural, sans rapport aucun avec l'empirisme philosophique de l'école de Vienne, par exemple (5). Aucun épistémologue ne pourrait les soutenir, et nous allons montrer qu'elles ignorent les données les moins contestées de l'histoire des sciences : l'empirisme postulé par la redécouverte est purement tétatologique !

empirisme

### 2.3. Expériences de vérification dans l'élaboration de la science

Reprenons d'abord la première proposition. L'expérience de vérification (ou de corroboration (6)), historiquement postérieure à l'hypothèse qu'elle teste, pourrait-elle **logiquement** la précéder ? On doit répondre énergiquement : non.

Je partirai, pour le prouver, du très bel exemple que

l'idée  
d'expérience  
cruciale

donne M.D. Grmek dans son ouvrage sur les recherches toxicologiques de Claude Bernard (7). Le cas est intéressant parce que l'expérience qui, plus tard, allait devenir **cruciale** fut réalisée avant que le chercheur n'eût formulé l'hypothèse correspondante. Or, cette expérience fut d'abord complètement incomprise par l'illustre physiologiste qui formula une explication (fausse) en contradiction flagrante avec son résultat.

On sait que le sang empoisonné par le monoxyde de carbone (CO) prend une coloration rouge vif, très semblable à celle de l'oxyhémoglobine (combinaison de l'oxygène avec l'hémoglobine). Aussi les premiers observateurs crurent-ils qu'il s'agissait d'un même composé et prirent-ils le sang empoisonné par le monoxyde de carbone pour du sang riche en oxygène. "L'oxyde de carbone empoisonne en empêchant le sang artériel de devenir veineux" dit en avril 1856 Claude Bernard, qui maintient cette confusion. L'erreur était légitime et le propos n'aurait rien de surprenant si le célèbre biologiste n'avait préalablement montré que le sang perd son oxygène en présence de CO. Si ce dernier déplace l'oxygène, ce n'est donc pas l'oxyhémoglobine qui colore le sang en rouge vif chez l'animal empoisonné. Tel est le raisonnement élémentaire que nous faisons, nous qui **savons** l'existence de la carboxyhémoglobine (combinaison monoxyde de carbone + hémoglobine).

Claude Bernard  
contre l'illusion  
de la  
redécouverte

Et pourtant, le grand Claude Bernard ne le fait pas ! Plus tard, quand il aura résolu la question, cette expérience du déplacement de l'oxygène par le monoxyde de carbone deviendra **cruciale**. Elle permettra de vérifier l'hypothèse. Mais tant que l'hypothèse n'est pas énoncée, l'expérience est insignifiante - à tous les sens du mot. Vouloir que nos élèves en la réalisant découvrent en quelques instants la solution que Claude Bernard a mis des années (de réflexions et de nouvelles expérimentations) à mûrir, c'est évidemment faire de l'expérience un simple prétexte à l'exposition, par le maître, de l'hypothèse. Donner aux élèves l'illusion qu'ils ont eux-mêmes découvert la solution est pure imposture.

Ma démonstration est cependant incomplète. Il est manifeste, en effet, que Claude Bernard, dans l'exemple étudié, commet une erreur logique en formulant une conclusion directement contredite (c'est-à-dire réfutée) par l'expérience. On peut donc objecter à notre argumentation que, si l'expérience cruciale ne peut être perçue comme telle avant que l'hypothèse qu'elle teste ne soit émise, c'est à cause d'un simple défaut dans le raisonnement. On peut ajouter, alors, que le rôle du professeur, éclairé par la connaissance du résultat, est d'éviter de telles erreurs et de permettre aux jeunes... de raisonner plus juste que Claude Bernard. Mais le passage direct : expérience cruciale → théorie ne

peut être obtenu par le seul raisonnement, ce n'est pas une simple induction. Une démarche strictement inductive, en effet, consisterait, dans le cas présent, à réunir toutes les expériences où le sang prend une coloration rouge vif. C'est ce qui a été fait spontanément dans un premier temps, par les prédécesseurs de Claude Bernard, et par lui-même au début de ses recherches. Pour découvrir la carboxyhémoglobine, il faut faire un détour, prendre le contrepied de ce travail cumulatif. Bref : il faut **disjoindre** les deux cas de coloration rouge vif, selon que la couleur est provoquée par l'oxygène ou par le monoxyde de carbone. A l'opposé de l'induction qui associe les cas semblables il faut les dissocier. L'invention de l'hypothèse marque toujours une certaine rupture avec les idées du moment. Elle est un acte de **création**, un "saut en hauteur".

#### 2-4. Statut des expériences faites en classe.

L'expérience de cours, qui est une variante simplifiée des expériences de laboratoire, est-elle aussi démonstrative que celles-ci ?

de l'expérience  
illustration à  
l'expérience  
vérification

Dans les techniques expositives, l'expérience de cours avait pour fonction d'**illustrer** la leçon et non de **vérifier**. Le maître, en effet, savait que ce qu'il dit est vérifié depuis longtemps par des expériences beaucoup plus soignées que celles qu'il peut réaliser en classe. Si par extraordinaire, on avait exigé de lui qu'il fît cette vérification (ou corroboration), il aurait su qu'il ne pouvait se contenter des grossières manipulations qu'il "bricolait" dans le seul souci d'une illustration de son exposé. Un exemple nous aidera à préciser ce point.

Un long débat agita naguère les professeurs de sciences naturelles des lycées de France à propos de l'emploi du bleu de méthylène pour mettre en évidence les déshydrogénases tissulaires. Je laisse de côté les thèses en présence. Il nous suffira de savoir qu'un de mes amis, biochimiste de formation, réalisa une série soignée d'expériences afin de résoudre la question posée. Sa réponse (8) fut que le bleu de méthylène est effectivement décoloré par les déshydrogénases, et donc qu'il permet bien de les matérialiser. Tous les professeurs qui utilisaient le bleu de méthylène pour montrer que le premier stade de l'oxydation cellulaire est une déshydrogénation furent immédiatement rassurés : l'expérience qu'ils utilisaient était... probante.

les expériences  
dites "probantes" ...

Soit. Seulement, s'il avait fallu les expériences délicates de Claude Bourgeois pour établir que notre expérience sommaire de classe était correctement "interprétée", n'était-ce pas aussi la preuve que cette grossière manipulation était, par elle-même, non démonstrative. Or, quand Bourgeois fit son étude, tous les professeurs de

sciences naturelles de France utilisaient cette expérience non probante pour faire découvrir (!) à leurs élèves la présence d'enzymes arrachant l'hydrogène aux métabolites cellulaires.

Que l'interprétation qu'on en donnait fût exacte ou non n'a aucun intérêt. Certes, elle l'était et c'est évidemment tant mieux. Mais, elle aurait été fausse que nos élèves n'en auraient pas moins "redécouvert" l'existence des déshydrogénases. L'expérience de cours ne **prouve** donc absolument rien. Et la raison en est que l'expérience de cours est non "falsifiante", puisque le professeur n'enseigne que des théories exactes -ou du moins qui passent pour telles au niveau de l'enseignement secondaire. Il est donc exclu que l'expérience ne "réussisse" pas. Supposons que l'expérience conduite à un résultat négatif : elle est si grossière dans sa réalisation que la chose est fréquente. Que fait le professeur ? Il ne réfutera évidemment pas la théorie qu'il croit exacte, mais l'expérience, qui a "raté".

Par conséquent, l'expérience ne peut, en droit, réfuter la théorie. Sa valeur de test est rigoureusement nulle. Elle ne contient aucune **information** sur la théorie. L'élève est trompé si on lui laisse croire qu'il a prouvé, ou pire qu'il a découvert, la théorie. Quand l'expérience donne le résultat espéré, on le guide habilement vers l'interprétation correcte... qu'on lui fait souligner de rouge. Lorsqu'elle offre un autre résultat, on doit bien avouer l'imposture en lui énonçant tout de même la "bonne" conclusion, en lui proposant, dans le meilleur des cas, de comprendre quelles influences secondaires mal fixées ont provoqué le "ratage".

... ne prouvent rien

les réflexes de la Grenouille ...

Je prends un exemple qui montrera, de façon quasi caricaturale à quel point l'expérience de cours est non démonstrative. La généralisation progressive des réactions réflexes de la grenouille spinale en fonction de concentrations croissantes en acide d'une solution d'eau acidulée porte le nom de lois de Pflüger, du nom du physiologiste allemand du siècle dernier qui les aurait établies. En gros, on admet que l'animal retire d'abord le membre immergé dans l'eau acidulée. Puis que, lorsque la solution est plus concentrée, il retire en même temps le membre symétrique (les deux pattes postérieures quand on trempe une patte arrière). Puis, qu'il agite les quatre membres.

... qui ne corroborent pas les lois de Pflüger

En fait, il arrive fréquemment que la généralisation se produit d'une autre façon : d'abord la patte arrière excitée (naturellement !) puis cette patte et le membre antérieur situé du même côté, puis les quatre membres. Or les "lois" n'ont retenu que le premier type de généralisation. Eh bien, si les aléas de l'expérimentation nous font réaliser le second type de réaction, nous sommes obligés, malgré tout, d'énoncer la prétendue "loi de symétrie".

En confiance, j'avouerai que devant la fréquence du résultat hétérodoxe, je me suis longtemps lamenté sur mon piètre talent d'expérimentateur. Jusqu'au jour où j'ai su que d'habiles manipulateurs obtenaient le même résultat. Ainsi donc, cette "loi", réfutée des milliers de fois ou plus, dans les classes des lycées de France, et sûrement d'ailleurs, n'a jamais été mise en doute. Les manuels d'enseignement secondaire (voire supérieur) la transcrivent pieusement, les enseignants la répètent solennellement, tout en se lamentant sur leur propre maladresse (la mienne, au demeurant est réelle !). Peut-on montrer de façon plus évidente que l'expérience de cours n'est pas falsifiante, et donc qu'elle n'est pas corroborante puisque, comme le montre K.R. Popper, le degré de corroboration d'un test est fonction directe du degré de réfutabilité de la théorie testée. **L'expérience de cours est exclusivement illustrative.**

l'état actuel de la science préside à la conception des manuels et des cours

Tous les auteurs de manuels le savent bien, d'ailleurs, qui choisissent leurs expériences en fonction du texte à illustrer, et non l'inverse. Une démarche authentiquement empiriste exigerait qu'on parte du réel complexe en vue de le disséquer. Si l'on avait le souci d'une conduite vraiment heuristique, on partirait des documents bruts pour en dégager les problèmes et en tirer des concepts, d'abord grossiers, puis de plus en plus fins.

Au lieu de cela, les manuels et les cours ne nous présentent jamais que des faits déjà tout élaborés, des objets déjà tout épurés. Ils prétendent restituer le cheminement de la science, mais ils partent en fait de son état présent. Ils font semblant de nous faire découvrir les lois et théories, mais ils nous mettent d'emblée sous les yeux les expériences faites en vue de prouver ces lois après qu'elles furent énoncées. Ce qui est doublement fautif.

D'une part, l'expérience est "parachutée". Comme Athéna, elle surgit toute armée du cerveau du maître. On traite de dogmatique la méthode traditionnelle expositive, mais est-on moins dogmatique quand on expose une expérience que lorsqu'on expose une théorie ? Dans l'un et l'autre cas, le maître présente un savoir élaboré, en épargnant aux élèves l'effort d'analyse ayant permis la découverte progressive de ce savoir.

D'autre part, on laisse croire que l'implication qui unit la théorie à l'expérience est réciproque. Ce qui est un non-sens du point de vue de la logique formelle. L'expérience, fait particulier, est conséquence de la théorie, énoncé général, mais l'inverse est évidemment absurde.

l'enseignant propose un savoir élaboré

Finalement, la méthode de redécouverte apparaît tout à fait dogmatique, mais d'un dogmatisme insidieux : elle impose la théorie autant que la méthode expositive. Plus même, puisqu'elle prétend la "dédire" d'une expérience

le dogmatisme  
insidieux de la  
redécouverte ...

... menace la  
crédibilité de  
la science

que les élèves ont vue. Son dogmatisme caché, son cryptodogmatisme, ne peut-il être qualifié de bidogmatisme puisque, non content d'imposer le savoir du maître, il prétend le fonder expérimentalement ?

Le danger de cette technique tient à ce que l'élève, quand demain il apprendra que le savoir que lui a inculqué ses maîtres était imparfait, sera tenté de perdre tout crédit en la science, et de rejeter l'édifice scientifique entier. Craignons que déçus de la fausse image de la science que nous leur donnons, nos élèves ne se tournent vers les mystificateurs et les charlatans.

Cette critique sévère de l'état récent des techniques inductives peut paraître excessive, surtout pour ceux qui vivent encore sous le joug de méthodes expositives. Mais précisément, il s'agit de tirer sans indulgence la leçon d'un échec dont la pédagogie française n'est pas encore parvenue à se sortir. Et maintenant, essayons de montrer ce que serait une véritable pédagogie de la découverte qui ne tournerait pas le dos à l'histoire de la science.

### 3. POUR UNE VERITABLE REDECOUVERTE

#### 3.1. Mettre l'élève en situation de recherche véritable

la recherche et  
ses tâtonnements

Si l'on désire que l'élève découvre, il faut le mettre dans une situation de recherche véritable. Dans la pédagogie de la redécouverte, la situation des "chercheurs" est tout à fait artificielle : grâce à quelques expériences sommaires qu'on leur flanque brutalement sous les yeux, on voudrait qu'ils retrouvent une théorie majeure de la science, dont l'élaboration a demandé des siècles de tâtonnements. Ce qui est absurde, ce n'est pas croire que l'élève est capable d'effectuer des recherches, mais de penser qu'en quelques heures il redécouvrira un grand concept de la biologie ou de la physique.

l'exemple du  
projet Nuffield :

La pédagogie de la redécouverte était dans la bonne voie, mais son ambition était démesurée. Le projet de la fondation Nuffield, expérimenté en Grande-Bretagne, a beaucoup mieux mesuré quelles étaient les possibilités des jeunes en matière de recherche expérimentale. Ce projet prévoyait en effet, au niveau des élèves de 16 à 18 ans -"A-level"- de consacrer le dixième du temps des études à un "projet ou travail indépendant" qui était un véritable programme de recherche expérimentale. (9)

L'élève pouvait s'attaquer à un problème nouveau, mais le plus souvent on lui demandait de modifier une technique qu'il avait déjà utilisée, ou dont il avait étudié les résultats. Par exemple, il appliquait à un animal différent une méthode d'analyse antérieurement étudiée en classe. Il pouvait confronter ses résultats avec ceux de

initiative  
modeste,

mais découverte  
réelle

une expérience  
n'est cruciale  
qu'après coup

la bibliographie. Ce type de recherche ressortit clairement à ce que Th. Kuhn nomme la "science normale" : appliquer une technique expérimentale maîtrisée à un matériel nouveau (10).

Cette recherche ne demande évidemment qu'une part modeste d'initiative. Cependant, elle offre des résultats **originaux**, à la différence de la redécouverte qui ne fait que répéter des choses connues depuis longtemps. De ce point de vue, le travail indépendant du projet Nuffield est beaucoup plus satisfaisant pour l'esprit de l'élève que les pseudo-découvertes des méthodes dites inductives, car si la recherche est modeste, la découverte est réelle.

D'ailleurs, au fond c'est bien normal, car les découvertes les plus nouvelles ne partent pas, en général, de questions fondamentales. En s'attaquant au pouvoir rotatoire des tartrates, Pasteur n'avait pas conscience qu'il allait fonder une science nouvelle.

Les découvertes majeures sont souvent des réponses à de petits problèmes... qu'on a su mener jusqu'au bout. La "science normale" est la seule qui ait une existence réelle. Ce que Kuhn nomme le changement de "paradigme" n'a d'existence que rétrospective. Pasteur introduit un tel changement par sa persévérance à poursuivre les implications de sa découverte de la dissymétrie moléculaire. A quel moment ses recherches sortent-elles du cadre de la science normale, ce n'est pas facile à dire, et en tout cas on ne peut le savoir qu'**après coup**, quand on sait les conséquences de ses découvertes. Finalement, la pédagogie de la redécouverte prend les problèmes à l'envers elle croit que, sous prétexte que quelques expériences deviennent **a posteriori** cruciales, on a le droit de les isoler, de les extraire de leur tissu de recherches obscures, opiniâtres, et de réduire à ces tournants de son histoire toute l'activité scientifique. Mais si l'on veut que l'élève découvre vraiment, qu'il apporte un résultat inédit, il est impossible de lui choisir une expérience cruciale : l'exemple précédent de Claude Bernard nous a suffisamment montré qu'une expérience n'est cruciale que si on a en tête l'idée nouvelle qu'on veut tester.

Les auteurs du projet Nuffield ont réalisé ce que n'avait pas osé Ch. Brunhold : dissocier l'acquisition du savoir scientifique de l'apprentissage de sa méthode. Une recherche conduite par l'élève ne peut avoir pour but de découvrir un concept ou une théorie majeurs. Les deux activités sont assez différentes, sinon opposées. On pourrait les séparer.

Chez les jeunes enfants (5 à 13 ans) le même projet Nuffield prévoit une large place à l'activité et à l'initiative des élèves. Quelques établissements scolaires français ont expérimenté en France, dans le même sens, sous la conduite de V. Host (en biologie). Le but de ces activités scientifiques est de faire naître chez le jeune

apprendre des  
méthodes en  
manipulant ...

une attitude expérimentale. Il s'agit de conduire les élèves à se poser des questions, puis à tenter de les résoudre eux-mêmes en manipulant. Aucun souci de leur **apprendre** la science, mais seulement de leur faire **comprendre** ce qu'est la recherche.

### 3.2. Construire les connaissances de manière plus progressive

... et acquérir  
des connaissances ...

Mais naturellement, cette dissociation laisse entier le problème de l'acquisition des connaissances. On peut proposer de juxtaposer à l'apprentissage actif de l'esprit de recherche un enseignement scientifique de type traditionnel, présentant la science sous sa forme la plus rationnelle. Il me semble qu'à ce compte on perdrait une partie du bénéfice des méthodes inductives. Il est possible de présenter le savoir acquis d'une manière nouvelle qui évite les artifices des techniques de redécouverte.

Le gros inconvénient des méthodes déductives est leur caractère dogmatique ; la connaissance scientifique est d'emblée présentée dans son aspect de perfection actuelle. Il y manque, sinon une induction véritable, du moins une construction progressive, soit en suivant l'histoire des découvertes, soit en retrouvant les concepts les plus généraux à partir de savoirs partiels.

... en distinguant  
des niveaux de  
formulation des  
concepts

La psychologie génétique nous a montré que l'élève avait besoin d'assimiler le savoir, de le digérer, en quelque sorte. Or, les méthodes déductives le présentent sous une forme... indigeste. Nous avons la manie de vouloir enseigner d'emblée nos conceptions les plus abstraites. On doit distinguer des **niveaux** dans l'acquisition des connaissances (cf. recherches INRP sur les procédures d'apprentissage). La respiration est d'abord un mouvement alternatif d'inspiration et d'expiration, puis elle est un échange gazeux ; ensuite, elle est transport de gaz, enfin, elle devient échange d'électrons.

associer les élèves  
à la construction  
des concepts  
unificateurs

L'intérêt de dégager progressivement les concepts abstraits est évidemment d'en faciliter l'acquisition, en les démontant. Mais c'est aussi d'associer les élèves à leur élaboration. Certains concepts généraux apparaissent comme des moyens d'unifier des secteurs jusque là indépendants de la science : la théorie de l'évolution est de ce type. Dans un cours bien conduit, les élèves seront amenés, non à découvrir ces théories unificatrices, mais du moins à **comprendre** leur genèse, et à la reconstituer activement, sous la direction du professeur.

A ce stade du travail, l'expérimentation semble d'un faible secours. Mais il serait stupide et dangereux de vouloir expérimenter constamment. C'était précisément le défaut de la redécouverte de vouloir tout retrouver par la manipulation. En réaction contre les méthodes anciennes, on a voulu réhabiliter l'observation directe au détriment du savoir livresque. Nous avons fait comme

réhabiliter le  
savoir livresque  
sans stériliser  
la curiosité

les contemporains de Rabelais. Les manuels avaient trop longtemps éloigné les enseignants de la manipulation et de l'observation, et d'aucuns se sont dit que pour savoir il suffisait de voir.

Il est temps de réhabiliter le livre à son tour. Le nécessaire développement d'une attitude expérimentale, dont nous parlions plus haut, serait dangereux s'il s'accompagnait d'un complet dédain pour le livre. Répondre à l'élève, chaque fois qu'il pose un problème : tu n'as qu'à expérimenter, serait tout aussi stupide que de lui dire systématiquement : regarde dans un livre. Le respect inconditionnel du savoir livresque éloigne de l'apprentissage personnel, mais le recours excessif à ses observations propres risque de conforter l'esprit dans ses préjugés. En fait, ce qui est condamnable, ce n'est pas l'usage du livre mais l'utilisation exclusive du manuel.

Le manuel d'enseignement apporte des réponses toutes prêtes à des questions que ne se pose pas l'élève. En ce sens il stérilise toute curiosité. Mais le livre n'est pas forcément un manuel. L'enfant, et surtout l'adolescent, peuvent être mis au contact d'ouvrages dont ils auront à extraire un résumé, à dégager une idée générale, ... Ce genre d'activité est aussi éducatif que l'expérimentation. Il faut redouter les ouvrages qui ne donnent à l'élève que des schémas et ne lui offrent du réel que les modèles abstraits construits par les scientifiques. Mais si le livre consulté l'oblige à construire lui-même le schéma à partir d'ébauches, d'éléments dispersés, de schémas partiels...

D'ailleurs, le refus du manuel coïncide avec l'abandon du cours magistral, car tous deux ont le même défaut : ils ont une réponse à tout. Ils sont finalement trop bien faits. Le maître qui prépare un cours, comme aussi l'auteur du manuel, élaguent ce qu'ils ont appris pour n'en retenir que l'essentiel. Mais comprend-on cet essentiel quand on n'a pas suivi son élaboration ? Souvent un bon résumé est inintelligible pour qui n'a pas lu le texte qu'il condense. Il n'est évidemment pas question de demander à l'élève de passer d'abord par le savoir du maître avant d'acquérir les connaissances de base. Mais les voies de l'apprentissage ne doivent pas être trop directes : on ne comprend bien que ce qu'on enseigne.

laisser une part  
d'élaboration  
à l'élève

### 3.3. Etablir un vrai dialogue avec l'élève

Cependant, si l'élève apprend son cours dans les livres, et s'il s'initie à l'expérimentation par une recherche personnelle, il perd pratiquement tout contact avec le maître, comme avec ses pairs. Les techniques de redécouverte nous ont habitués aux classes dialoguées où le maître dirige et contrôle l'instruction des élèves. Tout dialogue est-il impossible ?

Certes, le dialogue de nos classes dites "actives" est

du dialogue  
artificiel ...

illusoire. Il ressemble à certains dialogues platoniciens où le disciple se contente de ponctuer le discours du maître d'expressions approbatrices : "comme tu dis", "assurément", "tu as raison" (12). G. Leroy, pédagogue belge, dans un excellent petit livre (13), donne des exemples du dialogue en usage dans nos classes. Il montre que l'art du professeur consiste à poser des questions suffisamment précises -on les dit "fermées"- pour que l'élève réponde nécessairement ce qu'il attend. Quand un professeur de mathématiques dit : "j'écris  $a^2$  et  $a \times a$ . Que représente  $a^2$  ?" On ne peut que répondre :  $a \times a$ . Il existe, selon G. Leroy, quatre à cinq fois plus de questions étroites que de questions larges. Et d'ailleurs, même quand la question est en apparence ouverte, le professeur n'attend souvent qu'une réponse. Ainsi, ce maître qui demandait "la compression d'un gaz a lieu avec quoi ?" voulait qu'on réponde : "avec liquéfaction". Les élèves firent des réponses variées dont la moins logique n'était pas celle du garçon qui dit simplement : "avec une pompe" (14).

... à l'écoute de  
la pensée des  
élèves ...

Pourtant, ces critiques faites, il reste que le dialogue existe. Ne faut-il pas faire, pour le dialogue comme pour l'expérimentation et l'induction, les deux autres caractères de la méthode de redécouverte ? C'est-à-dire : les conserver en les améliorant notablement ?

Or, le dialogue, dans une véritable pédagogie de la découverte, aurait un rôle fondamental à jouer : permettre notamment l'expression des "représentations" des élèves. Les enseignants oublient que les enfants ne sont pas une cire vierge sur laquelle se marquent toutes les empreintes qu'on y inscrit. Depuis longtemps l'école de J. Piaget a montré que l'esprit des jeunes parcourt, **mutatis mutandis**, les grandes étapes de l'histoire de la pensée, des premières civilisations à la science contemporaine. Et cette méconnaissance introduit une équivoque fondamentale dans le dialogue maître-élève, car le second charge de relations affectives et représentations égocentriques ce que le premier exprime au niveau purement rationnel.

... pour  
connaître leurs  
représentations

Autrement dit, le but du dialogue devrait être de débarrasser l'esprit des enfants de ce que Bachelard a nommé les obstacles épistémologiques (15). Les enseignants croient former l'esprit de leurs élèves en le chargeant des résultats de la science. Mais ils ignorent que cet esprit est déjà plein de représentations préscientifiques, de conceptions magiques, de fantasmes qui l'encombrent. Pour l'en débarrasser, réalisons ce que Bachelard nomme une "psychanalyse de l'esprit objectif". Car le dialogue que nous proposons n'est pas essentiellement différent de celui qui s'établit entre le psychanalyste et son client.

Les lecteurs d'Aster sont assez familiers avec ces études pour que quelques exemples suffisent. Un exemple simple d'obstacle épistémologique est celui qui faisait confondre à C. Bernard l'oxy- et la carboxyhémoglobine. Le même obstacle -confusion de ce qui se ressemble- faisait placer, jusqu'à Linné, les Cétacés parmi les Poissons. Nos élèves qui se fient à de grossières analogies commettent de pareilles bourdes. A 11-12 ans, il leur est très difficile de dire si les serpents sont des Vertébrés tant ils les voient proches des vers. Il n'est pas sûr que l'apprentissage de la classification zoologique les débarrasse durablement de cette erreur.

l'histoire des sciences, témoin de l'histoire de la pensée, en biologie...

En physiologie, j'ai été surpris de rencontrer, chez des élèves de 17-18 ans, à propos du rôle de l'oxygène dans la respiration des tissus, des expressions du genre : l'organe est "régénéré" ou "assaini" ; on assiste au "renouvellement des cellules", ou encore : l'oxygène apporte "une énergie naturelle". La fonction de l'oxygène est manifestement valorisée, et transportée du plan rationnel à un plan quasi-moral : celui du sain et du malsain. Des idées vitalistes sous-tendent la représentation du banal phénomène d'oxydation cellulaire. L'oxygène n'est pas très éloigné, dans l'esprit des adolescents du XX<sup>e</sup> siècle, du souffle vital des anciens.

... comme en géologie...

La géologie fournit aussi des exemples démonstratifs de ces résistances de l'esprit à concevoir les notions modernes. Les naturalistes du XVIII<sup>e</sup> siècle croyaient que la topographie du globe ne s'était guère modifiée depuis son origine. Il est courant (Celsius, Maillet, Buffon...) de réduire l'histoire de la terre au retrait progressif d'un océan primitif qui recouvrait nos plus hautes montagnes. Or, beaucoup de jeunes ont cette même conception. Un garçon de 14 ans évoque le temps où "la mer recouvrait l'Europe" comme s'il s'agissait d'un événement unique qui avait précédé la formation des continents.

Et pour appuyer son affirmation, ajoute cette "preuve" qui montre qu'il ne soupçonne aucunement les changements de la topographie ; "regardez l'Alsace, dit-il, il y a du sel de potasse ; comme l'Alsace est plus haute que la région parisienne, on en déduit que si l'Alsace est recouverte, la région de Paris l'est aussi".

Raisonnement rigoureux, convaincant...pour autant qu'on admette la fixité du relief. Mais quand Celsius traçait des marques sur les rivages du golfe de Finlande, il était prisonnier du même postulat.

Chose plus curieuse et plus inquiétante : de semblables résistances se retrouvant chez des étudiants. Ils ont étudié les principes de la géologie...et sont fort capables de les réciter, mais qu'on pose les questions de façon un peu oblique, et les représentations préscientifiques resurgissent, les démons réapparaissent. Chaque années, en interrogeant des étudiants de 20 ans, j'en retrouve la manifestation.

Tous savent, bien sûr, que si des couches de terrains

la résistance des  
représentations  
préscientifiques

sont ondulées c'est qu'elles ont subi des déformations latérales (plissements). Et pourtant, lorsqu'on leur montre une telle déformation sous un jour un peu inhabituel on obtient des réponses du genre : "butte", "accumulation de sédiments", "butte-témoin", là ou il fallait voir un anticlinal. Autrement dit : la déformation des sédiments a été traduite par un simple entassement local. Nos étudiants, qui ont pourtant des connaissances de tectonique, raisonnent comme Buffon qui assimilait un synclinal à une cuvette sédimentaire.

Autre exemple, qui a trait aux mêmes étudiants. Leurs professeurs leur ont appris la dérive des continents et la formation des océans par ouverture de "rifts". Lorsqu'on les interroge sur cette question, ils expliqueront avec force détails comment s'est ouvert l'Atlantique, voilà plus de cent millions d'années. Mais si on leur offre un document montrant que telle région du plancher de l'océan était alors émergée, ils songent immédiatement à une régression marine...de plusieurs milliers de mètres. Sans voir qu'en réalité l'Atlantique n'existe pas. Or l'histoire de la géologie montre que si l'on a eu de la peine à imaginer des mouvements verticaux du sol (les changements de rivage étant attribués exclusivement aux variations de volume des eaux -cf. supra) on a encore plus difficilement reconnu les déplacements latéraux. Admettre que nos collines, nos vallées, et surtout nos montagnes n'ont pas existé de toute éternité est déjà difficile. Mais penser que nos continents ont pu se rapprocher ou s'éloigner, voilà qui dépassait l'entendement, il y a peu encore.

Tous ces exemples sont tirés de mon expérience personnelle. Chaque enseignant a pu faire les mêmes observations pour autant qu'il ait été un peu attentif à écouter ses élèves et un peu cultivé en histoire de sa discipline. Mais combien d'enseignants scientifiques ont eu la curiosité de connaître les rudiments de cette histoire ?

former les  
enseignants à  
l'histoire de  
leur discipline...

La plupart ont le sentiment qu'ils y auraient perdu leur temps, et qu'il vaut mieux suivre les développements de la science contemporaine. Ils n'ont pas entièrement tort puisque l'histoire des sciences ne leur offre guère, actuellement, ce qui leur serait utile : une histoire des obstacles épistémologiques. L'histoire de la science, telle qu'elle est habituellement étudiée, est sans doute utile à l'étudiant. Elle risque d'être dangereuse pour le lycéen si elle doit encombrer son esprit de notions fausses. Vouloir enseigner la chimie de Stahl à des adolescents avant de les initier à la chimie pneumatique de Lavoisier serait imprudent. Et pourtant, le jeune ne garde-t-il pas longtemps à l'esprit l'idée qu'un corps qui brûle perd quelque chose qui se dissipe dans l'air ? Ne conserve-t-il pas la pensée que l'air et l'eau sont des éléments, et plus généralement qu'un corps naturel est plus simple qu'un produit de l'industrie ? Or ce sont là des obstacles qui ont

entravé la naissance de la chimie moderne.

Dégager, dans les résistances au progrès scientifique, ces paresseuses, ces lourdeurs de la pensée qu'on retrouve à chaque génération au cours de son apprentissage. Ces lenteurs de l'esprit qui lui fait confondre ce qui se ressemble et trouver simple ce qui est familier. Voici quelle pourrait être la tâche d'une histoire des obstacles. Mais il faudrait que l'historien s'assure la collaboration de psychogénééticiens et d'enseignants qui l'aideraient à détecter les mêmes obstacles dans la pensée des jeunes, afin de les mieux reconnaître.

... pour identifier  
et vaincre les  
obstacles  
épistémologiques

Les obstacles identifiés, il faudrait inventer des solutions pour les vaincre. Car l'enseignant n'est pas un collectionneur d'obstacles. Certes, amener au niveau conscient chez le jeune, le complexe d'analogies, d'images fausses qui retardent son acquisition du savoir scientifique, serait déjà décisif. Les lourdeurs de la pensée sont d'autant plus actives qu'elle demeurent inconscientes. Cependant, l'histoire des sciences nous offre aussi un moyen de choix pour les vaincre en mettant en relief les voies du franchissement des obstacles. Ce que Bachelard a nommé les "actes épistémologiques" (16).

Je vais essayer d'en donner un exemple, à propos de la théorie cellulaire. La division cellulaire nous permet de comprendre comment on passe de la cellule unique qu'est l'oeuf à cet assemblage complexe de cellules qu'est être pluricellulaire. Or le mécanisme de cette division n'a été acquis que tardivement par rapport à l'élaboration de la théorie cellulaire. Longtemps, les biologistes ont conservé pour expliquer le développement de l'être les vieilles idées héritées du XVIII<sup>e</sup> siècle. Vers 1830, on se demande si les cellules se forment par l'agrandissement d'un germe préexistant ou si les cellules nouvelles sont incorporées par l'alimentation et véhiculées par le sang. L'esprit paresseux préfère croire à la préexistence plutôt que d'expliquer la genèse des cellules (ou alors il évoque une mystérieuse organisation spontanée, à partir d'une matière homogène).

l'exemple de  
la théorie  
cellulaire

Mais à la même époque (1800-1840) on étudie activement les animaux "inférieurs" et on découvre notamment les colonies animales chez les Hydrozoaires, les Tuniciers,... Or l'organisme n'est au fond qu'une colonie de cellules et la multiplication cellulaire n'est pas très éloignée du bourgeonnement de la colonie à partir du polype initial. Dans le même temps, toujours, on s'aperçoit que les vers annelés (Annélides) se forment par bourgeonnement d'anneaux successifs à partir d'une larve indivise (17). Ces observations tellement plus aisées à faire que celle de la division cellulaire, n'ont-elles pas pu fournir un modèle à celle-là ? Ne constituent-elles pas la voie de l'acte épistémologique qui a vaincu l'obstacle du germe préexistant ? Ne pourraient-elles servir à faire

comprendre la division cellulaire à des jeunes ? Autant de questions dont l'étude aiderait à l'élaboration d'une nouvelle pédagogie des sciences.

nécessité d'une  
réflexion  
épistémologique

En se contentant de retourner la méthode traditionnelle, et en transformant l'expérience d'illustration en une pseudo-expérience de découverte, la pédagogie de la "redécouverte" a cru pouvoir réformer l'enseignement des sciences en faisant l'économie d'une réflexion méthodologique et épistémologique. Le résultat est décevant. On expérimente mais de façon toute artificielle, puisque les théories sont cachées dans les expériences, ... et introduites par contrebande. On suit la démarche de l'élève mais en lui soufflant ses réponses,...au point que certains professeurs inscrivent celles-ci à l'avance sur leurs notes de préparation de cours. Expérimentation et dialogue, l'un et l'autre vidés de substance, ont rendu suspect tout recours au livre. A l'heure où la télévision s'appête à supplanter le livre, les enseignants en restent à l'ère "prégutenbergienne" !

et d'une formation  
de chercheurs

Une vraie pédagogie de la découverte est indispensable, mais elle exigerait que les professeurs aient une formation de chercheurs. Comment initier des jeunes à la recherche expérimentale, si l'on n'a eu qu'une formation purement théorique ? Elle exigerait aussi que l'histoire des sciences leur vienne en aide en développant une histoire des obstacles épistémologiques. Puisque cette réunion donne à mes propos une audience internationale, c'est cet appel que je voudrais surtout faire entendre.

fortifier l'esprit  
de recherche  
précocément

Pour conclure sur une note modeste, je dirai que la pédagogie de la découverte devrait viser plus à **fortifier** qu'à **former** l'esprit de recherche. Car il n'est pas certain que le goût de l'investigation, l'intuition de l'hypothèse, le génie de l'expérience démonstrative soient entièrement formés par les exercices scolaires. Mon ami Evry Schatzman, astrophysicien français, écrivait récemment que pour former l'esprit scientifique "le contact précoce avec l'expérimentation est très important. Un très grand nombre d'expériences peut être mené par les enfants eux-mêmes". Après avoir cité quelques exemples, il ajoutait que "cela peut se dérouler dans le cadre scolaire mais aussi dans le cadre familial". Plus loin, d'ailleurs, il estimait que "l'esprit de recherche ne s'acquiert pas au contact d'un maître" car celui-ci "ne peut faire naître ni la curiosité, ni le goût de la découverte" (18).

et préserver  
la curiosité

Pour ajouter une touche polémique, je dirais volontiers qu'on se contenterait que l'école préserve l'esprit de découverte, car bien souvent hélas, l'enseignement actuel stérilise la curiosité qui existe chez l'enfant. Que maîtres et parents favorisent l'épanouissement de cette curiosité, qu'ils les sollicitent à tous propos, et pas seulement à l'occasion des leçons de science.

La résolution d'énigmes policières ne favorise-t-elle pas

la maturation de l'esprit scientifique ? Certaines nouvelles d'Edgard Poë - je songe précisément au Double assassinat de la rue Morgue - appliquent exactement la démarche de la science à la résolution d'une recherche de criminel : observation pour trouver des indices, élaboration d'une hypothèse qui rompt avec le sens commun (lequel veut qu'un meurtrier soit un humain, alors qu'il s'agit, ici, d'un orang-outang), puis vérification de cette hypothèse (par l'intermédiaire d'une annonce). Et après tout, si l'on formait aussi l'esprit scientifique en lisant de bons romans policiers ?

Gabriel GOHAU  
Lycée "Jeanson de Sailly"  
Paris

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) RABELAIS. **Gargantua**. 1534.
- (2) R. BLANCHE. **L'induction scientifique et les lois naturelles**. Paris. 1975.
- (3) Charles BRUNHOLD. **Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences**. Paris. 1948.
- (4) Gaston BACHELARD. **Le rationalisme appliqué**. Paris. PUF. 1949.
- (5) Rudolph CARNAP. "The aim of inductive logic", in NAGEL. SUPPES. TARSKI. **Logic, methodology and philosophy of science**. Stanford. 1962.  
Carl HEMPEL. **Philosophy of natural science**. Englewood Cliffs. 1966.
- (6) Karl POPPER. **The logic of scientific discovery**. London. New-York. 1959.
- (7) Mirko Drazen GRMEK. **Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard**. Genève. 1973.
- (8) C. BOURGEOIS. "Utilisation du bleu de méthylène pour mettre en évidence les deshydrogénases respiratoires", **Bull. A.P.B.G.** 1966.
- (9) Nuffield A. LEVEL **Biological science** : en tout 14 volumes. Sur le travail indépendant : B.J.K. TRIKER et DOWDSWELL. **Projects in Biological sciences**.
- (10) Thomas KUHN. **The structure of scientific revolutions**. Chicago. 1962.
- (11) Nuffield junior science. L'accent est mis sur le "problem solving". "Le rôle de l'école n'est pas d'apprendre les résultats mais d'utiliser la démarche scientifique de recherche comme outil éducatif".
- (12) PLATON. **Premiers dialogues**, par exemple : **Premier Alcibiade**.

- (13) G. LEROY. **Le dialogue en éducation.** Paris. 1970.
- (14) G. LAZEGGES. **Techniques de la classe** Paris. 1959.
- (15) Gaston BACHELARD. **La formation de l'esprit scientifique** Paris. Vrin. 1938.
- (16) Gaston BACHELARD. **L'activité rationaliste de la physique contemporaine.** Paris. PUF. 1951.
- (17) Gabriel GOHAU. **Précurseurs français de la théorie cellulaire en botanique.** Congrès Soc. savantes. Paris. 1976.  
Sur la préformation, on lira l'excellente communication de Jacques ROGER au cycle de conférences organisé par l'International School of History of Science en 1977 : "Deux processus de découverte...".
- (18) Every SCHATZMAN. "Peut-on former l'esprit scientifique". **Cahiers pédagogiques.** n° 141. 1976.
- (19) Edgard A. POE. **The murders in the rue Morgue.**



## DIDACTIQUE ET EPISTEMOLOGIE : ECLAIRAGES BACHELARDIENS

Alain Kerlan

*C'est autour de la notion de représentation que s'organise une bonne part des convergences de la didactique des sciences et de l'épistémologie bachelardienne. La place et l'importance de cette notion en didactique des sciences sont aujourd'hui telles qu'il faut s'interroger sur son sens et sa valeur. Les considérations pédagogiques qui traversent l'épistémologie de G. Bachelard doivent être examinées dans cette perspective. Elles relèvent d'une conception de la culture et de l'éducation scientifique qui doit faire l'objet d'une élucidation philosophique, et à laquelle l'entreprise didactique peut confronter ses propres valeurs. \**

La didactique des sciences emprunte beaucoup à l'épistémologie bachelardienne. En affirmant, dans un texte demeuré célèbre, que "la notion d'**obstacle épistémologique** pouvait être étudiée dans le développement historique de la pensée scientifique et dans la pratique de l'éducation" (1), Bachelard désignait un territoire aujourd'hui largement investi et tout à fait central.

Une bonne part des travaux conduits au titre de l'analyse des représentations d'élèves paraît en effet exprimer, du côté de la "pratique de l'éducation", des préoccupations voisines de celles dont rend compte le concept d'obstacle épistémologique.

Certes, la substitution du terme de représentation à celui d'obstacle épistémologique peut susciter des réserves.

---

\* Les lignes qui suivent reprennent un aspect d'un travail réalisé dans le cadre d'un D.E.A. de Philosophie sous le titre : **Les sciences enseignées et la question des représentations. Didactique et épistémologie.** (Université de Besançon, 1986, sous la direction de P. Livet). Elles n'ont bien sûr nullement la prétention de réduire l'histoire de la didactique ou de la notion didactique de représentation à ses seules strates bachelardiennes. Il va de soi que cette histoire-là devrait intégrer l'apport piagétien, les approches sociologiques, les réflexions issues de la pédagogie des adultes et plus ou moins implicitement un passé théorique complexe... Mais il n'est pas sûr qu'elle suffirait à définir le **sens** et les enjeux philosophiques de la didactique contemporaine ; la rencontre de ces divers courants des sciences humaines au sein d'une de ses notions-clés constitue précisément l'événement qu'il s'agit d'interpréter.

parallélisme et  
convergences entre  
la didactique des  
sciences et  
l'épistémologie  
historique

Elles ne doivent pas pourtant dissimuler l'essentiel : c'est bien autour de la notion de représentation que s'organise le parallélisme et les convergences entre la didactique des sciences et l'épistémologie historique.

Mieux : compte-tenu de l'importance que revêt la notion de représentation, ce parallélisme et ces convergences contribuent largement à la légitimation culturelle de la didactique.

Car la notion de représentation est devenue la part visible et emblématique de ce qu'on peut appeler une figure pédagogique des sciences. C'est pourquoi il importe de s'interroger sur son sens et sa valeur.

A quelle (s) conception (s) de la culture et de l'éducation scientifique se réfère finalement la notion de représentation ? Quelle expérience, quelle assimilation culturelle des sciences propose-t-elle ?

Je voudrais suggérer ici que ces questions peuvent recevoir de la philosophie bachelardienne de précieuses clarifications.

Il est clair qu'aucun parallélisme, qu'aucune convergence n'auraient pu se développer sans qu'une communauté d'intérêts et de réelles affinités théoriques n'apparentent l'épistémologie historique et la didactique des sciences.

Ainsi de la mise en cause par Bachelard des catégories philosophiques classiques, et en premier lieu d'une raison conçue comme "absolue et immuable" \* : n'y a-t-il pas aussi des catégories pédagogiques classiques que la didactique met en cause, et qui procèdent au fond de thèses et de spéculations philosophiques identiques à celles que dénonce Bachelard, au nom des sciences en marche dont il s'instruit ? Bref, ce que la didactique met en jeu semble ici faire écho aux interrogations du philosophe.

On sait que Bachelard fut une sorte d'autodidacte en philosophie, et que c'est par une réflexion sur les sciences et sur leur enseignement qu'il exerça, qu'il en vint à la spéculation philosophique. Aussi n'est-il pas illégitime de "retourner" le processus, et de retrouver les questions de l'enseignement en suivant le fil de la spéculation philosophique.

---

\* Bachelard va jusqu'à dire que "la doctrine d'une raison absolue et immuable est une philosophie périmée" (2).

## 1. REPRESENTATIONS ET SAVOIR : LES PARADOXES DE LA CULTURE

Voici la considération qui devrait être le point de départ : les sciences enseignées sont aussi des sciences réfléchies. C'est le secret de l'intérêt que l'épistémologie bachelardienne accorde à la pédagogie des sciences. La pédagogie, dans l'oeuvre de Bachelard, n'est pas seulement l'expression d'une passion de professeur pour l'enseignement, même si l'épistémologue en fait volontiers l'aveu malicieux :

la pédagogie revêt  
une dimension  
épistémologique...

*"Léon Brunschvicg, avec cette nuance de critique toujours bienveillante qui donnait tant de puissance à ses objections, s'étonnait un jour de me voir attribuer tant d'importance à l'aspect pédagogique des notions scientifiques. Je lui répondais que j'étais sans doute plus professeur que philosophe, et qu'au surplus la meilleure manière de mesurer la solidité des idées était de les enseigner, suivant en cela le paradoxe qu'on entend si souvent énoncer dans les milieux universitaires : enseigner est la meilleure façon d'apprendre. Compte-tenu de la fausse modestie qui donne habituellement le ton de cette boutade, elles est trop fréquente pour ne pas avoir un sens profond." (3)*

Malice, ironie, ou modestie, qui voudraient dissimuler sous l'imagerie professorale et l'humilité artisanale la nouveauté du regard porté sur les sciences. Elles ne doivent pas égarer. La pédagogie chez Bachelard revêt bien une dimension épistémologique. L'épistémologie bachelardienne - si l'on veut bien accorder que la notion d'obstacle épistémologique en présente une face essentielle - situe les objets concrets de son investigation dans l'histoire et dans l'éducation, même si ses travaux effectifs ont surtout ouvert le champ historique. Dans ces deux domaines, les sciences retrouvent toute une matérialité que dissimulent les formes dominantes du rationalisme.

... et l'épistémologie inclut la réflexion pédagogique

À l'inverse, la pédagogie et la didactique paraissent souvent s'infiltrer dans la définition de l'épistémologie. Dès 1933, dans ses *"Intuitions atomistiques"*, avant même la constitution du concept d'obstacle épistémologique, qui est fondamental pour une réflexion sur la philosophie pédagogique", comme le note C. Gasperine, Bachelard écrit :

*"Le plus frappant des caractères épistémologiques de la science atomique est peut-être de nous étonner. On n'est pas ou on ne devient pas familier de l'infiniment petit. On ne peut souvent le comprendre qu'en déformant ses manières de comprendre dans une activité toute réflexive, par un usage tout polémique de la raison." (4)* On le voit : définissant un caractère épistémologique, Bachelard ne recourt ici nullement au langage du concept, de la théorie, ou à quelque dimension expérimentale du côté de l'objet, mais bien à une notion quasi

psychopédagogique -l'étonnement- du côté du **sujet**. Plus exactement, le caractère proprement épistémologique de l'atome ne paraît bien se révéler ou s'accomplir - **s'identifier** - que dans la rencontre d'un savoir constitué et d'un savoir se constituant, d'une "raison enseignante" et d'une "raison enseignée", bref au sein d'une véritable **réflexion** pédagogique - la pédagogie révélant du même coup sa fonction réfléchissante.

Entendons-nous bien. Les sciences n'ont certes nul besoin de la pédagogie scolaire pour exister, hormis ce qu'exige leur reproduction sociale. Toutefois, s'agissant du **caractère** épistémologique, - Bachelard parlera ailleurs de **valeur** épistémologique, soucieux d'accorder aux sciences leurs lettres de noblesse culturelle - l'analyse bachelardienne introduit au sein même de l'activité scientifique, de la science vivante, ce qu'il faut bien appeler une dimension pédagogique, "en s'efforçant de saisir, comme le dit C. Gasperine, la science **dans la relation de la raison enseignante à la raison enseignée.**" (5)

Nous n'étudierons pas ici les linéaments de l'utopie scolaire bachelardienne, encore qu'il ne soit pas sans importance que l'épistémologue ne puisse définir la vocation culturelle des sciences autrement qu'en faisant de l'École le modèle et la fin de la société. Nous soulignons seulement ce mouvement d'**explicitation** de la rationalité scientifique qu'amorce l'étonnement, en confrontant les concepts aux autres "manières de comprendre" dont ils portent toujours négativement la trace. Il nous semble en effet pouvoir rendre compte des intérêts éducatifs investis dans la notion de représentation.

Sciences enseignées, sciences réfléchies ? La notion de représentation couvre précisément cette zone de réflexion qui oppose et confronte la rationalité scientifique aux autres formes de la connaissance, aux autres "manières de comprendre".

### I.I. Représentations et éducation scientifique

Que met à jour en effet l'analyse des représentations ? Pour l'essentiel, certaines modalités d'organisation et d'interprétation préscientifiques du réel, les infrastructures de la connaissance commune : la perception et l'expérience première, l'action et ses schèmes, le langage et ses articulations, l'imaginaire et ses valeurs ... Un seul exemple : la perception et l'expérience du corps propre donnent lieu à des intuitions familières que devront bien souvent "reprendre" les rationalités biologiques pour s'édifier. La circulation sanguine devra ainsi, chez les jeunes élèves, s'imposer "contre" les modèles statiques que renforcent notamment les données perceptives et empiriques. (6)

la notion de  
représentation  
interroge les  
rationalités  
scientifiques  
du point de vue du  
sujet individuel

Du même coup, l'attention portée aux représentations en pédagogie introduit dans le champ de l'enseignement tout ce contre quoi la rationalité scientifique s'édifie. Et sans doute, si les sciences sont bien ce que Bachelard en dit, "une activité toute réflexive", "un usage tout polémique de la raison", "déformant nos manières de comprendre", n'y a-t-il pas de véritable éducation aux sciences en dehors de cette attention-là, attention de la raison enseignante à ce que la raison enseignée lui rappelle des dépassements et des négations en quoi elle se constitue.

La fidélité aux **valeurs** épistémologiques (à "l'esprit scientifique") exige des équivalents éducatifs de cette dialectique. La représentation sera à la fois la donnée concrète et inaugurale de la "pratique de l'éducation", et le signe de ralliement d'une pédagogie décidée à accomplir, sur le terrain de l'éducation, l'oeuvre culturelle des sciences, la mise en oeuvre éducative des valeurs épistémologiques.

Il nous faudra donc prendre la mesure de cette décentration. La didactique des sciences qui s'élabore autour de la notion de représentation ne peut être bornée dans les simples limites d'une "théorie de l'apprentissage". Il ne s'agit pas seulement de mieux transmettre ou de mieux "apprendre" les concepts scientifiques, mais bien d'**éduquer** aux sciences, de définir les conditions et les moyens d'une **éducation** scientifique, d'un accomplissement des valeurs éducatives et culturelles des sciences, et sans doute de faire des sciences, de la rationalité scientifique, un modèle d'éducation.

elle vise un  
modèle d'éducation  
qui accomplisse  
les valeurs de  
la science

## 1.2. Les sciences et la forme pédagogique

Car l'éducation scientifique ne va pas de soi, en dépit de la place des sciences dans le système scolaire. Bachelard l'écrivait très clairement, à la fin de la "Formation de l'esprit scientifique" (7):

*"Si nous allions au-delà des programmes scolaires jusqu'aux réalités psychologiques, nous comprendrions que l'enseignement des sciences est entièrement à réformer ; nous nous rendrions compte que les sociétés modernes ne paraissent pas avoir intégré la science dans la culture générale. On s'en excuse en disant que la science est difficile et que les sciences se spécialisent. Mais plus une oeuvre est difficile, et plus elle est éducative."*

Près d'un demi-siècle s'est écoulé depuis ce constat : il n'en garde pas moins toute son actualité. Exagérait-on, en affirmant qu'elle s'est sans doute accrue ?

La difficulté, sinon l'impossibilité des sciences à se couler dans la **forme** pédagogique - à incarner leur rationalité propre dans un modèle pédagogique, au sens durk-

l'intégration des sciences à la culture générale est une exigence majeure

l'éducation scientifique doit gérer simultanément les ruptures épistémologiques et les continuités cognitives

heimien \* - pourrait bien constituer l'une des caractéristiques majeures de l'histoire moderne de la pédagogie. \*\* Pire encore : l'évolution des connaissances scientifiques rend plus que jamais nécessaire le modèle pédagogique qui échappe. Cet autre constat bachelardien possède une actualité accrue :

*"La cité scientifique présente dans son sein même une telle activité de différenciation qu'on peut maintenant prévoir qu'elle se posera désormais toujours comme une transcendance à l'égard non seulement de la connaissance usuelle, mais encore à l'égard de la connaissance de première culture. Toute philosophie de la culture doit accueillir l'idée de niveau pédagogique". (10)*

Il en irait certes autrement "si l'esprit se formait **directement** dans la cité scientifique", puisque l'on pourrait alors, estime Bachelard, "poser directement... les principes de l'organisation rationnelle de la culture scientifique". Mais la situation est toute autre, "et la cité scientifique est établie en marge de la cité sociale" (ibid). C'est pourquoi, ajouterons-nous, les sciences requièrent et une institution éducative et un modèle pédagogique.

La notion de représentation et la réflexion didactique qui la sous-tend nous paraissent participer de la recherche d'un tel modèle, et tenter de combler les écarts qu'expriment les deux constats bachelardiens : entre la science et la culture, entre la connaissance commune - voire "la connaissance de première culture"- et les connaissances scientifiques. Non pas en proposant des filiations ou des continuités des expériences premières aux connaissances savantes, des intuitions aux savoirs discursifs - encore qu'il s'agisse là pour la pédagogie des sciences d'une tentation vive et constante, ni même en décrivant des procédures de passage, fussent-elles dialectiques. Il faut en prendre son parti : les représen-

---

\* Dégageant la racine chrétienne commune à **toutes les traditions et conceptions pédagogiques**, et les opposant au modèle antique, Durkheim écrit :

*"Pour nous aussi, (l'éducation) a pour principal objet, non de donner à l'enfant des connaissances plus ou moins nombreuses, mais de constituer chez lui un état intérieur et profond, une sorte de polarité de l'âme qui l'oriente dans un sens défini non pas seulement pendant l'enfance, mais pour la vie... Notre conception du but s'est sécularisée ; par suite les moyens employés doivent changer eux-mêmes ; mais le schéma abstrait du processus éducatif n'a pas varié." (8)*

\*\* A propos de cette notion de "forme scolaire", de "forme pédagogique", voir Guy Vincent (9).

tations plaident autant pour les continuités gnoséologiques que pour les ruptures épistémologiques. C'est le propre des connaissances scientifiques que de rompre avec les formes d'organisation du réel, les autres "manières de comprendre" dont l'analyse révélera par ailleurs qu'elles les préfiguraient. Même si, comme le montre Cassirer dans une perspective kantienne, "avec les conditions du concept physico-mathématique d'objet, avec les concepts de nombre et de mesure, s'épuise tout ce que la perception renferme de contenu et de portée théoriques", même si on peut développer "avec une entière rigueur et dans toutes les directions l'idée d'une "forme" intellectuelle qui serait dès l'origine inhérente au monde perçu" (II), il n'en demeure pas moins que l'exercice de la pensée mathématique, et la mise en ordre des phénomènes qu'elle permet, s'effectue en rupture avec l'ordre perceptif.

C'est pourquoi les infrastructures cognitives que met à jour l'analyse des représentations peuvent se supersposer très exactement aux obstacles épistémologiques bachelardiens : celles de la perception à l'obstacle de l'expérience première, celles de l'action à celui de la connaissance pragmatique, les infrastructures linguistiques à l'obstacle verbal, celles de l'imaginaire à ces désirs et à ces mythes qui justifient une "psychanalyse de la connaissance objective". \*

La question proprement pédagogique et culturelle que recouvre la notion de représentation ne peut donc s'éteindre dans une réponse psychologique. Elle ne demande pas seulement : "comment passer de la connaissance commune à la connaissance scientifique, des intuitions aux savoirs discursifs, des représentations aux concepts ?". C'est l'erreur de la "pédagogie des représentations" que de l'avoir cru. Une autre interrogation, insistante, la traverse et traduit le souci éducatif : "que faire, dans la classe de sciences, des autres "manières de comprendre" ? Quelle place, dans une culture scientifique, pour les autres modes d'élaboration de l'expérience, pour l'intuition, pour l'imagination, le langage, les représentations sociales ?" Ou encore, "quelle place, dans la culture, pour l'autre du savoir ?" Et même : "que faire de tout ce "contre" quoi la rationalité scientifique se constitue ?"

De ce point de vue, l'exploration des représentations enfantines en didactique des sciences marque une sorte de fascination pour l'autre du savoir scientifique.

Comme s'il fallait d'abord et longuement s'attarder sur

une culture  
scientifique ne  
peut ignorer les  
autres formes  
d'élaboration et  
d'interprétation  
du réel

---

\* Tout comme les procédés de la vulgarisation scientifique, tels que les analyse D. Jacobi, recourent les obstacles bachelardiens. (12)

les bords, les marges et les ombres, creuser les soubassements, exhiber les enracinements, dans le corps, le langage, le désir.

On trouve une semblable fascination chez Bachelard, dans cette exploration gourmande des "curiosités" prés-cientifiques que constitue sa "Formation de l'esprit scientifique". Elle suscite, sous les sciences du XVIIIème siècle, comme le dit D. Lecourt, la "figure mythique d'un "état de nature" de l'esprit scientifique", un monde d'instincts et d'impulsions. (13)

### 1.3. Histoire des sciences et psychologie de la connaissance

Quelque formulation qu'on en retienne, la question pédagogique des représentations définit donc implicitement ce que devrait être une culture fondée sur les sciences : un ordre vivant au sein du savoir qui confronterait la rationalité scientifique aux autres formes d'élaboration du réel.

Insistons. La culture scientifique ne se confond pas avec les connaissances scientifiques ; mais elle se situerait du côté des confrontations entre "les manières de comprendre" impliquées dans leur production, dans la science vivante - d'où la valorisation pédagogique de l'idée de "conflit cognitif" analysée notamment par Michel Sanner (14).

L'utilisation didactique de l'histoire des sciences \* l'illustre assez bien. Lorsqu'il propose à la réflexion des élèves, pour tel concept scientifique, une formulation dont il sait qu'elle a constitué un obstacle épistémologique, le maître de sciences espère bien convertir en culture vivante le dynamisme historique de la rationalité. Riche de toutes les confrontations qu'il condense, l'obstacle épistémologique lui paraît chargé d'un fort potentiel de culture. \*\*

En somme, la culture scientifique résiderait moins dans la science que dans l'effort vers la science... Les pages que Bachelard consacre à la culture scientifique autorisent tout à fait ce genre de définition paradoxale, qui

le concept  
d'obstacle  
épistémologique  
inclut une concep-  
tion dynamique de  
la culture  
scientifique

---

\* Voir particulièrement les travaux de Francis Halbwachs (15) (16).

\*\* Nous distinguons l'utilisation proprement didactique de l'histoire des sciences des tentatives de légitimation culturelle des sciences par le biais de l'histoire, beaucoup plus répandues, et qui procèdent comme s'il allait de soi que l'histoire conférerait une dimension culturelle dont les sciences seraient par nature dépourvues.

paraît maintenir une partie de l'épistémologie bachelardienne dans la perspective d'un modèle culturel de la conversion. Il faut chercher ce que les sciences recèlent de culture dans cette catharsis intellectuelle et affective qui accompagne le travail scientifique ; s'il y a culture, c'est dans la mesure où l'esprit scientifique réordonne le psychisme.

De même, si l'histoire des sciences concerne la culture, c'est qu'elle constitue une "zone intermédiaire", "moins profonde que celle où se déroulent les instincts primitifs" (17), où pourra mieux s'expliquer l'orthopsychisme qui est la fin culturelle du travail scientifique \*. Tout comme la psychologie de la connaissance, l'histoire des sciences restitue ce dont la rationalité scientifique doit se différencier pour s'identifier, les différences par où il lui faut passer, puisque rien en elle n'est immédiat.

D'où le paradoxe du recours bachelardien à la psychologie, et la méprise pédagogique qu'il peut nourrir. Toute tentative d'en déduire une conception psychologique de la connaissance scientifique et de la didactique accumule tôt ou tard les contradictions. Pour une seule et même raison : le psychologique n'est invoqué, chez Bachelard, que pour être... évacué ! En d'autres termes, le recours à la psychologie n'a pas pour but de psychologiser, mais bien de dépsychologiser, puisque le psychologique recouvre la zone que la rationalité devra éliminer en se construisant. \*\*

Si l'on suit jusqu'au bout le paradoxe, il faudra en conclure qu'il n'y a jamais, en toute rigueur, de psychologie de la connaissance, mais toujours la possibilité d'une psychologie de la non-connaissance ! La conclusion paraîtra moins scandaleuse dans cette autre version : l'erreur et l'errance seules, parce qu'elles les objectivent, rendent possible un savoir positif des processus de la connaissance.

Les procédés qu'utilisait Bachelard lui-même au cours de son propre enseignement offrent de ce point de vue des illustrations saisissantes. Pierre Thillet en fournit de précieux témoignages :

*"Chaque fois qu'il nous donnait un exemple concret, chaque fois qu'il jouait devant le tableau noir, chaque fois qu'il mimait (et avec quel talent !) quelque thème de*

seule l'erreur  
rend possible une  
connaissance des  
processus de la  
construction du  
savoir

---

\* On notera au passage les limites d'une lecture marxiste de Bachelard : rien ici qui évoque le matérialisme historique...

\*\* Michel Serres analyse pour sa part l'inspiration puritaine de Bachelard et dévoile "une éthique purgative du savoir" - cf. "La réforme et les péchés" (18).

réflexion, épistémologique ou autre, c'était pour entrer dans le jeu de cette dialectique psychologisme/non psychologisme, pour essayer d'évacuer par le moyen d'un événement spectacle toute cette rouille que l'événement peut attacher au savoir.

Pour illustrer ce paradoxe, Bachelard évoquait souvent le principe d'identité. Quoi de plus abstrait, de plus dépouillé, de plus purement logique ? Mais pour l'enseigner, il faut lui donner un certain contenu. Au lieu de dire A est A, disons par exemple qu'un sou est un sou. C'est une application psychologique du principe d'identité, mais qui finalement contredit à ce principe, car le second "un sou" est dit d'une manière rapace et n'équivaut pas au premier ; on entre ici dans le domaine du passionnel. De même - c'est toujours Bachelard qui parle - quand nous disons "il faut ce qu'il faut", "je dis ce que je dis", "je sais ce que je sais", nous introduisons chaque fois par notre ton, par notre intention significative, une dimension psychologique qui ruine le caractère logique du principe d'identité. C'est pourquoi il faut charger pédagogiquement la logique d'infantilisme, mais justement pour en évacuer tout ce qu'elle contient de tares psychologiques. Dans le corrigé auquel je me réfère, Bachelard concluait, et ceci comme une critique: "la phénoménologie est logicisme, logique pure, idée pure." On ne peut pas s'installer dans la logique pure, il faut toujours passer par un processus de purification." (19)

Cet exemple, et son commentaire, comportent, pour notre propos une leçon capitale : **la raison, dès qu'elle s'enseigne, et ne s'agirait-t-il même que de simple logique, ne peut se maintenir dans une pure identité à soi-même.** Aussitôt qu'enseignée, la rationalité scientifique est aux prises avec ses différences : entre le savoir et ses formulations, la pensée et son langage, le concept et ses représentations, l'exposition et la transposition, et aussi, faudrait-il ajouter dans une autre perspective, et selon les termes de P. Livet, "entre une rationalité logico-instrumentale et une rationalité pragmatique et pratique". (20)

C'est pourquoi elle ne se trouve vraiment qu'au bout de ces différences, au terme toujours mouvant d'un "processus de purification". Aussi, la "charge" pédagogique, selon l'expression de Bachelard, s'avère-t-elle le meilleur moyen de révéler les valeurs épistémologiques.

Les mêmes considérations conduisent Bachelard, précisant l'esprit dans lequel il voudrait voir enseigner la révolution lobatchevkienne, à s'opposer, en didactique des mathématiques, à ceux qu'il nomme les logiciens et les formalistes, et qui, "au lieu de réaliser, de sur-réaliser la liberté rationnelle que l'esprit expérimentait" dans les géométries non-euclidiennes, "ont tout au contraire dé-réalisé, dé-psychologisé la nouvelle conquête spirituelle". (21)

la rationalité  
scientifique est  
aussi une  
conquête  
psychologique

Exprimons le paradoxe : si une conquête spirituelle ne s'éprouve bien qu'en fonction de la charge psychologique dont elle se déleste, l'enseignement ne doit pas commencer par exclure une instance psychologique qu'il s'agit précisément d'éliminer en fin de course. Gasperine, pour commenter ce paradoxe, trouve d'heureuses formules : "Le devoir du sur-rationalisme, écrit-il, est de reprendre les formes épurées et économiquement agencées par les logiciens, pour ainsi dire de les remplir psychologiquement pour les mettre en mouvement." (22)

## 2. LES EXIGENCES DU SUJET

Nous ne poursuivrons pas, dans le cadre de cette réflexion, l'analyse des implications pédagogiques de l'épistémologie bachelardienne. Il nous suffit de suggérer que la didactique fondée sur les représentations devrait y affronter ses paradoxes et peut-être ses impasses.

### 2.1. La culture scientifique et le sujet empirique

L'oeuvre de Bachelard, même si cette didactique peut y chercher ses arguments et une légitimité, ne propose aucune réponse directe à la question qui la hante : "la notion de représentation permet-elle de bâtir une pédagogie de la culture scientifique ?" Du moins fournit-elle des éléments pour définir en rigueur ce que devrait être cette culture. Il n'est pas sûr que la didactique y trouverait son compte, ou plutôt qu'elle soit disposée à en accepter la conception ; il est vraisemblable que la notion de représentation y rencontrerait ses limites.

Un seul exemple, un seul paradoxe, central. Analysée dans une perspective épistémologique, la notion de représentation apparaît comme une tentative de faire face aux contradictions de l'entreprise éducative en sciences : comment permettre l'appropriation personnelle de savoirs dont la dépersonnalisation est la loi constitutive ? Comment faire de ce qui est le discours de **personne** le savoir de **chacun** ? Bref, quelle place et quels bénéfices, pour les sujets empiriques, dans la culture scientifique ? \*

l'éducation  
scientifique doit  
prendre en charge  
le sujet empiri-  
que "absent" du  
discours  
scientifique

---

\* Comme le notait B. Jurdant, le discours scientifique présente "le paradoxe d'un discours humain dont l'homme, en tant que sujet, est absent. C'est à dire que là où le discours scientifique est censé s'articuler sur un auteur-sujet déterminé, on trouve une place vide, ou encore une question sans réponse..." (23)

Et en effet, comment les sciences pourraient-elles prétendre éduquer, si le sujet concret n'y trouvait son compte, un ordre et une fin ? Tous ceux qu'anime le souci d'une véritable éducation scientifique approuveront les propos de Bachelard :

*"D'une façon générale, les philosophies de la connaissance semblent de nos jours en défaveur. L'effort du savoir paraît entaché d'utilitarisme ; les concepts scientifiques pourtant si bien accordés sont tenus pour de simples valeurs d'ustensilité. L'homme de science, à la pensée si ardente, si opiniâtre, à la pensée si vivante, est donné comme un homme abstrait. De proche en proche, toutes les valeurs de l'homme studieux, de l'homme industriel, reçoivent un discrédit. La science n'est plus qu'une petite aventure, une aventure dans les pays chimériques de la théorie, dans les labyrinthes ténébreux d'expériences factices. Par un paradoxe incroyable, à entendre les critiques de l'activité scientifique, l'étude de la nature détournerait les savants des valeurs naturelles, l'organisation rationnelle des idées nuirait à l'acquisition d'idées nouvelles."* (24)

Et pourtant, c'est bien sur cette question capitale des rapports de l'individu concret au savoir scientifique que vient buter l'entreprise éducative et culturelle des sciences.

En didactique, la représentation, au moins par l'une de ses faces, a toujours quelque chose d'un coup de force, contre la dépersonnalisation, contre la désobjectivation : en elle, la pédagogie espère maintenir la possibilité d'une culture qui installerait l'individu concret, riche de ses déterminations psychologiques et empiriques, dans la plénitude et le bonheur de la rationalité scientifique. Pour que le savoir soit "partagé", selon la formule de Philippe Roqueplo, il faut que l'ordre subjectif et l'ordre épistémologique se rejoignent.

Pour Bachelard au contraire, la structure du savoir objectif ratifie leur disjonction ; le processus de production des concepts n'est pas fondé sur le seul jeu des facultés des sujets empiriques qui y prennent part : il procède à l'inverse, à l'évacuation de la subjectivité empirique au profit d'une rationalité dont il faudrait dire, pour bien marquer la rupture philosophique de l'épistémologie bachelardienne \*, qu'elle pense sans lui... L'Essai sur la connaissance approchée l'écrit d'ailleurs expressément à propos des mathématiques : "les mathématiques sont un **langage qui pense tout seul**" (26), et le "Nouvel esprit scientifique" apporte à la formule un commentaire sans ambiguïté :

l'ordre subjectif  
et l'ordre  
épistémologique  
sont disjoints...

---

\* Sur ce point, voir Dominique Lecourt (25).

"On a répété sans fin que les mathématiques étaient un langage, un simple moyen d'expression. On s'est habitué à les considérer comme des outils à la disposition d'une raison consciente d'elle-même, maîtresse d'idées pures d'une clarté anté-mathématique. Une telle segmentation pouvait avoir un sens à l'origine de l'esprit scientifique..." (27)

## 2.2. Un sujet divisé

Dès lors, et c'est le paradoxe, l'oeuvre éducative des sciences se déploie dans l'espace de la disjonction ; ce que le sujet empirique qui s'éduque aux sciences éprouve, reprend en lui, c'est bien la différence, la distinction de l'épistémologique, et du psychologique : "la science", dit et répète Bachelard, "divise le sujet".

Tout ceci, une célèbre formule de la "Formation de l'esprit scientifique" le résume en des termes qui dissipent toute ambiguïté, si on prend la précaution de les entendre à la lettre : "une découverte scientifique", affirme-t-elle, "est immédiatement une rectification subjective" (28). De quelle rectification s'agit-il ? Nullement d'une rectification de l'ordre subjectif qui lui permettrait d'accéder à l'objectivité ; nullement d'une rectification des représentations d'où pourraient émerger, de proche en proche, les concepts. On ne pourra donc parler, en toute rigueur, que des effets subjectifs du processus d'objectivation. L'éducation devra gérer ces effets : "si l'objet m'instruit, il me modifie" (29).

On objectera que les obstacles épistémologiques sont des exemples incontestables de l'interférence de l'ordre subjectif et de l'ordre scientifique. Mais c'est précisément ce en quoi ils constituent des obstacles. Les franchir implique nécessairement la disjonction des deux ordres. A la notion d'obstacle doit être associée celle de rupture, ou de coupure épistémologique : "convertir le lieu de ces obstacles en lieu d'une coupure qui séparera définitivement la procédure de la pensée rigoureuse des aventures et des investissements du sujet humain, note P. Trotignon, tel est le dessein de la science" (29). Faut-il souligner la richesse paradoxale que recouvre la proximité des notions de représentation et d'obstacle ? S'agissant de la place du sujet empirique dans la culture scientifique, elles participent de conceptions à peu près contraires...

... mais la distinction de l'épistémologique et du psychologique définit l'espace de la culture scientifique...

... et situe les tâches paradoxales de l'éducation

\* \* \*

Allons, pour conclure, jusqu'au bout du paradoxe que doit en fin de compte assumer l'éducation scientifique. Le double visage de l'oeuvre de Bachelard, l'étrange dualité

qui double, jusqu'à la supplanter, l'épistémologie d'une poétique, la philosophie des sciences d'une philosophie de l'imagination, l'exprime dans sa rigueur énigmatique. Tout se passe en effet comme si l'oeuvre éducative des sciences - leur capacité à fonder la culture - ne pouvait être totalement éprouvée sans que soit récupérée, au sein des images que déploie comme une végétation luxuriante l'activité poétique, la subjectivité dont les sciences ne cessent de se défaire pour se faire. Comme s'il fallait montrer par là au sujet empirique que la "rationalité calculatrice", "l'opérativité qui le domine" (30) et l'exclut, restaient bien, mais en abîme, son oeuvre.

La didactique des sciences suivrait-elle Bachelard jusque-là ? Nous suggérons seulement que son intérêt profond pour les représentations, tel du moins que nous avons cru devoir l'analyser, ce besoin de s'attarder aux bords, aux marges, aux soubassements et finalement à l'autre du savoir, en ces lieux qu'il faudra bien pourtant "convertir en lieux d'une coupure", pourrait bien, peut-être, traduire un même ordre de préoccupations. A cet égard la didactique partagerait avec l'épistémologie bachelardienne le souci d'une unité paradoxale de la culture fondée sur les sciences.

Alain KERLAN  
Ecole Normale de Vesoul  
Centre Universitaire de Formation  
des Maîtres de Besançon

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Gaston BACHELARD. **La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance.** Paris. Vrin. 1938, p. 17.
- (2) Gaston BACHELARD. **Le nouvel esprit scientifique.** Alcan. 1934, p. 144.
- (3) Gaston BACHELARD. **Le rationalisme appliqué.** Paris. P.U.F. 1949, p. 12.
- (4) C. GASPERINE. "Bachelard et l'enseignement." Table ronde in **Colloque de Cerisy 1970.** UGE. 1970.
- (5) *ibid.* (4), p. 414.
- (6) Guy COTTET-EMARD, Alain KERLAN. **L'enfant et son corps.** Etude sur les représentations enfantines de la biologie humaine. CNDP/CRDP de Besançon. 1979.
- (7) Gaston BACHELARD. **La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective.** Paris. Vrin. 1938.

- (8) Emile DURKHEIM. **L'évolution pédagogique en France**. Paris. PUF. 1938, p. 38.
- (9) G. VINCENT. **L'école primaire française**. Presses Universitaires de Lyon. 1980.
- (10) Gaston BACHELARD. **Le rationalisme appliqué**. Paris. PUF. 1949, p.23.
- (11) Ernst CASSIRER. **La philosophie des formes symboliques : phénoménologie de la connaissances**. 1957. Traduction française : Editions de Minuit. 1972. Tome 3, p.25.
- (12) Daniel JACOBI. **La diffusion des connaissances scientifiques : stratégie des chercheurs, auteurs d'articles dans des revues de vulgarisation**. Thèse de 3ème cycle. Université de Besançon.
- (13) Dominique LECOURT. **Bachelard, le jour et la nuit**. Paris. Grasset. 1974, p.28.
- (14) Michel SANNER. **Du concept au fantasme**. Paris. PUF. 1983.
- (15) Francis HALBWACHS. **La pensée physique chez l'enfant et le savant**. Delachaux et Niestlé. 1974.
- (16) Francis HALBWACHS. "Structure de la matière enseignée et développement conceptuel." **Revue Française de Pédagogie**. N°45. Oct.nov.déc. 1978.
- (17) Gaston BACHELARD. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris. Vrin. 1938, p. 26.
- (18) Michel SERRES. **L'interférence**. Paris. Les Editions de Minuit. 1972.
- (19) *ibid.* (4), p. 422-423.
- (20) P. LIVET. "Les exigences de la communication." **Critique**. N°469/470. 1986.
- (21) *ibid.* (4), p. 415.
- (22) *ibid.* (4).
- (23) B. JURDANT. "La vulgarisation scientifique." **La recherche**. N°53, fév. 1975.
- (24) Gaston BACHELARD. **L'engagement rationaliste**. Paris. PUF. 1972, p. 35-39.
- (25) *ibid.* (13).
- (26) Gaston BACHELARD. **Essai sur la connaissance approchée**. Paris. Vrin. 1928, p. 10.
- (27) *ibid.* (2), p. 53.
- (28) *ibid.* (7), p. 249.
- (29) P. TROTIGNON. "Bachelard". **Encyclopaedia Universalis**. Tome 2, p. 1007.
- (30) P. LEVY. "Le théâtre des opérations. Au sujet des travaux du B.C.L." **Cahiers du C.R.E.A.** N°8, nov. 1985. Ecole Polytechnique.



## POUR L'INTRODUCTION DE L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT DU SECOND CYCLE

Geneviève Lacombe

*Si la place officielle de l'histoire de la biologie dans l'enseignement du second cycle est dérisoire, il est toujours possible, lorsqu'on est convaincu de son intérêt, de saisir les occasions de l'introduire, fût-ce de façon furtive.*

*Les quelques exemples présentés ici correspondent à des essais échelonnés dans le temps conduits par des professeurs de plusieurs disciplines du lycée de Saint-Gaudens ; le plus souvent lancés sur un coup de coeur, ils nous ont permis de "dévorer" des documents, de partager nos connaissances, de confronter nos points de vue. Lieu d'interdisciplinarité, l'histoire des sciences est pour chacun de nous source de culture. Sans doute, notre pratique - inscrite dans les contraintes de l'institution - n'est-elle qu'un patchwork de tentatives partielles, miettes dépareillées et parfois ridiculement ambitieuses. Conscients de privilégier une seule facette de l'histoire de la biologie, nous pensons avoir toutefois aidé nos élèves (en particulier les "littéraires") à mieux comprendre et à mieux aimer la biologie.*

### I. L'IMPORTANCE DE L'HISTOIRE DES SCIENCES

#### I.1. Son intérêt dans la formation des chercheurs et des enseignants

une absence  
regrettable

L'histoire des sciences n'a pas, en tant que discipline autonome, de place bien définie dans l'enseignement français. Présente dans certaines universités grâce à des chercheurs militants, elle est assez généralement absente de l'enseignement secondaire. La physique lui ouvre ses portes dans les sections littéraires ; l'histoire l'inclut dans les différentes facettes des époques étudiées ; le français y fait parfois référence - Diderot et l'Encyclopédie, Balzac et la physiognomonie, Zola et Claude Bernard ; la philosophie peut l'aborder par le biais de la réflexion épistémologique ; la biologie ne l'assume qu'au détour des options de Terminales A et B. Si l'on en croit les passionnés d'histoire des sciences \*, cette discipline serait pourtant absolument nécessaire, aussi bien pour les chercheurs que pour les enseignants, et elle ne saurait nuire non plus à l'honnête homme du

une discipline  
indispensable...

---

\* Voir *Eléments de bibliographie sur l'histoire des sciences* en fin d'article.

... pour les  
chercheurs...

XXe siècle. L'**apport culturel** de cette discipline est souhaitable pour tout citoyen, les scientifiques trouveraient en outre, au travers de la connaissance du passé de la science qui est la leur :

- l'occasion d'une meilleure compréhension de l'unité profonde de la science et des relations existant entre les différents secteurs

- des raisons d'être modestes et de développer leur esprit critique

- la possibilité de repérer et d'analyser les principaux facteurs de la création scientifique ; d'appréhender aussi l'importance du contexte philosophique, socio-économique, et politique dans la recherche, sans négliger l'étude de l'évolution de la pensée scientifique sous son aspect conceptuel.

Il ne faut pas oublier le rôle de **révélateur idéologique** que joue de façon privilégiée l'histoire des sciences, comme l'indique Michel Paty (1) :

*"Rendant aux scientifiques conscience de leur place dans leur travail, de ce travail dans l'ensemble de l'activité de production des connaissances, et de celle-ci dans l'évolution aussi bien sociale que scientifique et technique, elle peut contribuer à pallier l'aliénation qu'ils éprouvent souvent à se sentir désappropriés de ce travail. Par contre-coup, ils peuvent se sentir responsables, et l'être effectivement par une capacité accrue à intervenir dans les choix, les décisions, la politique scientifique".*

... et pour les  
enseignants

L'histoire des sciences sera tout aussi irremplaçable dans **la formation des enseignants**, puisqu'elle leur permettra de se méfier tout à la fois du dogmatisme et du scientisme, tentations très fortement prégnantes de notre enseignement \*. En outre les enseignants y reconnaîtront les obstacles épistémologiques vaincus qu'ils auront à faire franchir à leurs élèves.

L'étude parallèle des méthodes de recherche et de l'histoire de ces recherches devrait permettre de prévenir *"toute aliénation au mythe d'une sacro-sainte méthode scientifique non critique et intemporelle"*. (1)

## 1.2. Toutes les histoires des sciences se valent-elles ?

il existe plusieurs  
types d'histoire  
des sciences :

Les préoccupations de ceux qui font de l'histoire des sciences, leurs choix, les axes qu'ils privilégient sont loin d'être tous identiques. Les regards des historiens des sciences sont étroitement liés aux conceptions qu'ils ont

---

\* Je ne parle ici que de ce que je connais, l'enseignement de la biologie dans les lycées.

de la science elle-même.

C'est ainsi que Marie-José Imbault Huart (2) relève chez les "pères fondateurs", trois approches :

" a. La position "continuiste" défendue par Brunschvicg (1869-1944) impliquant la notion de "savoir" comme développement continu de la "connaissance commune" à la "connaissance scientifique".

b. La position "précurseuriste" illustrée par Duhem (1861-1916). Il n'y a dans l'histoire des sciences ni révolution, ni rupture, mais évolution lente et continue. Les créateurs véritables sont très rares et ils ne font que continuer l'effort des nombreux précurseurs qui les ont précédés.

c. La position "discontinuiste" met avec Koyré et Bachelard l'accent sur les coupures épistémologiques en deçà desquelles la science nouvelle est dans l'obligation de rompre avec les systèmes de rationalisation antérieurs et d'adopter une autonomie plus ou moins tranchée par rapport au passé. Elle nie ou minimise les précurseurs et magnifie les créateurs, sans lesquels la discontinuité de la science serait impensable".

continuité et  
ruptures

De même pour Pierre Thuillier (3), l'affrontement entre "internalistes" et "externalistes" témoigne d'une pluralité d'analyses concernant l'élaboration des savoirs :

- aux "internalistes", une science autonome, libre de toute contrainte, de tout impératif financier, de tout choix politique et idéologique, où les concepts s'engendrent d'eux-mêmes, bulle de savoir aseptisé ;

- aux "externalistes", des sciences et des techniques en interaction constante entre elles et avec leur environnement (il y aura des facteurs "constitutifs" et des facteurs "seulement conditionnants" selon F. Russo (4)), des relations à double sens entre science et société.

Le premier type d'approche, lisse, facile à cerner, contribue à renforcer l'idée d'une science-produit-de-génies, et les errances y deviennent des **fautes**, les tâtonnements des **erreurs**. L'humanité s'approche en tremblant d'une vérité cachée, et ses guides, l'élite, tiennent le flambeau qui dissipe les ombres.

Beaucoup plus complexe, l'approche externaliste est le témoin d'une recherche datée, où est toujours présent le contexte, même si on ne peut à chaque instant en connaître ou en analyser tous les fils. Recherche en train de se faire, et non vérité révélée. Restructuration permanente du savoir.

internalisme et  
externalisme

Si le Collège de France et Laurent Schwartz soulignaient en mai 85 l'importance d'une histoire des sciences carrefour des disciplines, notre histoire - celle qui affleure dans l'enseignement de la biologie du second cycle - reste le plus souvent hagiographique, ponctuelle, et de toute façon internaliste : chacun ne s'intéresse qu'à un tout

PROPOSITIONS  
POUR L'ENSEIGNEMENT  
DE L'AVENIR

ÉLABORÉES À LA DEMANDE DE  
MONSIEUR LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE  
PAR LES PROFESSEURS DU COLLÈGE DE FRANCE

*6. L'unification des savoirs transmis. Tous les établissements scolaires devraient proposer un ensemble de connaissances considérées comme nécessaires à chaque niveau, dont le principe unificateur pourrait être l'unité historique.*

Pour compenser les effets de la spécialisation croissante, qui voue la plupart des individus à des savoirs parcellaires, et notamment la scission, de plus en plus marquée, entre les « littéraires » et les « scientifiques », il faut lutter contre l'insularisation des savoirs liée à la division en disciplines juxtaposées ; il s'agit pour cela d'élaborer et de diffuser, tout au long de l'enseignement secondaire, une culture intégrant la culture scientifique et la culture historique, c'est-à-dire non seulement l'histoire de la littérature ou même des arts et de la philosophie, mais aussi l'histoire des sciences et des techniques ; la même tendance à l'insularisation s'observe au sein d'un même secteur de la culture et il faut encourager par exemple la progression coordonnée des enseignements scientifiques, notamment des mathématiques et de la physique.

Un des principes unificateurs de la culture et de l'enseignement pourrait ainsi être l'histoire sociale des œuvres culturelles (des sciences, de la philosophie, du droit, des arts, de la littérature, etc.) liant de manière à la fois logique et historique l'ensemble des acquis culturels et scientifiques (par exemple l'histoire de la peinture de la Renaissance et le développement de la perspective mathématique). La réintégration de la science et de son histoire dans la culture d'où elle est en fait exclue aurait pour effet de favoriser à la fois une meilleure compréhension scientifique du mouvement historique et une meilleure compréhension de la science qui, pour se comprendre complètement elle-même, a besoin d'une connaissance rationnelle de son histoire, et qui livre sans doute mieux la vérité de sa démarche et de ses principes lorsqu'elle est appréhendée dans les incertitudes et les difficultés des commencements. L'enseignement d'une vision plus historique de la science aurait pour effet de favoriser une représentation moins dogmatique et de la science et de son enseignement et de porter les maîtres de tous les niveaux à mettre au premier plan les problèmes autant que les solutions et à rappeler ce qu'ont été, en chaque cas, les programmes de recherche concurrents.

L'histoire des œuvres culturelles (science, art, littérature, etc.) devrait être enseignée dans sa dimension internationale, notamment européenne ; en conséquence, les enseignants de la langue et de la littérature nationales et des langues et littératures étrangères devraient être étroitement associés, sans privilège hiérarchique. Pour concilier les impératifs d'universalisme et les fonctions d'intégration culturelle de tout enseignement de culture, il importerait d'encourager et de favoriser la rédaction de manuels d'histoire de la civilisation et des œuvres culturelles du monde européen, ainsi que d'autres grands ensembles culturels, en rassemblant des représentants éminents, français et étrangers, des différentes disciplines et de traduire le résultat de ces travaux dans des moyens de transmission comme la vidéo-cassette.

où l'institution  
choisit une  
approche  
internaliste...

petit fragment du puzzle, par exemple l'histoire de la théorie cellulaire, en Terminale \*. A la limite, on arrivera à autonomiser une expérience (voir les sujets du bac), que l'on voudra parlante... en oubliant qu'elle ne saurait tenir le même langage au lycéen du XXe siècle entrant dans un champ imposé et circonscrit, et au chercheur (dont on ignore parfois quand il a vécu) engagé dans un ensemble de recherches.

### 1.3. Des choix raisonnés pour introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement

... nous avons  
choisi une  
approche  
externaliste...

Quand nous avons, à plusieurs reprises, tenté d'introduire un peu d'histoire des sciences dans nos classes du second cycle, de façon interdisciplinaire, nos options ont été clairement externalistes. Refusant l'existence d'une sphère "à part", à développement autonome et égoïste, où les idées germent, éclosent et s'épanouissent sans heurts et "tout naturellement", pour une croisée de chemins à la fois témoin, produit et explication d'une époque donnée.

... menée grâce à  
une concertation  
interdisciplinaire...

**Cette** histoire des sciences serait enseignée par une équipe d'enseignants. La préparation des cours obligerait à des confrontations, à des regards différents et complémentaires ; chacun s'enrichirait des méthodes de travail, des méthodes de lecture, et des préoccupations de l'autre.

... partant souvent  
de sujets "réactualisés" par les  
média

Nous partons de nos envies, de nos lectures, des "centenaires" qui brusquement lancent dans le champ de l'édition des documents jusqu'alors introuvables, et dont les remous arrivent, grâce aux médias, jusqu'aux oreilles de nos élèves, les sensibilisant à ces questions.

C'est la difficulté de lecture des documents anciens qui nous a, jusqu'à présent, arrêtés quelque part dans le XVIIIe siècle. Nos haltes les plus fréquentes seront le XVIIIe siècle... parce qu'il nous plaît bien, et le XIXe siècle, foisonnant de pistes de travail. Parfois, l'interdisciplinarité se limite à deux : nous aurions souhaité être plus nombreux mais... Nous avons surtout travaillé avec des classes de Première, les classes de Seconde n'avaient pas jusqu'alors de biologie et les classes de Terminale sont souvent peu disponibles.

Plus qu'une histoire diachronique, c'est l'histoire synchronique qui nous intéresse, qui oblige chacun de nous, à la fois à mieux cerner la spécificité de sa "discipline" d'o-

---

\* Le même programme invite l'enseignant à se méfier - et à ne pas enseigner - des théories "un peu trop fausses..."

rigine et à l'inclure dans une globalité. Cette histoire est diamétralement opposée à celle qu'enseigne massivement l'école (5).

## 2. QUELQUES REALISATIONS

### 2.1. XVIIIe et XIXe siècles : foisonnement des pistes de travail

science et  
littérature

Une source fructueuse pour l'histoire des sciences inscrite dans son époque est la littérature de cette même époque, quand les connaissances vulgarisées deviennent le thème d'un débat public ou alimentent les trames que tisse le romancier.

. Le XVIIIe siècle est un lieu privilégié, comme l'indique Jacques Roger (6).

*"Si la connaissance scientifique contribue à constituer l'image que l'homme se fait de lui-même et de sa place dans le monde, si inversement elle répond volontiers aux inquiétudes que cette image suscite, ces liens réciproques ont été particulièrement étroits au 18ème siècle, et l'histoire littéraire ne saurait les ignorer".*

Diderot

Beaucoup d'écrivains y ont suivi attentivement l'actualité scientifique, certains s'engageant même dans la recherche. La vulgarisation scientifique, aussi bien en dehors qu'au sein de l'Encyclopédie, était pour eux un devoir, une mission.

Maupertuis

Il sera passionnant de confronter le "Rêve de d'Alembert", les écrits de Maupertuis, ceux de Voltaire ("L'homme aux quarante écus"), certains articles de l'Encyclopédie comme "Corruption" dans un travail sur la reproduction.

Bonnet

Charles Bonnet et ses pucerons pourront faire apparaître qu'une expérience parfaitement conduite peut corroborer une théorie que l'avenir tiendra pour erronée.

Avec les récits de voyages, les textes de Buffon, ceux de Voltaire, Diderot, on pourra aborder la notion d'espèce humaine, de race (voir les travaux de Michèle Duchet) (7).

La science apparaît au XVIIIe comme tellement miraculeuse qu'on aura du mal à rester critique devant certaines expériences, pensons par exemple au succès public de Messmer concernant le magnétisme.

et les autres

A côté de ces études parcellaires, une histoire des sciences et des techniques plus ambitieuse étudiera l'Encyclopédie (analyses de J. Proust (8) et de R. Darnton (9)). C'est un travail d'actualité puisque notre fin de XXe siècle voudrait promouvoir la Nouvelle Encyclopédie...

. Les écrivains du XIXe siècle ouvriront aussi beaucoup

XIXe siècle et  
scientisme  
militant

de portes scientifiques.

C'est d'abord Balzac et la physiognomonie \* bien sûr, mais aussi ses références aux travaux de Geoffroy St Hilaire, ses descriptions d'hommes de science. Les médecins deviennent les héros principaux des romans, où s'oppose souvent l'obscurantisme au scientisme militant.

On pourra aussi s'intéresser à une mise en parallèle des énigmes que résout Edgar Poe et des problèmes que résout la recherche scientifique.

## 2.2. Des lectures de Zola

C'est la lecture de "Feux et signaux de brume" de Michel Serres (11) qui marque le début de nos activités autour de Zola \*\*.

Une plongée dans Zola, une "Histoire naturelle et sociale", que rêver de mieux comme témoignage d'interactions...

Zola, un romancier qui se considère comme un homme de science, qui veut être jugé sur sa méthode : nous nous devrions de le lire dans la double perspective d'une analyse de la technique romanesque et d'une analyse du contenu, en nous efforçant de comprendre comment Zola travaillait, s'informait, écrivait, comment il rendait compte de son époque, comment son époque était présente dans la trame de ses romans et dans son écriture. Ensemble nous lirons le Docteur Pascal (12) et des pages du Roman Expérimental (13).

méthode  
expérimentale  
et roman  
expérimental

Zola s'est soigneusement documenté avant d'écrire, nous aurons à notre tour à nous informer sur les connaissances scientifiques et médicales de l'époque, sur la conception de la médecine et sur la pratique médicale. Nous avons ainsi fait le point :

- sur les positions des fixistes et des transformistes ("le transformisme est actuellement le système le plus rationnel, celui qui se base le plus directement sur notre connaissance de la nature." Zola).

- sur la génétique humaine de cette fin du XIXe. Zola consultera les traités de Lucas, de Dejerine et empruntera des éléments à ces conceptions pathologiques de la transmission héréditaire. En outre, comme l'indique Michel Serres (11), il respectera scrupuleusement dans la mise en place de sa saga, les exigences de la génétique

---

\* On retrouvera des restes de physiognomonie dans les premiers albums de Bécassine avec le docteur Proey-Minens.

\* En interdisciplinarité français-biologie en classe de Première A.

de cette époque : d'une part la nécessité d'une population nombreuse - l'arbre des Rougon-Macquart est puissant et ramifié - d'autre part la fermeture du lieu, Plassans, depuis le coup d'Etat bonapartiste à la chute de l'Empire.

Zola, Claude Bernard  
et le docteur  
Pascal

Nous avons approché la vie des médecins au XIXe (14) et essayé de comprendre avec "L'introduction à la médecine expérimentale" (15) comment on essaie alors de faire reculer l'obscurantisme et les pratiques empiristes. Ouvrir "L'introduction...", c'était se pencher sur la méthodologie, d'abord bien sûr, celle de Claude Bernard (16), mais aussi sur celle de Zola et sur celle de leur double qu'est le docteur Pascal.

A la "méthode expérimentale" correspond le "roman expérimental" ; l'écrivain devant sa table de travail aura les mêmes préoccupations et les mêmes exigences que le chercheur dans son laboratoire :

*"Et c'est là ce qui constitue le roman expérimental : posséder les mécanismes des phénomènes chez l'homme, montrer les rouages des manifestations intellectuelles et sensuelles telles que la physiologie nous les explique, sous les influences de l'hérédité et des circonstances ambiantes, puis montrer l'homme vivant dans le milieu social qu'il a produit lui-même, qu'il modifie tous les jours, et au sein duquel il éprouve à son tour une transformation continue. Ainsi donc, nous nous appuyons sur la physiologie pour continuer la solution du problème et résoudre scientifiquement la question de savoir comment se comportent les hommes, dès qu'ils sont en société".* (17)

L'écrivain naturaliste ne se contente pas d'être un observateur ; il expérimente :

*"L'observateur, chez lui, donne les faits tels qu'ils les a observés, pose le point de départ, établit le terrain solide sur lequel vont marcher les personnages et se développer les phénomènes. Puis l'expérimentateur paraît, et institue l'expérience, je veux dire fait mouvoir les personnages dans une histoire particulière, pour y montrer que la succession des faits y sera telle que l'exige le déterminisme des phénomènes mis à l'étude".* (17)

de l'ordre à  
l'entropie

Zola se retire de son roman (Le Docteur Pascal) dès la fin du premier chapitre : après la situation initiale (Michel Serres (11)), tout est **ordre**, le roman obéit alors à la loi de l'**entropie**. Tout est en ordre dans les pièces sombres et fraîches de la Souleïade ; dehors, le soleil de juillet. Clotilde peint paisiblement ; les dossiers de la famille sont rangés dans l'armoire ; l'argent du docteur est dans le tiroir. Cet ordre est le fruit du travail du docteur. Zola s'efface, l'ordre va devenir désordre : Clotilde partira à Paris, l'arbre généalogique brûlera, il n'y aura bientôt plus d'argent. Ce système clos est soumis aux lois de la thermodynamique.

hérédité et milieu

Comme Zola - et donc comme Claude Bernard - le docteur Pascal, chercheur-praticien, fera des expériences ; dans la lutte qui oppose l'hérédité et le milieu - et l'hérédité est lourde chez les Rougon-Macquart - le chercheur va jouer la carte du milieu. Le bon Pascal n'a-t-il pas "sauvé" Clotilde en lui offrant pour sa jeunesse un milieu plus riche que ne l'aurait été le sien ? Le père de Sophie et de Valentin est phthisique, Valentin qui restera dans son milieu familial mourra dans son taudis ; Sophie, sortie de son milieu par le docteur Pascal, élevée à la campagne au grand soleil grandira "en santé et en beauté, sauvée du mal héréditaire".

le credo du  
docteur Pascal

Les expériences soigneusement décrites peuvent être analysées en termes bernardiens. Le roman passionnant où s'affrontent l'obscurantisme (Martine) et le scientisme militant - encore que tout n'y soit pas si clair \* - écho d'autres luttes et débats de cette deuxième moitié du XIXe siècle, est aussi un système cohérent qui, longuement analysé, permet des découvertes ultérieures sur des analyses du XXe siècle, aussi bien vers le roman que vers des problèmes biologiques actuels. L'étude de cet ouvrage pourra être l'occasion d'apports de connaissances sur un certain nombre de maladies présentées avec les connaissances médicales de l'époque : non seulement la tuberculose mais aussi l'hémophilie (Charles), l'ataxie (Maxime). On y trouve aussi l'effet placebo et d'après Yves Malinas (18) la description de maladies qui ne seront comprises que plus tard : Charles aurait une oligophrénie phénylpyruvique, maladie métabolique analysée en 1934.

---

\* Le "bon docteur", après avoir défendu la science contre les illusions mystiques de son entourage, n'attend pas tout d'elle et est parfois profondément découragé :  
*"Corriger la nature, intervenir, la modifier et la contrarier dans son but, est-ce une besogne louable ? Guérir, retarder la mort de l'être pour son agrément personnel, le prolonger pour le dommage de l'espèce, sans doute, n'est-ce pas défaire ce que veut faire la nature ? Et rêver une humanité plus saine, plus forte, modelée sur notre idée de la santé et de la force, en avons-nous le droit ?"*

### 2.3. Médecins et médecine au XIXe siècle \*

#### . Conditions de mise en oeuvre de ce travail

L'influence des sciences parallèles est toujours très forte chez les jeunes. L'ombre des guérisseurs, des rebouteux et des tables tournantes pèse lourd. Dans "L'ennemi de la mort" qui passait alors à la télévision, plusieurs élèves de la classe avaient retrouvé des réactions peu éloignées de celles qu'ils connaissaient dans leur village. C'est de là que nous sommes partis, cherchant à démêler les relations entre médecine officielle et médecines parallèles, entre médecine et religion, entre pouvoir et savoir, en nous plongeant dans la littérature fin XIXe début XXe.

démêler les relations  
entre  
médecine officielle,  
médecines parallèles,  
religion...

Toute une époque reprenait vie ainsi, autour des portraits de médecins, leur statut, leur mode de vie, leur pratique médicale, leur rapport à la science, autant d'informations sur la vie qui les entoure. En retour, l'apport d'informations sur le contexte historique, scientifique, littéraire épaissit ces héros de romans. Ces analyses et cette réflexion, complétées par un travail d'enquête et d'interviews, nous permettraient par la suite de mieux comprendre la place de la médecine dans notre société actuelle.

#### . Oeuvres utilisées

##### - Romans lus par les élèves :

Le médecin de campagne (H. de Balzac). Le docteur Pascal (E. Zola). Knock (J. Romains). Madame Bovary (G. Flaubert). Vue de la Terre promise (G. Duhamel). Les Maîtres (G. Duhamel). L'ennemi de la mort (E. Le Roy). Les Thibault (R. Martin du Gard).

... à travers  
des romans du  
XIXe siècle...

##### - Etudes sur la médecine au XIXe siècle :

La France médicale au XIXe (Léonard), Gallimard. La vie du médecin de province au XIXe (Léonard), Hachette, 1977. La médecine entre les pouvoirs et les savoirs (Léonard), Aubier, 1981. Sagesses du corps (proverbes) (Loux Richard), Maisonneuve, 1978. Travail des hommes et savants oubliés (Valentin), Docis, 1978. Médecins et médecine (Paule Dumaître), Magnard. Médecines et maladies, Dossiers de l'histoire, oct. 1981.

... et différentes  
études  
complémentaires

##### - Etudes sur l'hérédité au XIXe siècle :

La logique du vivant (Jacob), Gallimard, 1970. Mythologies de l'hérédité au XIXe siècle (J. Borie), Galilée, 1981.

---

\* Travail fait en classe de Première B, interdisciplinaire histoire/français/biologie.

- Etudes sur les localisations cérébrales :

Le cerveau conscient (Rose), Le Seuil, 1973. Aux beaux temps de la crâniologie (N. Fresco), in Le Genre Humain 1. Une science méconnue, la phrénogénie (Thuillier), in Le petit savant illustré, Le Seuil.

La dominance cérébrale (Hécaen), Mouton, 1978. Evolution des connaissances et des doctrines sur les localisations cérébrales (Hécaen), Desclée de Brouwer, 1977.

- Etudes sur le feuilleton et la littérature populaire :

La bibliothèque bleue, coll. Archives, n° 44. Histoire du roman populaire en France (Martin), Albin Michel, 1981. Le feuilleton, Europe, juin 1974.

#### 2.4. Le docteur Moreau (1896)

savants démoniaques

La littérature et le cinéma ne manquent pas de savants fous : Faust, Mabuse, Frankenstein, Cornelius... savants démoniaques qui modèlent l'homme à leur gré et veulent rectifier le monde. Blasphémateurs ambitieux qui accélèrent ou modifient le cours de l'évolution. Leurs tentatives sacrilèges témoignent qu'une évolution est possible. Une société moderne, qui croit en la science et en ses possibilités, ne saurait obéir indéfiniment à des lois "aveugles" d'une "Nature" énigmatique à laquelle tous sont soumis. En revanche, elle peut, elle veut rêver et frissonner : le savoir conduirait au pouvoir ; l'homme pourrait se jouer de la nature : apprenti-sorcier, l'homme changerait l'homme, défierait le destin.

A l'heure du scientisme, c'est de la science - et non plus de la magie - que naît le fantastique.

l'île du docteur  
Moreau

Un travail sur l'Angleterre de la fin du XIXe siècle devait obligatoirement nous faire rencontrer le Docteur Moreau. Rencontre stimulée, il faut le dire, par un excellent numéro de la revue "Europe" (19).

L'ombre de Darwin se projette sur cette île volcanique, bordée de coraux, laboratoire-refuge de ce savant démiurge, banni de son Angleterre originelle, incompris du public et même de ses pairs. Vingt ans après Darwin, Moreau se passionne pour l'évolution - une évolution qui s'inscrit dans un temps épais - et étudie avec minutie l'expression des émotions chez les animaux et chez l'homme.

disciples de  
Huxley...

Comme T.H. Huxley ("L'évolution et l'éthique", 1898), disciple de Darwin ("Le chien de Darwin") qui fut aussi le maître de Weils), Moreau pense que "la singularité humaine doit être recherchée non dans la soumission au processus cosmique de sélection naturelle, mais dans une lutte contre cet apparent déterminisme" (20). Sa pratique n'a rien à voir avec les essais anarchiques tentés ailleurs par des criminels, des tyrans, des inquisiteurs. Lui, qui "possède une connaissance réellement scientifique des

lois naturelles" (21), n'hésitera pas à modifier l'ordre de la nature, à se substituer, par ses expériences et ses opérations "in vivo" à la nature et aux lois de l'évolution elles-mêmes. "Sur cette île-microcosme, il devient le maître de l'évolution, dont il peut changer, voire inverser l'ordre et le sens" (20). Homme de son temps, il pratique l'hypnose, connaît et utilise l'antisepsie ; il croit en l'atavisme, et la régression des organes inutiles ou des comportements tombés en désuétude. En revanche, il rejette l'hérédité des caractères acquis.

... Prendick...  
et le lecteur

Le lecteur débarque sur cette île mystérieuse avec le narrateur, Prendick, jeune biologiste curieux et réfléchi, élève de Huxley tout comme Wells. Notre lecture suivra la quête de Prendick : enquête très bernardienne, où les observations suscitent des hypothèses, se restructurent au fur et à mesure que se découvrent de nouvelles informations : le suspense naît bien sûr de ces fausses pistes, éléments de réponse plausibles à un moment donné. L'angoisse chassera la curiosité quand le statut de Prendick (et donc celui du lecteur) va brusquement changer : il était un observateur, il devient un éventuel objet d'expérience.

*"Prendick, double du lecteur et de l'écrivain, fait sur l'île l'épreuve de la cruauté à l'oeuvre dans le processus évolutif : ainsi Wells lui fait-il vérifier expérimentalement la justesse des leçons de leur maître commun, T.H. Huxley" (20).*

où le fantastique  
permet d'aborder  
l'évolution

Nos élèves ont lu avec plaisir cette "île" qu'ils connaissaient très peu, beaucoup moins que le premier volet du diptyque : "La machine à explorer le temps" ; d'autre part, "la machine" appartient davantage au domaine de la science fiction - assez peu prisé, du moins a priori, à cet âge - tandis que "l'île" serait plutôt "fantastique". Des travaux de groupes ont permis d'approfondir un certain nombre de pistes \* ; en même temps, la classe rencontrait Darwin et T.H. Huxley.

Comme Prendick "retournant à l'humanité", le lecteur ferme ce livre en s'interrogeant sur "ce produit ambigu et énigmatique de l'évolution, l'homme" (20).

---

\* "L'atavisme", "Mort ou vie", Moreau : apprenti sorcier", "Si Dieu est mort, tout est permis", Le but que s'est fixé Moreau est-il scientifique ?", "Moreau : Dieu ou Diable ?"

Travail sur le film de Don Taylor (1977) qui pose des problèmes d'adaptation cinématographique.

## 2.5. Les pestes \*

La télévision présentait un montage sur la peste à Marseille ; en Avignon se jouait une pièce de Chartreux sur la peste ; le "Journal de l'année de la Peste" de Daniel Defoe paraissait en collection de poche.

l'actualité,  
prétexte à des  
flash-back

En même temps, on faisait le bilan d'"un siècle de tuberculose"... et Isabelle Huppert était, à la télévision, la "Dame aux camélias" du film de Bolognini (1980).

Un certain nombre de livres concernant l'histoire des maladies venaient d'être publiés. Restait toujours présent le problème du cancer, et une nouvelle "peste" se dessinait à l'horizon : le SIDA. Nous avons alors relu "Le normal et le pathologique" de G. Canguilhem (22), "La maladie comme métaphore" de Susan Sontag (23).

une époque,  
une peste

Notre objectif a été de mettre en évidence que : "chaque "peste" appartient à son époque" : au travers de la peinture, des romans, des récits d'une époque, nous souhaitions comprendre les relations entre maladie et société, repérer l'émergence des facteurs de fantasmes individuels et collectifs, retrouver et analyser les images et les métaphores, vérifier comment s'inscrivent et se transmettent des croyances, des mythes enracinés dans les peurs collectives.

Après une étape de sensibilisation collective, chaque groupe travaillerait de façon plus précise sur "peste et société", "tuberculose et société", "cancer et société". Les romans circuleraient entre les élèves pendant la phase de sensibilisation. Des séances collectives permettraient de faire des mises au point, d'apporter des éclaircissements, d'échanger des informations d'un groupe à l'autre.

"journal de l'année  
de la peste"

C'est d'abord la peste de Londres en 1665, et le statut étrange de Daniel Defoe, faux journaliste/romancier, qui durant ce "grand incendie" essaie de comprendre l'origine du mal, d'analyser les idées qu'on s'en fait, et de proposer des hypothèses sur les raisons de ce mal, et sur son mode de propagation.

Quand, en 1720, elle sévit de nouveau à Marseille, Defoe voit là l'occasion d'un livre qui sera à la fois une description médicale et une description sociologique. Cette peste de Marseille a pu apparaître comme l'irruption incongrue d'un tragique "d'un autre âge" :

*"Sans même céder à la facilité de développer le contrepoint de la peste de Marseille éclatant dans l'atmosphère festive de la Régence comme un sévère rappel au temps d'une première douceur de vivre des Grands, le fléau qui*

---

\* Travail en Première B.

*s'abat sur le port paraît hors de saison dans la trame historique des grandes épidémies. (...)*

*Si Marseille s'affole, et la France avec elle, c'est aussi qu'une certaine sensibilité à la mort est en train de changer à l'aube des Lumières en ce siècle qui lira le scandale majeur - celui de la présence du mal dans la création - dans le tremblement de terre de Lisbonne en 1755, négation de cette harmonie préétablie. La mort n'est plus acceptée sans murmure."*

(Michel Vovelle (34))

tous ne sont pas  
égaux devant la  
peste

Mais, ainsi que le rappelle Georges Jean (25), tous ne sont pas égaux devant la peste : entrée dans le port avec des tissus convoités par les marchands - alors que le navire est en quarantaine - la peste épargnera ceux qui l'ont ainsi introduite à Marseille : ils pourront s'en-fuir à temps.

En luttant contre la peste, ou du moins, en essayant de la juguler, les hommes ont appris à mieux la connaître. Recherche empirique, d'où naîtra une législation. Faute de connaître l'agent responsable, on domestiquera la contagion. La loi des riches sauvera au moins les siens. Et le feu purifiera, réduisant la peur. Quand le XIX<sup>e</sup> siècle cherchera - et trouvera - le microbe responsable de la peste, ce sera déjà trop tard. Et le XX<sup>e</sup> siècle, nos élèves compris, oubliera - sauf à la faveur d'un centenaire escamoté - jusqu'au nom de Yersin.

Ont été suivies un certain nombre de pistes : les origines de la peste, la lutte préventive, les soins et les mesures prises, les peurs et les angoisses, les conséquences économiques, démographiques...

Toute autre sera notre approche de la tuberculose, très XIX<sup>e</sup> siècle.

"belle comme toux"

Après la contagion qui décimait les populations en quelques jours, le mal sournois, individuel, et que l'on croira longtemps héréditaire. Le jeune romantique poitrinaire à la sensibilité exacerbée ; la maladie de l'âme, source de créativité ; le sanatorium rédempteur ; les romans où l'on se consume lentement de phtisie. On lit bien sûr la "Dame aux camélias" après avoir vu la version télévisée du film de Bolognini ( et ri avec celle de Gotlib) ; on retrouve des morts par tuberculose dans les derniers romans lus ; on se rappelle la troisième fille du docteur Marsch, et l'Eve évanescence de "La case de l'oncle Tom" ; on ne se hasarderait pas toutefois dans la "Montagne magique" (Thomas Mann) ; on pourra relire "Le docteur Pascal".

crachats et  
taudis

On rencontrera aussi les tuberculeux moins "glorieux" des taudis et des villes ; on relèvera des chiffres, que l'on trouvera très élevés encore, en 1982 : la carte de la tuberculose coïncide avec celle de la misère sociale.

Si, au XIX<sup>e</sup> siècle, la tuberculose apparaît comme la

maladie qui conduit inexorablement à la mort, c'est que l'on ignorera pendant longtemps son caractère contagieux. Pourtant, dès 1754 un édit florentin rendait obligatoire la déclaration des cas de tuberculose, le lessivage à l'eau bouillante de leur linge et le blanchiment à la chaux des pièces où ils avaient vécu. Venise, Bologne et Naples avaient fait de même. Ferdinand III d'Espagne en 1758, publie une ordonnance menaçant d'une amende de 200 ducats les praticiens qui ne déclareront pas les cas de tuberculose. En France, cette analyse ne semble pas faite, puisque, quand J.A. Villemin, le 5 décembre 1865, démontre expérimentalement que la tuberculose procède d'un agent spécifique inoculable, on ne l'entend pas, on ne le croit pas : "la contagion ne peut exister puisque la tuberculose est héréditaire" (Laennec, Broussais).

Avec le XX<sup>e</sup> siècle, on entrera dans la **croisade** : "l'aigle boche sera vaincu ; la tuberculose doit l'être aussi". Le Corbusier publie la Charte d'Athènes ; l'O.M.S. s'engage dans une campagne de mesures préventives.

## 2.6. Le procès du singe

1982, l'année Darwin : on réédite des écrits de Darwin ; de nombreux articles, des livres sont publiés. Peu de temps auparavant "La maîtresse du lieutenant français", film de Reisz, attirait l'attention sur le roman de Fowles : "Sarah et le lieutenant français" (26), plus précis que le film sur la façon dont le XIX<sup>e</sup> siècle anglais envisageait les problèmes de l'évolution. Autant de bonnes raisons pour introduire les théories de l'évolution dans une classe de Première scientifique (il s'agissait alors de Première D).

"votre père estimait que Mr Darwin devrait être mis en cage..."

La place de ces théories dans l'enseignement secondaire français est assez fantaisiste ; supprimées par l'"Etat français", elles n'ont été réintroduites qu'assez tard dans l'enseignement secondaire, puis, à la faveur des allègements de programme liés à la mise en place des 10 %, elles ont de nouveau disparu \*. A l'heure actuelle, elles ne figurent que dans les programmes de Terminales A et B, où la biologie est optionnelle, et donc très généralement absente, et sont survolées en Terminales D. Les élèves de la section scientifique "noble" (C), eux, n'ont absolument aucune chance d'en entendre parler. Cette absence n'est pas innocente et contribue tout à fait à donner de la biologie l'image d'une science de "faits", d'"observations", de certitudes : aux cours de biologie, on

---

\* Voir l'article de Geneviève Lacombe : "Adaptation et théorie de l'évolution", Aster n°4, 1987, INRP.

apprend, c'est bien connu (on relira avec profit les sujets de baccalauréat) à "déduire" à partir de résultats... Où sont les hypothèses ? Où sont les théories ? On les ignore.

"... il m'a assuré que jamais il n'accorderait la main de sa fille à un homme qui prétend avoir un singe pour arrière-grand-père"

A l'encontre de ces insuffisances, nous avons donc décidé de nous intéresser, en équipe, aux théories de l'évolution. Les problèmes soulevés par le néodarwinisme, par l'enseignement des théories de l'évolution dans différents états des USA étaient de nouveau très présents depuis deux ans. Il nous semblait important que notre enseignement prenne en compte ces voix amplifiées par les médias, et essaye de donner des outils explicatifs et des éléments de jugement à nos élèves.

Au cours de ce travail, paraît "le procès du singe" de Gordon Golding (27), qui donnera son orientation à la **production vidéo envisagée** : ce procès avait été déjà présenté en juin 81, par un numéro de l'"Histoire" (28) et par un numéro de "la Recherche" (29), et nous avions pensé qu'il pourrait être l'élément qui focaliserait les recherches des élèves, qui leur donnerait un sens et un but, qui justifierait et socialiserait l'acquisition des connaissances.

Nous sommes convaincus, en effet, que la lecture de documents, d'informations, se fait d'une façon active si elle est sous-tendue par une production à venir. A la fois réinvestissement d'un savoir et production sociale : on n'apprend pas seulement pour apprendre, mais aussi pour savoir et pour communiquer.

un film vidéo...

Dans le travail par groupes, où chaque groupe n'aborde qu'une partie d'un problème, ou qu'une facette d'une question, une des difficultés reste la phase de communication aux autres. Chaque groupe a du mal à écouter les autres et à s'appropriier les informations transmises par les autres groupes. Une des façons de remédier à cette difficulté est que l'ensemble des travaux des différents groupes soit réutilisé collectivement pour une production s'appuyant sur les apports de tous. C'est cette préoccupation qui nous a fait adopter l'idée de réalisation d'un film vidéo. Cette classe ayant déjà utilisé la vidéo en cours d'année trouvait là une excellente manière de réutiliser ses compétences.

... de fiction

Nous sommes entrés dans le travail par le biais de la fiction, et c'est sous forme de **fiction** que s'organiserait la lecture de l'événement. Cette démarche, qui sans doute au départ ne fut pas entièrement consciente, nous est apparue ensuite - et nous l'avons vérifié dans d'autres travaux - beaucoup plus intéressante que celle qui s'enferme dans une production réaliste. Le biais de la fiction, tout en enrichissant la lecture des documents, l'organise plus finement. La fiction peut être création plus que restitution, et pour cela oblige à des choix qui exigent une lecture plus consciente, plus critique, plus

engagée.

Charles, le  
lieutenant  
"Darwinien" ?

C'est donc avec Charles, l'ami de Sarah, que nous allons rencontrer Darwin : le père de Sarah n'accordera pas la main de sa fille à un partisan de Darwin ; toutefois, en homme "libre", il écoutera les thèses que défend Charles et, de façon très moderne, les utilisera comme justification du monde où il vit : on retrouve là le darwinisme social, qui pourra soutenir que l'inégalité sociale est "bonne" puisque "naturelle". Tout au long du livre, court la voix off de l'auteur : relations darwinisme-déterminisme, influences culturelles de l'époque comme la littérature française (Madame Bovary) et la psychanalyse. Et l'on va, d'un même mouvement, se laisser entraîner par la quête amoureuse de Charles, et par la passion des deux "carbonari de la pensée" : Charles, et le docteur Grogan.

"passionément"

"Lyme, dans la nuit, c'était cette masse des hommes ordinaires, apparemment plongés dans un sommeil immémorial ; tandis que Charles, représentant la sélection naturelle, n'était plus qu'intellectualité pure, pleinement éveillé, comme un dieu libéré parmi les scintillantes étoiles, avec l'aptitude à tout comprendre..." (30)



le procès du  
singe

Nous avons ainsi resitué les travaux de Darwin dans le contexte victorien de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. Un travail collectif allait maintenant permettre à chacun de mieux comprendre les thèses de Darwin : ensuite, chacun pourrait approfondir tel ou tel point sans être arrêté par une absence totale de connaissances, et sans être découragé par une recherche trop difficile.

Nous souhaitions aussi, dès cette première étape de travail, que Darwin apparaisse comme "encore vivant", même si ce point ne devait être approfondi que plus tard. La présentation du "procès du singe" permettrait d'une part, de montrer comment, en d'autres temps, se posaient différemment les questions soulevées par Darwin, et d'autre part de donner des envies, de suggérer des idées pour la production finale : le film du procès. Se place ici l'utilisation des deux articles parus en juin 81 autour de ce procès : celui de Thuillier (29), et celui de Golding (28). Apparaît alors nettement l'enjeu idéologique, politique et religieux du débat qui s'instaure.

Après cette étape de sensibilisation - à la fois au travail engagé et aux problèmes soulevés par le darwinisme -, une étape individuelle de lecture, hors du temps scolaire, permettrait à chacun d'approfondir cette approche de Darwin, du darwinisme et du néodarwinisme.

Scopes, instituteur  
darwiniste en 1925  
aux Etats-Unis

Enfin, vint le film... son élaboration, son tournage, son montage. Le livre de Golding nous sert de base pour un premier découpage du "procès du singe", ce procès de Scopes, instituteur darwiniste, procès voulu comme une tribune permettant l'affrontement des thèses évolutionnistes et des objections des fondamentalistes. Chaque groupe d'élèves va prendre en charge une séquence du film, et, documents à l'appui, en réaliser le découpage, plan par plan. L'image doit rendre compte, dans son organisation et son articulation avec les autres, de la signification sur laquelle il y a consensus. Un groupe, aidé des enseignants, assurera la coordination, et veillera à l'unité de l'ensemble et à sa cohérence. Sont alors définis les acteurs, les équipes de tournage, l'équipe de montage. Le film est tourné en trois journées banalisées : film vidéo 3/4 de pouce réalisé avec l'aide technique (deux animateurs, et le matériel vidéo) du studio mobile régional. Le montage sera fait par un petit groupe, en dehors des heures de cours, à la fin de la même semaine. Le film dure environ 15 minutes, et peut maintenant servir de base de travail, de discussion pour d'autres classes. Les élèves ont vécu le tournage avec beaucoup de plaisir, malgré les habituelles difficultés techniques. La direction d'acteurs n'a pas toujours été facile, surtout quand il a fallu faire appel à des figurants extérieurs à la classe, et peu motivés...

... qui pourra  
servir à d'autres  
classes

Et après ? En dehors de la satisfaction d'avoir tourné le

une situation  
d'apprentissage  
qui semble  
efficace...

... mais qui a ses  
limites

histoire des  
sciences et  
épistémologie

une image est  
toujours celle  
de son temps

film et pour un petit groupe de l'avoir monté, qu'en ont retenu les élèves ? J'ai, quelque temps après le film, proposé un questionnaire écrit à la classe (j'avais donné ce même questionnaire à d'autres classes non impliquées dans le film). Je pense qu'un certain nombre de points ont été acquis de façon plus approfondie dans cette situation d'apprentissage que dans des situations plus traditionnelles, bien que je n'aie pas fait une étude détaillée des réponses. Une seule chose certaine ! Tout ce travail a été insuffisant pour ébranler les convictions d'une élève qui s'affirme comme appartenant aux "témoins de Jehovah", et qui a gentiment joué le jeu scolaire sans pour autant mettre en question des convictions fixistes fortement ancrées. Situation limite sans doute, mais qui éclaire le problème toujours présent de la difficulté de restructuration d'acquis antérieurs, surtout quand l'affectif et la sécurité sont profondément investis dans ces acquis.

Le programme d'une année se dépose sur des strates plus ou moins solidifiées et n'attaque que très rarement les dépôts fossilisés. Problème majeur de tout l'enseignement du second cycle, qui prend souvent très au sérieux les connaissances qu'il apporte mais ne se soucie pas du "terrain" qui les accepte... momentanément. Problème qui n'est pas résolu aussitôt qu'on en a conscience, hélas.

On l'a vu au cours des exemples qui précèdent, il est souvent difficile, et je pense qu'il est bien qu'il en soit ainsi, de séparer l'histoire des sciences de l'épistémologie. On peut aussi choisir de privilégier cette approche comme dans les situations suivantes.

## 2.7. Images et métaphores \*

Cette étude très riche peut être abordée de différentes façons avec différents objectifs. Une étude transdisciplinaire des images et des métaphores utilisées à une même époque doit être très fructueuse. Mes ambitions avec une classe littéraire avaient été assez limitées. Je souhaitais qu'ils comprennent :

- que l'utilisation d'images n'est jamais innocente et de ce fait mérite d'être analysée
- que les relations entre l'utilisation d'images et la recherche scientifique ne sont pas simples.

Réaliser qu'une image est toujours celle de son temps fait bien sûr appel à l'histoire. Les images du système nerveux, en particulier celles du cerveau, sont passion-

---

\* Activité en Première A.

la vulgarisation  
scientifique peut  
se révéler un  
va-et-vient entre  
deux inconnus

nantes. Canguilhem d'abord (31), Rose ensuite (32) sont des sources précieuses. La vulgarisation scientifique à son tour s'intéresse au cerveau et l'image de l'ordinateur sera largement prépondérante. Exit les esprits animaux, les signaux électriques, les bip-bip télégraphiques, les ouvriers de l'usine paternaliste dès les premiers balbutiements de l'informatique. Les vulgarisateurs réussissent à faire croire au lecteur qu'ils vont lui expliquer un inconnu (le système nerveux) par des images empruntées à un autre inconnu (l'ordinateur).

Dans ce va-et-vient entre deux inconnus, qu'apprend le lecteur ? Ainsi renvoyé à la complexité des objets que décrit la vulgarisation scientifique, il est prêt à croire - avec modestie - que tout ce qu'on lui dit est exact... Et pourtant, la vérité révélée de 1980 sera toute différente de celle de 1920. Une magie chasse l'autre. Le pittoresque des images appelle l'adhésion (cf. Bachelard) ; il importe de le savoir, et de lire avec un oeil critique. Se méfier des nouveaux dogmes en resituant les informations dans l'histoire et dans la réalité qui les modèle, dicte des choix, impose des priorités. Nul doute qu'une analyse linguistique puisse enrichir une étude des images et des métaphores qu'utilise la science, à un moment donné de l'histoire.

## 2.8. Les fraudes scientifiques

permettre une  
approche vraie  
du travail  
scientifique...

L'étude des fraudes m'intéresse (au même titre que la lecture de livres comme "La double hélice" de Watson qui montre l'arrière-cuisine des découvertes) car elles présentent un aspect de la science qui est massivement absente de nos programmes du second cycle. Ceux-ci reposent sur une double conception "de la science et de l'histoire des sciences" jamais élucidée, présentée comme la seule possible : il me semble important que des élèves de section scientifique prennent conscience de la façon dont se fait le travail scientifique, des conditions qui font qu'un chercheur puisse être amené à "tricher". Cette analyse, qui peut se faire par exemple à partir d'un article de "La Recherche" sur les fraudes scientifiques (33), permet de remettre en question les images de la science et de l'histoire des sciences les plus généralement véhiculées par notre enseignement.

Habituellement, la biologie apparaît comme une somme de faits : un savoir cumulatif, un empilement d'éléments successifs laissant croire au primat de l'observation, et à l'évidence des résultats. Cette somme est fermée ; le programme clos définissant une fois pour toutes les limites de l'intérêt qu'on lui porte, ceci étant surtout vrai - contradiction profonde ! - dans les sections dites scientifiques. Elle se présente dans un **discours transparent** (cf. Todorov), qui est ainsi entièrement assumé par

... remettre en question le "si la science le dit, c'est que c'est vrai"...

ceux qui le lisent. "La science semble l'image même de la rigueur et de l'objectivité" (33), d'autant mieux que ce discours gomme tout contexte. "Si la science le dit, c'est que c'est vrai"... et c'est sans doute pour cette raison que les médias présentent souvent les opinions des scientifiques sur tel ou tel sujet d'actualité (problèmes sociaux, éthiques, énergétiques, catastrophes diverses...), comme des arguments indiscutables, arguments d'autorité. Enfin, elle ne réfléchit jamais sur elle-même. Dichotomie significative de notre enseignement : en biologie, on est censé "faire" ou "voir", on réfléchira ailleurs et plus tard... peut-être. La philosophie réfléchira pour nous, et l'histoire aussi. Pas d'épistémologie pendant les cours de biologie. On ignorera superbement que les chercheurs ont pu parler de leurs pratiques, les analyser, indiquer leurs a priori théoriques. D'ailleurs, les chercheurs existent-ils ?

Bref, il s'agit d'une **science scientiste**, dont l'approche est plus **magique** que raisonnée ("c'est vrai puisque c'est écrit"), qui superpose des leçons apprises par coeur et aussitôt oubliées (un français sur quatre croit que le soleil tourne autour de la terre). C'est la même science que les médias célèbrent. L'élève n'a pas le choix, c'est la seule version qui lui est offerte.

... refuser l'histoire des sciences qui se borne à une hagiographie...

Le problème est le même avec l'histoire des sciences qui tient de l'hagiographie et de la petite histoire : galerie de tableaux, photos de savants "bienfaiteurs de l'humanité", précurseurs géniaux balisant la ligne droite qui mène à la vérité, prophètes visionnaires qui, sans a priori d'aucune sorte, sans erreur et sans faille et Dieu sait pourquoi, décident de faire une expérience qui portera leur nom. Il s'agit d'une lecture idéologique du passé et du présent qui ne dit pas son nom.

On comprend facilement que dans pareil contexte, les **fraudeurs** n'aient pas grand chose à faire. Au maximum, il y aura un méchant, contrepoint indispensable de tous les bons. Et encore, se réfugie-t-il dans les manuels d'histoire (tel Lyssenko). Ce méchant a d'ailleurs un grand maître qui tire les ficelles, et ce sera la seule fois où la science apparaîtra comme étant au service de la politique, comme ayant quelque chose à voir avec la politique.

... cela peut être envisagé à travers l'étude des fraudes

*"Les fraudes jouent un excellent rôle de révélateur sur la manière dont fonctionne la science tant au niveau épistémologique qu'au niveau de l'institution." (33)*

D'où un travail d'analyse de différentes fraudes, fait avec une classe de Première S : alléchés par l'aspect "fait divers" les élèves entrent avec plaisir par la petite porte dans un domaine sacro-saint. Très vite, dans les demandes d'éclaircissement leur apparaît ce qui pour eux est une nouveauté : tous les chercheurs n'ont pas, dans

un même domaine, des points de vue identiques, et certains vont ainsi jusqu'à la fraude pour "démontrer" qu'ils ont raison.

Ce qu'apprennent les fraudes sur le fonctionnement de l'institution :

l'écueil de la  
compétition : être  
le premier...

Être le **premier à publier** un résultat, une nouvelle théorie peut avoir des répercussions sur la carrière d'un chercheur, sur sa célébrité. On comprend alors les angoisses de Darwin recevant une lettre de Wallace et y retrouvant des réflexions qui convergeaient avec les siennes... qu'il n'avait pas encore publiées.

Cette ambition peut se rencontrer aussi bien au niveau d'individus que de laboratoires ; elle s'accompagne toujours d'implications financières et peut se doubler éventuellement d'un nationalisme exacerbé (voir les problèmes liés à l'identification du virus du SIDA).

Tant que la science marchera à coup d'honneurs, de publications glorieuses, de compétitions effrénées, de rivalités entre patrons et assistants, elle générera son cortège de fraudeurs et de tentations. Pour chacune, de nombreux exemples ! : l'espionnage scientifique, les fraudes de sécurité (virus, manipulations génétiques), la publication anticipée de résultats... probables (bluff, mauvaise foi, prévision, il est difficile de faire la part des choses). On cherche tellement que l'on croit avoir trouvé (34), et il est important de publier avant le concurrent. On prend bien sûr ainsi des risques certains (cas de l'homme de Piltdown), mais parfois, nul ne s'en aperçoit ou presque (Mendel).

... freiner les  
concurrents...

En même temps, on peut essayer de **freiner les recherches concurrentes**. Pour l'"homme de Piltdown", une des hypothèses avance que la supercherie serait due à un anatomiste australien, Smith, qui aurait voulu ridiculiser Sir Woodward, conservateur au British Museum. On peut aussi tenter de discréditer l'autre, pour des raisons politiques par exemple (Kammerer était-il fraudeur, ou a-t-il été la cible d'un militant nazi qui voulait le discréditer ?) (35).

Ce qu'apportent les fraudes à la réflexion épistémologique:

Les fraudes les plus intéressantes, bien sûr, sont celles dont on ne s'aperçoit pas tout de suite, celles que l'on croit. Leur analyse permettra d'aborder :

- les rapports entre "faits" et théorie
- le statut de l'expérience
- l'importance et les limites du doute.

**. Les rapports entre "faits" et théorie**

Il existe des situations où le doute recule, où l'esprit critique perd sa vigilance :

- si les résultats proclamés correspondent à une **attente**

... se laisser trop entraîner par ses attentes...

**pratique** de la part du grand public : c'est l'attitude scientifique qui croit en la science, et qui tourne sa foi vers ses progrès (remèdes miracles contre le cancer, contre le SIDA...) mais la communauté scientifique, elle, échappe à ces mirages.

- si les résultats proclamés correspondent à des **attentes théoriques**, alors les scientifiques eux-mêmes risquent de se laisser tromper. Aux préhistoriens cherchant le "chaînon manquant", l'homme de Piltdown apparaît comme l'intermédiaire attendu entre singes et hommes ; pour les partisans de l'héréditarisme, les jumeaux de Burt seront les arguments indispensables à leur lutte contre les environnementalistes. Gould (36) décrit Burt comme étant habituellement fort honnête ; de la même façon, les partisans de l'hérédité des caractères acquis voyaient dans les brosses copulatrices des crapauds de Kammerer des exemples absolument démonstratifs. Parfois le doute subsistera longtemps : Mendel a-t-il fraudé ?

#### . Le statut de l'expérience

... peut conduire à des fraudes, quelquefois inconscientes...

Certaines de ces fraudes ne sont peut-être pas entièrement conscientes, du moins au départ. Si la rigueur scientifique exige que l'on accepte tous les résultats, y compris ceux qui remettent en question vos propres hypothèses, chacun sait que c'est extrêmement difficile, et que ceux-là même qui ont insisté sur cette rigueur ne s'y sont pas toujours tenus (Claude Bernard, Pasteur) ; or l'histoire ne leur en tient pas rigueur. Il est toujours possible de ne pas voir tous les résultats, de mettre en place un dispositif expérimental orienté inconsciemment par ce que l'on recherche ; il sera difficile ensuite de revenir en arrière, de remettre publiquement en question des résultats trop vite annoncés. On essaie de gagner du temps ; il faut arriver à démontrer qu'on a raison, pour soi, et pour les autres. Et cela d'autant plus que les autres vous font déjà confiance. Avec un peu de chance, on mourra assez tôt (Burt).

La difficulté de "détecter" les fraudes, ou de les prévoir, est bien réelle : bien sûr, il peut y avoir des dénonciations, mais elles ne peuvent tenir lieu de preuves.

Que peut-on prouver ?

mettre l'expérience à l'épreuve du principe de la reproductibilité...

- qu'une expérience "cruciale" n'a jamais été faite (les jumeaux de Burt)

- que certains résultats décrits pour une situation expérimentale donnée n'ont jamais pu être obtenus (les Chlamydomonas et leurs flagelles)

- que certaines conditions expérimentales ont été truquées (difficile à prouver !)

- que des résultats ont été maquillés (encre de chine des crapauds).

... n'est pas  
toujours possible

En principe, toute expérience doit pouvoir être refaite par d'autres, mais ce n'est pas toujours évident : Kammerer était, semble-t-il, un très habile expérimentateur, et il était le seul à pouvoir élever plusieurs générations de crapauds, aucun de ses contradicteurs ne pouvait garder vivants les crapauds sur lesquels il aurait souhaité refaire les expériences litigieuses. D'autre part, comment contester rapidement, ou refaire, des expériences qui demandent une période aussi longue que dix ans ?

De plus, la spécialisation de la recherche fait qu'il est difficile de s'intéresser, et de pouvoir critiquer des travaux faits dans d'autres domaines, avec des techniques sophistiquées (dans le cas d'Illmensee, la remise en question vient de ses assistants).

#### . L'importance et les limites du doute

On peut être méfiant a priori, en particulier quand les résultats servent de "preuve" unique et "évidente" à une théorie elle-même inscrite dans un contexte qui la dépasse tel l'intérêt évident du stalinisme pour Lyssenko, du biologisme héréditariste pour Burt, etc...

se méfier des  
résultats qui  
renforcent une  
idéologie

Seulement voilà, l'histoire nous rappelle en même temps qu'ont été longtemps ignorés, ou même rejetés, pourchassés... des résultats qui apparaissent comme trop nouveaux, voire gênants dans un paradigme donné. Il faut savoir ne pas rejeter trop vite ce qui est nouveau.

Quelles responsabilités prend-on, en freinant des expériences, en refusant des soutiens financiers à des recherches qui apparaissent farfelues, pas forcément "orthodoxes" si elles étaient valables ? La lecture de livres parus en 85 sur "l'affaire Prioré" pose clairement ce genre de problèmes.

éviter le  
manichéisme  
scientiste

Où passent les limites entre sciences et "fausses sciences", ou "parasciences" ? Comment naviguer, en évitant tout à la fois le conservatisme réactionnaire, et l'aventurisme irresponsable ? "L'esprit de sel" (37) peut être utilisé, dans la réflexion avec une classe, pour aider à mieux cerner ces questions, et éviter le manichéisme scientiste qui trancherait en escamotant les problèmes.

L'histoire des sciences ouvre ainsi, par l'étude des fraudes, la porte à des chercheurs bien vivants, inscrits dans une époque où interfèrent de multiples problèmes, et dont les laboratoires nous apprennent la complexité des recherches. Nul doute que cette étude gagnerait à être complétée par les observations actuelles faites par l'équipe de Bruno Latour (38).

### 3. EN GUISE DE CONCLUSION

l'histoire des sciences pour mieux comprendre les erreurs des élèves...

Une meilleure connaissance de l'histoire de sa discipline permettrait sans aucun doute à l'enseignant de mieux comprendre les erreurs que commettent ses élèves. Même sans croire que l'ontogénèse retrace la phylogénèse, il est intéressant de voir que les points de forte résistance à la connaissance scientifique s'ancrent profondément dans un bon sens collectif qui a d'anciennes racines.

... sinon c'est le bon sens qui gagne au détriment de la rigueur scientifique

Des observations faites sur plusieurs années (en Première D, en Terminale C) m'ont amenée à penser que notre enseignement n'aide pas les élèves à remettre en question les "évidences", les connaissances relevant du bon sens, et qu'on peut très bien empiler des connaissances exactes sur des bases fausses, sans que - à court terme - l'incompatibilité des deux éclate. Et, à long terme, c'est le "bon sens" qui gagne.

C'est ainsi que les mentions hilarantes des manuels de Troisième sur les croyances que les souris naissent de chemises sales n'aident en rien à remettre en cause la théorie de la génération spontanée.

Plus précisément, on peut illustrer cette persistance du bon sens collectif par l'exemple qui suit.

#### 3.1. A propos d'un travail sur la théorie de la "génération spontanée en Terminale C

##### . Intérêts que présente cette théorie pour la classe

liée à l'histoire de la reproduction, à celle de la génétique...

- Elle correspond à un concept qui figure au programme de troisième et qui motive en général vivement les élèves par son aspect anecdotique (c'est en effet par l'anecdote que l'histoire entre dans le premier cycle).

- Son histoire est étroitement liée à celle de la reproduction et à celle de la génétique que nous devons aborder par la suite. Elle apparaît comme telle dans le livre de F. Jacob, La logique du vivant (39), dont j'avais décidé de faire le livre de référence de la classe.

Elle est aussi un élément important de compréhension d'une partie de la théorie cellulaire (fin XIXe siècle), dont la lecture de l'énoncé ne semble poser aucun problème (toute cellule vient d'une cellule préexistante) quand il suffit de l'apprendre par coeur pour la réciter le jour du bac.

...et aussi à celle de la théorie cellulaire...

Or, si un siècle et demi séparent les premières observations microscopiques de la théorie cellulaire, les problèmes posés par la génération n'y sont pas étrangers bien que n'étant pas les seuls (cf. Les sciences de la nature au XVIIIe siècle, J. Roger (6))

... la théorie de la  
génération spontanée  
a longtemps résisté

qu'en est-il pour  
les élèves ?

leurs réponses vont  
nous permettre de  
l'entrevoir :

- C'est une théorie qui a longtemps résisté puisque, alors qu'elle avait disparu au niveau du macroscopique à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle selon F. Jacob, elle réapparaît, persiste au niveau du microscopique.  
Qu'en est-il au XX<sup>e</sup> siècle ? Qu'en est-il pour les élèves de Terminale ?

- C'est un exemple intéressant du fait qu'on ne peut pas interpréter des résultats d'expériences, d'observations, sans a priori, sans théorie préalable dans le cadre de laquelle on s'inscrit, ou qu'on cherche à détruire... pour des raisons qui peuvent être autant philosophiques, politiques, que strictement biologiques ; ceci qu'on en soit conscient, ou non.

Or, depuis la Sixième (au moins), on demande aux élèves de conclure à partir d'un résultat d'expériences (Que voyez-vous ? Que pouvez-vous en déduire ? Concluez.). C'est là qu'on juge leur "esprit logique"...

Il ne suffit pas - encore que ce soit indispensable - qu'une expérimentation soit menée avec toutes les précautions nécessaires pour qu'elle permette une interprétation correcte.

Si c'est la même chaleur que le Créateur a placée dans toutes les créatures, comment s'étonner que des êtres animés puissent naître de matière inerte (cf. XVI<sup>e</sup> siècle).

S'il existe une force végétative (et comment prouver qu'elle n'existe pas ?), ne peut-on pas la détruire en faisant bouillir les infusions de foin ? (cf. reproches de Needham à Spallanzani, XVIII<sup>e</sup> siècle).

- Enfin, elle met en évidence le faux du parti pris historique de la cellule, tel qu'on l'observe dans les manuels de Terminale où l'"apparition" (?) d'une nouvelle technique semble toujours la cause d'un "progrès" : vue linéaire, mécaniste et passive de l'histoire.

#### . Un exercice proposé à la classe

Les élèves avaient à répondre (seuls, par écrit) à la question suivante concernant des Colpidiums et des Paramécies prélevés dans de l'eau où crouissait du cresson :

*"Vous avez vu en T.P. des micro-organismes animaux. Pouvez-vous émettre des hypothèses sur leur provenance."*

Quelques-uns (peu) ont répondu : "Je ne sais pas."

D'autres (peu) ont parlé de l'origine des êtres vivants, en général.

Restaient dix-neuf réponses analysables.

- Cinq (dont trois redoublants) proposent : ces micro-organismes proviennent de "gérmenes", "coques", "embryons", qui sont dans les plantes qu'on a placées dans l'eau sur ou/et dans l'air. Deux précisent pourquoi

ils émettent cette hypothèse : un, par analogie avec ce qu'il sait sur le développement de spores de champignons sur milieu favorable ; l'autre - redoublant - "étant donné que la génération spontanée n'existe pas...").

... la génération spontanée ?  
pas morte !

- Tous les autres (quatorze) proposent des réponses qui renvoient plus ou moins à la théorie implicite de la génération spontanée :

*"Ils proviennent d'une pourriture."*

*"Ils proviennent de réactions entre l'eau et des cellules végétales transformées."*

*"Il existerait dans l'eau croupie par exemple, une sorte de génération spontanée, partant des micro-organismes végétaux en décomposition."*

*"Ils pourraient aussi venir de la décomposition de certains corps quoique ce serait bizarre, puisque ces micro-organismes sont vivants."*

### 3.2. Et demain ?

Déjà des projets apparaissent, dans les universités des formations se mettent en place. Mais l'enseignement secondaire est encore fort peu concerné.

Quand la "défense et illustration" de l'histoire de la biologie s'échappera-t-elle des Cahiers Pédagogiques (40) pour envahir le B.O. et les instructions officielles ?

Geneviève LACOMBE  
Lycée de Saint-Gaudens

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Michel PATY. "Science, retour aux sources et fondements". **La Recherche**, n°69. Juillet-Août. 1976.

(2) Marie-José IMBAULT HUART. "Histoire de la médecine et historiographie moderne." in **L'histoire des sciences et des techniciens doit-elle intéresser les historiens ?** Actes du colloque de la Société française d'histoire des sciences et des techniques (8-9 mai 1981). Paris. Centre de recherches historiques et juridiques de l'Université de Paris I. 1982.

(3) Pierre THUILLIER. "La Science moderne entre le Diable et le Bon Dieu." **La Recherche**, n°35. Juin 1973.

(4) François RUSSO. **Nature et Méthode de l'Histoire des Sciences**. Paris. Lib. Blanchard. 1983.

(5) Geneviève LACOMBE. "O... grands hommes". **Cahiers pédagogiques**, n°214. Mai 1983.

Geneviève LACOMBE. "Histoire des Sciences et Manuels. Photosynthèse et échanges de matière". **Bull. APBG**, n°4. 1983.

(6) Jacques ROGER. "La pensée scientifique de la France au XVIII<sup>e</sup> siècle." in **Histoire littéraire de la France**. T.3. Paris. Editions Sociales. 1975, p. 267.

(7) Michèle DUCHET. **Anthropologie et histoire au siècle des lumières**. Paris. Maspéro. 1971.

(8) Jacques PROUST. **Diderot et l'Encyclopédie**. Paris. Colin. 1962.

(9) Robert DARNTON. **La fin des lumières, le messmerisme et la révolution** Paris.

(10) Pierre BARBERIS. Différentes études sur Balzac dont : **Balzac et le mal du siècle : contribution à une physiologie du monde moderne**. Paris. Gallimard. 1970. **Balzac. Une mythologie réaliste**. Paris. Larousse. 1970.

(11) Michel SERRES. **Feux et signaux de brume**. Paris. Grasset. 1975.

(12) Emile ZOLA. **Les Rougon-Macquart**. (de 1868 à 1893). Paris. Garnier-Flammarion. Coll. Poche. éd. 1970-75. Dernier tome : **Le docteur Pascal**.

(13) Emile ZOLA. **Le roman expérimental**. (1880). Paris. Garnier-Flammarion. Coll. Poche. 1971.

(14) Jean BORIE. **Mythologies de l'hérédité au XIX<sup>e</sup> siècle**. Paris. Galilée. 1981.

(15) Claude BERNARD. **Introduction à l'étude de la médecine expérimentale**. (1856). Poche Club. Nouvel Office d'édition. 1966.

(16) Mirko GRMEK. **Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard**. Paris. Droz. 1973.

(17) Ibid (13) p. 72-73.

(18) Yves MALINAS. **Zola et les hérédités imaginaires**. Paris. Expansion scientifique française. 1985.

(19) Revue **Europe** n° 681/682. Janvier-février 1986. WELLS et ROSNY aîné.

(20) Ibid. (19) Gwenhaël PONNAU. "La preuve par deux du Darwinisme.. p. 76 à 90.

(21) H.G. WELLS. "L'île du docteur Moreau" (p. 173 à 378) in **La machine à explorer le temps**. (p. 1 à 169). Paris. Folio n° 587. phrase citée : p. 274.

(22) Georges CANGUILHEM. **Le normal et le pathologique**. éd. PUF. Paris. 1966.

(23) Susan SONTAG. **La maladie comme métaphore**. Paris. Seuil. 1977.

(24) Michel VOVELLE. Préface de **Scènes de la vie marseillaise pendant la peste de 1720**. Actes Sud. 1979.

- (25) Georges JEAN. **L'or et la soie**. Paris. Le Seuil. 1983.
- (26) John FOWLES. **Sarah et le lieutenant français**. Paris. Points Seuil. 1969-1972.
- (27) Gordon GOLDING. **Le procès du singe**. Paris. éd. Complexe. 1982.
- (28) Gordon GOLDING "La Bible contre Darwin : le procès Scopes" in **L'Histoire** n° 35. juin. 1981.
- (29) Pierre THUILLIER. "Bible et Sciences : Darwin en procès" in **La Recherche** n° 123. 1981.
- (30) Ibid. (26) p. 233.
- (31) Georges CANGUILHEM. **La formation du concept de réflexe aux XVII et XVIII siècles**. Paris. Vrin. 2e éd. 1977.
- (32) Hilary et Steven ROSE. **Le cerveau conscient**. Paris. Le Seuil. 1973.
- (33) Marcel BLANC, Antoine DANCHIN. "Les Fraudes scientifiques". in **La Recherche**. n° 113. Paris. juillet. 1980.
- Michel de PRACONTAL. **L'imposture scientifique**. Paris. La découverte. 1986.
- William BROAD, Nicoleas WADE. **La souris truquée**. Paris. Seuil. 1987. (New-York 1982).
- (34) Pierre THUILLIER. **Jeux et enjeux de la Science**. Paris. Laffont. 1972.
- (35) Arthur KOESTLER. **L'étreinte du crapaud**. Paris. 1971-72 Calmann-Levy.
- (36) Stephen Jay GOULD. **Le pouce du panda**. (1980). Paris. Grasset. 1982.
- (37) Jean-Marc LEVY-LEBLOND. **L'esprit de sel**. Paris. Points Sciences. 1981-84.
- (38) Bruno LATOUR. **Les microbes. Guerre et paix**. Collection Pandore. Paris. A.M. Métallé. 1984.
- (39) François JACOB. **La logique du vivant**. Paris. Gallimard. 1970.
- (40) Gabriel GOHAU. "Faut-il raisonner logiquement ? (actualité de la redécouverte)". in **Cahiers pédagogiques** n° 214. Paris. 1983.
- Jean ROSMORDUC. "Enseigner la biologie". **Cahiers pédagogiques**. n° 214, mai 1983.

## Eléments de bibliographie sur l'histoire des sciences

### Articles :

Bernadette BENSUADE-VINCENT. Paul LANGEVIN. **Plaidoyer pour l'histoire des sciences.** La Recherche. décembre 1982.

Franck BOURDIER. **Une place pour l'histoire des sciences naturelles.** Science et Avenir. janvier 1975.

Jean-Marc DROUIN. **L'histoire des sciences, trop mal aimée.** Cahiers Pédagogiques. novembre 1985.

Gabriel GOHAU. **Enseigner l'histoire des sciences. Pourquoi ?** Cahiers Pédagogiques. janvier 1967.

Nicole HULIN. **L'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique : aperçu historique.** Revue Française de Pédagogie. janvier février mars 1984.

Sabine LAURENT. **Et l'histoire des sciences ?** Cahiers Pédagogiques n° 199. décembre 1981.

Michel PATY. **Science. Retour aux sources et fondements.** la Recherche. juillet août 1976.

Jean ROSMORDUC. **L'enseignement de l'histoire des sciences. Un nécessaire retour aux sources.** Le Monde. 17 octobre 1973.

Jean ROSMORDUC. **Pic de la Mirandole au bahut.** Cahiers Pédagogiques. novembre 1985. (cf aussi n° 188).

### Brochures, fascicules :

. Rapport de l'académie des sciences pour l'histoire des sciences et des techniques dans l'enseignement scientifique, novembre 1984. Institut de France. Académie de sciences.

. Collectif. Le retour aux sources. Pour l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique français. Université de Bretagne Occidentale. octobre 1975. (Textes de BARREAU. BROUZENG. DE BROGLIE. DELACOTE. GOHAU. GUESPIN-MICHEL. KEARN. LANGEVIN. MERCIER. PARRAIN-VIAL. PATY. ROSMORDUC. SADOUIN. SARRAZIN. TATON. VERDET. WEISLINGER.

. Collectif. Rapports des colloques organisés par la Société d'histoire des sciences et des techniques en :

- 1980 : l'enseignement de l'histoire des sciences, et les scientifiques.
- 1981 ... et les historiens
- 1982 ... et les philosophes

. Collectif. Questionnaire et résultat de l'enquête sur l'enseignement de l'histoire des sciences et des techniques. octobre 1980 (Organisé par la Société d'histoire des sciences et des techniques).

## L'HISTOIRE DE LA PHYSIQUE PEUT-ELLE ECLAIRER LES OBSTACLES EPISTEMOLOGIQUES ?

Jean Rosmorduc

*Le concept d'obstacle épistémologique a été défini par G. Bachelard à partir de ses études sur l'histoire de la physique et de la chimie et de son expérience d'enseignant de sciences physiques. Le présent article propose une analyse de l'évolution de la physique des origines à nos jours et met l'accent sur quelques-uns des problèmes rencontrés par l'historien de la physique. Au fil du travail, quelques cas d'obstacles épistémologiques sont exposés.*

obstacles épistémologiques, histoire des sciences ...  
et pédagogie

Dans un livre récent, J.L. Martinand, dans le cadre d'un développement sur le concept d'"objectif-obstacle" qu'il a proposé, rappelle que la source théorique en est "la notion d'obstacle épistémologique, élaborée par Bachelard en explorant l'histoire des idées scientifiques". Partant, il envisage de "faire rejoindre deux courants : celui des pédagogues qui cherchent à travers les objectifs à rendre plus efficaces les actions didactiques et celui des épistémologues qui s'intéressent aux difficultés qu'affronte la pensée scientifique" (1). Je voudrais dans le présent article, non seulement relever au fil de l'histoire de la physique quelques exemples qui illustrent la conception de l'auteur de "La formation de l'esprit scientifique", mais aussi, en analysant quelques-uns des problèmes qui se posent à l'historien des sciences, contribuer à l'instauration de cette collaboration que J.L. Martinand appelle de ses vœux. Aux didacticiens ensuite de dire si les approches évoquées sont susceptibles d'apporter des éléments aux procédures d'apprentissage des sciences physiques.

Dans mon esprit, il ne s'agit que d'une illustration de différentes questions que j'ai croisées en étudiant l'histoire de la physique et en essayant d'envisager ses apports à la compréhension de cette discipline. Ce n'est pas une étude approfondie du procès de la physique. Ce n'est pas non plus une réponse exhaustive à toutes les interrogations que j'ai pu rencontrer le long de mon parcours. De nombreux sujets sont simplement évoqués ; un travail complet à leur propos nécessiterait la lecture de plusieurs articles et ouvrages. Ce que je tente ici est, non d'écrire un texte clos, mais de proposer une introduction à un débat, lequel constituerait une étape vers cette collaboration que je viens de mentionner.

## I.CONSTITUTION DE LA PHYSIQUE

### I.1. Les origines

tout commence par  
des actions  
sur la matière

"Héritier d'une longue tradition scientifique" (2), l'homme du néolithique et de la protohistoire, après des millénaires d'observations répétées, de tâtonnements divers, d'expériences..., possède de multiples armes et outils - instruments à percussion, arc et flèches, propulseur pour armes de jet, ciseaux, tour de potier, miroir d'obsidienne... (3). A travers quantité de techniques, il pratique donc ce que le physicien et philosophe E. Mach appelait des "expériences mécaniques" (4), tous ces gestes que Leroi-Gourhan classait parmi les "formes élémentaires d'action sur la matière" (5).

sans s'interroger  
sur le pourquoi

Pratiques inspirées par les besoins de la vie, sans doute aussi guidées par une curiosité qui, dit le même auteur, "est le moteur de toute recherche" (6). Pratiques empiriques, patiemment mises au point, transmises et améliorées de génération en génération. De bouche à oreille : l'écriture n'existe pas. Recettes, techniques, mais non sciences. On connaît les gestes, leur efficacité, on ne connaît pas les raisons de cette efficacité. Les recherche-t-on seulement ? L'on sait qu'un levier permet de redresser une sagaie tordue, de soulever plus facilement une masse. Essaye-t-on de savoir pourquoi ? Et, si cela est tenté, comment fait-on pour passer d'une observation - essentiellement qualitative, d'ailleurs - à un énoncé formalisé, c'est-à-dire à une "loi", et cela sans antécédent d'aucune sorte, sans "maître" ?

la quantification  
apparaît avec  
les échanges et  
les besoins  
de prévision

Les tribus, les peuplades, après la "révolution agricole" qui marque le néolithique, produisent de plus en plus de nourriture. Elles élèvent des animaux. Un artisanat relativement spécialisé apparaît. Les groupes humains qui détiennent des surplus d'aliments, d'objets..., sont amenés à les échanger contre d'autres marchandises. Il leur faut donc savoir compter, savoir aussi comparer les quantités qui ne relèvent pas d'une simple numération. D'où l'apparition du calcul, et celle de la balance dont les formes déjà élaborées existent à Sumer et dans l'Ancien Empire Egyptien. L'agriculture nécessite un calendrier ; son établissement fait appel à l'observation astronomique. Les grandes constructions religieuses exigent des connaissances de géométrie, de même que le calcul des surfaces servant pour une part de base à la détermination des impôts. Il en est ainsi, également, des quelques évaluations de l'astronomie naissante.

Science de l'espace, la géométrie est donc "la branche la plus ancienne de la physique" (7). Il s'agit toutefois, aux grandes époques de Babylone et de l'Empire des Thoutmosis et des Ramsès, d'un catalogue de recettes, d'une "pré-science", non d'une science reposant sur un

"paradigme" bien défini - le concept de "paradigme" en histoire des Sciences est développé par Kuhn (8) -. Dans le cours de ces transformations, peut-être à partir des premières représentations symboliques des nombres, l'écriture est apparue (au cours du IIIe millénaire A.C.). Un outil indispensable à l'essor des sciences est né.

### 1.2. De "l'expérience première" (9) à la physique d'Aristote et à celle de l'impétus

La situation est restée en l'état, pendant des siècles, pour la majeure partie des domaines qui constituent, depuis le XIXe siècle, les principales spécialités de la physique. L'on sait, depuis Thalès (VIIe siècle A.C.) au moins, que l'ambre frotté attire des corps légers (brins de paille, poussières...), que la "pierre d'aimant" (ou "pierre de Magnésie") en fait autant du fer. Quelques explications de ces phénomènes sont avancées ; la plupart relèvent de l'animisme - voir à ce propos le chapitre VIII, L'obstacle animiste, de l'ouvrage de Bachelard, p 149-167 - , quelques-unes (celles d'Epicure, de Lucrèce, par exemple) ont un caractère plus matérialiste, mais s'apparentent souvent au substantialisme - de même, voir chapitre VI, L'obstacle substantialiste, p 97-129. Après l'introduction, dans l'empire Mulsuman puis en Europe Occidentale, de la boussole (probablement importée de Chine), les propriétés de l'aimant font l'objet d'une étude que l'on peut qualifier d'expérimentale. L'auteur en est l'ingénieur militaire français du XIIIe siècle, Pierre de Maricourt, qui la synthétise sous forme d'une lettre adressée à l'un de ses collègues (10). Il n'émet toutefois aucune hypothèse sur l'origine des effets observés. La minéralogie est embryonnaire, la cristallographie n'est pas encore née. Les phénomènes thermiques ne sont pas véritablement abordés. L'optique, alors admise comme une partie de la géométrie, fait l'objet d'un traitement particulier. Les lois de la réflexion de la lumière sont démontrées par Euclide (IIIe siècle A.C.), la réfraction est abordée expérimentalement par C. Ptolémée (Ie - IIe siècle) qui présente ses résultats sous forme de tableaux de valeurs respectives des angles d'incidence et de réfraction. Il est à noter que la lumière est considérée être une forme idéale du feu (idée qui subsistera jusqu'à la fin du XVIIIe siècle) et que la plupart des philosophes (les aristotéliens exceptés), ainsi que des géomètres, admettent que les yeux émettent des rayons lumineux, ce qui est peut-être à comparer à certaines idées (qui semblent toutefois plus confuses) de jeunes enfants, telles qu'elles apparaissent dans les travaux d'E. Guesne.

La mécanique est la seule science physique qui, au moins à partir d'Aristote (IVe siècle A.C.), forme un en-

une évolution  
très lente  
au début

l'aspect descriptif  
prévaut

quelques lois  
en optique

la mécanique,  
science "vraie"

sur des bases  
énoncées par  
Aristote

une rationalité,  
image de la société

le langage mathéma-  
tique ...

semble constitué, développé sur la base d'un "paradigme" bien défini. Elle correspond donc à la définition que Kuhn donne d'une "science normale" (11). A l'origine de l'édifice aristotélicien figurent diverses "expériences premières", complétées par quelques observations plus élaborées. Citons : la relation entre l'action d'une force (d'un "moteur" si l'on reprend la traduction littérale du terme utilisé par le philosophe) ; la proportionnalité entre la valeur de cette force et la vitesse du mobile ; l'idée qu'un corps, abandonné à une certaine hauteur, tombe d'autant plus vite qu'il est plus lourd ; l'immobilité de la Terre... La sphéricité de notre planète est connue, probablement depuis Pythagore (Ve siècle A.C. ?) ; elle est déduite de l'observation des bateaux s'éloignant en mer, de celle de la forme circulaire de son ombre au cours d'éclipses... L'opinion d'Aristote sur l'immobilité de la planète au centre de l'univers, bien que très largement majoritaire sans doute parmi les philosophes et les astronomes, n'est pas partagée par tous ; témoin l'argumentation qu'il développe pour la démontrer et contredire l'affirmation inverse du pythagoricien Philolaos (12). Autre conjecture plutôt contraire, elle, à l'expérience commune : pour expliquer le mouvement d'un projectile après qu'il ait, par exemple, quitté la main du lanceur (ou la corde de l'arc, s'il s'agit d'une flèche), Aristote prétend que le dit mouvement est conservé par l'air, le mobile reprenant ensuite son "mouvement naturel" quand la gravité l'emporte...

La dynamique du Stagirite constitue une synthèse des connaissances dans cet important secteur de la physique : l'étude du mouvement. C'est l'une des illustrations de la tentative, caractéristique cruciale de la science grecque classique, de "rendre compte de l'ordonnance de l'univers d'une façon purement positive et rationnelle" (13). Les points de départ en sont, très certainement, des constatations immédiates, perçues par l'esprit d'un individu, certes très intelligent, mais dont le cadre mental est déterminé par le contexte d'une société du IV<sup>e</sup> siècle A.C. "Nous ne pouvons connaître que dans les conditions de notre époque et dans les limites de celle-ci" (F. Engels) (14). Ce qui mène l'un des analystes d'Aristote à considérer que sa physique tend "trop souvent à donner à l'apparence sensible grossièrement interprétée la valeur d'une véritable preuve expérimentale", et qu'elle "repose sur des affirmations arbitraires (...) fruits d'une expérience grossière, inspirée du sens commun et étrangère à tout esprit critique." (15).

Toute autre est la statique d'Archimède, de peu postérieure à l'oeuvre d'Aristote (16). D'une part parce qu'elle est, pour l'essentiel, exacte. D'autre part parce qu'elle est formulée en langage mathématique, à l'inverse de sa devancière. Quelques-unes des raisons apparentes de l'inégalité des développements peuvent être suggérées : les bases concrètes de l'édification de la discipline - les

permet une expression  
correcte des lois ...

en liaison avec  
le développement  
des techniques

l'impetus, nouvelle  
cause du mouvement ...

proche de l'"élan"  
des enfants

le début d'une  
révolution

constatations d'expériences courantes, en l'occurrence - sont, dans de cas de la statique, plus faciles à constituer que dans celui de la dynamique. Les pratiques de la société antique de l'époque, si l'on préfère, se prêtaient à l'expression correcte de certaines des lois de la statique, non à celle des lois de la dynamique - nous reviendrons plus loin sur les pratiques de la société grecque -. Le contexte scientifique et technique a par ailleurs changé. Le travail du physicien de Syracuse est postérieur à cette considérable synthèse mathématique que constituent "Les éléments" d'Euclide (Euclide, 323-285 A.C.) - fondements des mathématiques, et notamment de la géométrie, pour les siècles à venir ; remarquons d'ailleurs qu'Archimède est aussi un très grand mathématicien, ce que n'était pas Aristote. Par ailleurs, il est contemporain du début de l'essor de l'École d'Alexandrie dont l'une des caractéristiques est l'intérêt porté à la technique par des personnages qui étaient mathématiciens et physiciens. Il faudrait peut-être recenser les concepts nécessaires à l'expression de la statique et à celle de la dynamique, puis examiner si les hommes de l'Antiquité connaissaient les uns et les autres. Je ne pense pas que les difficultés des approches respectives des deux spécialités soient ici en cause ; l'expérience montre que l'apprentissage de la statique par les élèves, par exemple, n'est pas plus aisé que celui ultérieur de la dynamique.

La dynamique d'Aristote est restée en vigueur pendant des siècles. Sa théorie relative au mouvement des projectiles a été contestée, au XIVe siècle, par Jean Buridan, Recteur de l'Université de Paris. En substance il affirmait que la force imprimait au mobile ce qu'il appelait un "impetus". Quand l'action de la force cesse, ce serait cet "impetus" qui causerait la poursuite du mouvement. Contrairement à la thèse d'Aristote sur le rôle qu'il attribuait à l'air, l'idée de Buridan paraît conforme à "l'expérience première", celle des nombreux lanceurs de projectiles (archers, manieurs de balistes, artificiers, etc) notamment, comme l'écrit A. Koyré (17). Il est à noter que les enfants expliquent couramment le mouvement d'une pierre en disant qu'elle conserve "l'élan" qui lui a été communiqué par la main, cette notion "d'élan" étant somme toute très voisine de "l'impetus" de Buridan (18).

### 1.3. La révolution scientifique

"Pendant 2000 ans, les vieilles sciences limitées et traditionnelles ont été cultivées dans les plates-bandes d'une philosophie qui les abritait : la philosophie du concept. Et la Révolution commence à peine, au XVIe siècle, qui s'opèrera en plusieurs temps, dans les divers compartiments du savoir - et ne se fera réellement qu'au XIXe

siècle" (19).

qui commence  
avec Copernic

Il est de coutume de dater cette "révolution" de 1543, année de la publication de l'ouvrage de N. Copernic "De Revolutionibus orbium coelestium".

Pour essayer de résoudre harmonieusement les contradictions entre les observations des astronomes et le modèle de l'univers proposé par eux, le chanoine polonais substitue, au système géocentrique affirmé depuis l'Antiquité, une représentation héliocentrique. Sa justification implique l'élaboration d'une nouvelle mécanique, permettant notamment de réfuter l'argumentation d'Aristote visant à démontrer l'immobilité de la Terre. Cette mécanique a été l'oeuvre de plusieurs mathématiciens et physiciens : Galilée, d'abord, auquel ses ouvrages valent d'être condamné par l'Inquisition en 1633 ; mais aussi S. Stevin, Descartes, Torricelli..

une nouvelle  
démarche

Au-delà de cette nouvelle mécanique, c'est une démarche scientifique profondément novatrice - c'est-à-dire une approche autre de la compréhension des phénomènes de la nature - qui émerge des travaux du XVIe et de la première moitié du XVIIe siècle. Ses caractéristiques principales : le recours à l'expérimentation systématique qui se superpose à la simple observation ; la traduction en expressions mathématiques des lois physiques ; la mesure, c'est-à-dire la quantification des résultats de l'observation et de l'expérience ; enfin, le rejet du "principe d'autorité", invoqué depuis l'Antiquité pour justifier les affirmations de l'ancienne physique.

rejetant les  
arguments d'autorité

Si cette démarche affecte l'astronomie et la mécanique, elle concerne également d'autres domaines. Elle provoque pour certains d'entre eux un essor inédit - c'est le cas de l'optique par exemple ; l'étude du magnétisme - avec la publication du traité "De Magnete" de W. Gilbert - reprend le travail de P. de Maricourt (20) et l'étend, les explications "animistes" ou "substancialistes" des phénomènes subsistant toutefois. L'hydrostatique et l'hydrodynamique se développent. L'analyse des phénomènes acoustiques dérive des travaux en mécanique des fluides. A la fin du siècle, les réalisations de Otto de Guéricke créent l'électrostatique expérimentale...

qui touche tous  
les domaines

de la mécanique ...

Il est d'usage de mettre particulièrement l'accent sur l'évolution de la mécanique. C'est, d'ailleurs, ce que je viens de faire. Cela tient pour une part au rôle joué par cette science dans la formation de la physique et à l'influence qu'elle a pu exercer sur d'autres sciences et sur la philosophie (21). Cela tient aussi à l'impact historique du procès de Galilée et à la part des progrès des "arts mécaniques" - c'est-à-dire des techniques - dans les transformations des sociétés occidentales aux XVIe et XVIIe siècles. Mais d'autres sciences ont également subi des bouleversements d'une ampleur équivalente. Il en est ainsi, selon G. Simon, de l'optique (22). Pour lui - suite aux travaux expérimentaux de Ptolémée au début de notre ère, puis à ceux de ses successeurs moyenâgeux

à l'optique

(Ibn al Haytham, Witelo...) - les ouvrages de Képler (23) marquent, pour l'optique géométrique, une mutation comparable à celle que représente l'oeuvre de Galilée pour la dynamique. Le XVIIe siècle a été, après l'utilisation de la lunette par le Florentin à partir de 1609, une période de création de plusieurs instruments optiques (lunettes astronomiques, microscopes, télescopes à miroir...). La fin du siècle a vu la découverte de divers phénomènes - diffraction (Grimaldi, 1665), couleurs des lames minces (Hooke, 1665), double-réfraction (Bartholin, 1669), dispersion (Newton, 1675)... - et la formulation des premières théories scientifiques sur la nature de la lumière (Newton et Huygens).

se dégager  
des présupposés

La physique, dans le cours de cette "révolution scientifique" qui commence - comme l'écrit L. Febvre - au XVIe siècle, s'affranchit pour partie des impératifs de la perception immédiate, ou plutôt "que l'on croyait immédiate", dirait-on en paraphrasant K. Pomian (24), parce que le sujet observant la nature était (est) conditionné par tout un ensemble de présupposés idéologiques, par des habitudes..., par toute une culture déterminant assez largement ses réactions supposées "spontanées", sa "connaissance première". Pour partie seulement, car si des pans entiers de l'approche des réalités physiques sont transformés (25), certaines des appréhensions des physiciens continuent à relever de la perception courante - celles de l'espace et du temps, par exemple - . La physique de l'espace - la géométrie - est celle dont Euclide a établi les fondements, Descartes en édifiant toutefois une branche nouvelle - la géométrie analytique - dont le développement favorisera la traduction mathématique des lois physiques, notamment de celles de la mécanique. Rappelons que ce "cadre euclidien" subsistera jusqu'à la théorie de la relativité restreinte incluse, cette dernière liant cependant les concepts d'espace et de temps, distincts en mécanique classique.

pour une plus grande  
mathématisation

#### 1.4. Mécanisme et déterminisme "laplacien"

l'ouvrage fondamental  
de Newton ...

L'une des oeuvres majeures de la physique classique - et de la physique "tout court", d'ailleurs - est "Principes mathématiques de la philosophie naturelle" publié par Newton en 1687 (26). C'est une synthèse, utilisant souvent des formulations que les présentations ultérieures de la mécanique ont perpétuées, des découvertes effectuées depuis le début du siècle. L'auteur y intègre divers apports qui lui sont spécifiques : définition de la masse (et donc distinction nette de la masse et du poids) ; principe fondamental de la dynamique (dont l'idée initiale a été esquissée par Galilée)... loi de la gravitation universelle... Comme l'écrira plus tard E. Mach, "l'énoncé formel des principes de la mécanique encore généralement acceptés aujourd'hui" est défini dans ce livre et,

depuis (Mach écrit à la toute fin du XIXe siècle), "aucun principe essentiellement nouveau n'a été posé et le travail accompli en mécanique depuis lors a été un développement déductif, formel et mathématique, sur la base des principes newtoniens." (27)

cristallise les  
descriptions  
mécanistes des  
phénomènes physiques

Ce livre est aussi l'une des composantes principales d'une conception mécaniste de l'univers, dont les prémisses existent déjà chez des auteurs de l'Antiquité, et dont divers constituants apparaissent chez les physiciens du XVIIe siècle : Galilée, Descartes, ..., Mersenne, ..., Huygens... Pour ces savants, les phénomènes qui se produisent dans la nature, ceux du moins qui interviennent dans la matière "inerte" (c'est-à-dire non vivante), sont régis par les "lois" de la mécanique, celles-là mêmes dont Newton a énoncé les principales. L'univers est un immense mécanisme, dont les mouvements sont déterminés par la loi de gravitation universelle. Et toutes les branches de la physique, quelles que soient leurs spécificités par rapport à la mécanique, doivent relever, dans leur domaine particulier, de lois dérivées de celles qui guident les mouvement des corps.

la mécanique  
décrit tout ...

Dans cette optique on peut considérer qu'une spécialité donnée aura atteint l'état de maturité quand on sera capable de traduire son contenu sous forme de lois mécaniques. C'est la conception que Newton, Huygens, Fresnel plus tard retiennent pour la science de la lumière, que Coulomb admet pour l'électrostatique, que Maxwell lui-même postule pour l'électromagnétisme...

dans une optique  
entièrement  
déterministe ...

Les déistes jugent que ce parfait ordonnancement du monde est "l'ouvrage d'un être tout puissant et intelligent" (28), c'est-à-dire de Dieu. C'est le "Dieu-horloger" de Voltaire, le Dieu-mécanicien" de tous les auteurs chrétiens de l'époque (29). Il est d'autres savants qui, en apparence du moins, font dans leur pratique scientifique abstraction de l'hypothèse divine jugée inutile, mais n'en professent pas moins une conception similaire. L'un des plus caractéristiques est Laplace, auteur du monumental "Traité de mécanique céleste" (30), scientifique officiel et très puissant, homme politique, du 1er Empire et de la Restauration. Laplace reste notamment, en histoire des sciences, l'exemple type de défenseur du déterminisme absolu - ou mécaniste, si l'on préfère - des lois de la nature. Pour lui, une connaissance parfaite de ces lois, des conditions initiales, des différents facteurs intervenant, devrait permettre de prévoir exactement le cours futur des événements et, à l'inverse, de reconstituer le passé (31). Le hasard est, en fait, éliminé des processus ; il ne saurait, dans cette perspective, représenter autre chose qu'une imperfection momentanée de l'état des connaissances scientifiques.

Le déterminisme laplacien imprègne toute la pensée scientifique du XIXe siècle, malgré l'essor de la mécanique et de la thermodynamique statistiques (Clausius, Maxwell, Boltzmann...) à partir du milieu du siècle. La

ce qui ne va pas  
sans poser de  
problème ...

en interdisant  
toute dialectique

physique du XIXe siècle est profondément mécaniste, ce qui a, dans quantité de secteurs, posé de difficiles problèmes à ses artisans. Que l'on songe, par exemple, aux péripéties de l'histoire de l'éther lumineux à cette époque, aux différents "modèles" mécaniques de l'éther proposés par Fresnel, Maxwell... (32). Et je ne pense pas être imprudent en affirmant que cette forme de déterminisme nous influence toujours largement, que la conception mécaniste de la causalité qu'elle implique opère encore la plupart du temps, à l'exception (et encore !) des domaines où la démarche probabiliste est de règle. "Penser dialectiquement" est difficile et, même dans le cadre d'une telle pratique intellectuelle, une fois les contradictions cernées, les diverses interactions recensées et évaluées, l'idée d'une détermination assurée ne resurgit-elle pas ? En bref, la conception laplacienne quelque peu modernisée n'est-elle pas partie intégrante de nos "structures mentales" actuelles ? Est-ce là - ou non - un "obstacle épistémologique" ?

### 1.5. "Le nouvel esprit scientifique"(33)

un faisceau  
de connaissances ...

contredit peu à peu  
ce mécanisme ...

par affirmation  
d'une dualité

Le XXe siècle marque, dans l'histoire de la physique, un bouleversement complet de nombre des conceptions antérieurement retenues. La relativité d'Einstein remet en cause les concepts courants d'espace et de temps. A cet égard le changement est, par rapport à la perception commune, plus profond que celui qui avait été apporté par la révolution scientifique du XVIe siècle. Avec la relativité généralisée, l'espace-temps n'est plus euclidien. La loi de conservation de la masse a été remplacée par celle de conservation de l'énergie. L'implantation de la théorie atomique en chimie au XIXe siècle, la découverte des rayons cathodiques, l'étude des propriétés du noyau de l'atome à la suite de la découverte de la radioactivité..., ont affirmé la discontinuité de la matière pondérale. Celle de l'électricité a également été démontrée. L'hypothèse de Planck, consécutive aux travaux sur le rayonnement thermodynamique, l'explication donnée par Einstein de l'effet photoélectrique ont mené à conclure que le rayonnement - et donc la lumière - est lui aussi, du moins dans certaines circonstances, discontinu. La synthèse, réalisée par L. de Broglie en 1923, affirme que la matière au sens usuel du terme (un ensemble de corpuscules, donc, si l'on retient les derniers développements) et la matière-lumière sont l'une et l'autre duales : à la fois onde(s) et corpuscule(s). Cette théorie est notamment confirmée par les expériences de Davisson et Germer. Le développement de la physique quantique conduit à considérer que, à l'échelle subatomique, les concepts habituels de corpuscule, de

trajectoire... n'ont pas de sens..., que l'on ne peut plus situer la position d'un corpuscule en un point de l'espace mais déterminer la probabilité de présence dans une région d'une entité définie par quelques caractéristiques physiques...

des modèles  
devenus ambigus ...

En paraphrasant une expression de F. Halbwachs (34), on pourrait dire qu'une représentation de la physique par un "modèle-image" est, au XXe siècle, devenue impossible. Comment, par exemple, retranscrire sous forme de schéma figuratif une réalité qui est, à la fois, onde et flux de corpuscules. On ne peut plus, non plus, décrire un atome comme une petite sphère, ou même une sorte de "système solaire miniature", sauf à des fins de vulgarisation, et encore en précisant qu'il ne s'agit que d'un croquis pédagogique ne prétendant pas être une "photographie" de l'atome réel. On ne peut pas davantage, comme le pensaient possible les newtoniens du XIXe siècle, ... ramener les phénomènes naturels à des forces invariables d'attraction et de répulsion, dont l'intensité dépend uniquement de la distance" (35). Ce qui est vrai de tel ou tel système physique l'est de l'ensemble de cette science. Paul Langevin, qui fut en France l'un des propagandistes de la théorie de la relativité et de la théorie quantique, écrivait en 1939 dans le premier numéro de la revue "la Pensée" que... "nous assistons à un moment particulièrement important du développement de cette chose vivante qu'est notre raison" (36). L'exercice de cette raison à la compréhension des phénomènes physiques, c'est-à-dire l'expression de leur **rationalité**, est très différente de ce qu'elle a pu être dans un passé encore assez récent. "... la tendance dominante de l'esprit étant d'assimiler toute réalité nouvelle à des schémas antérieurs", écrit J. Piaget, "l'accommodation à la nouveauté se réduit à une modification minimum de ces schémas" (37). L'opération était déjà difficile à réaliser au cours de la révolution scientifique des XVIe et XVIIe siècles. L'histoire de la physique moderne nous montre qu'elle est aujourd'hui impossible. On ne peut plus se contenter d'un simple ajustement de la conception mécaniste du siècle précédent.

pour rester  
en accord ...

avec la rationalité

## 2. DE QUELQUES ASPECTS...

Je voudrais dans ce sous-chapitre, non reprendre une analyse détaillée du processus que je viens de survoler rapidement, mais évoquer brièvement quelques-uns des problèmes qui me sont apparus chemin faisant.

## 2.1. La méthode... quand même !

la méthode est  
contestée ...

pour ses  
utilisations ...

mais elle existe !

il suffit de prendre  
du recul ...

Il est aujourd'hui de bon ton de contester la méthode scientifique. "Les" méthodes, si l'on préfère, tant il est vrai que l'application de quelques principes communs à des domaines différents conduit à des procédures dissemblables à bien des points. Enfin, ce qui nous intéresse ici, c'est la physique, que l'on peut tout de même créditer d'une méthode assez clairement définie et dont s'inspire largement ce que l'on appelle communément "la" méthode scientifique. Partant de la mise en cause - fort juste au demeurant - de diverses applications (militaires, notamment) de découvertes scientifiques, de la constatation des dégâts causés à l'environnement par les pratiques industrielles d'un certain mode de production, des effets de la transposition dans le système productif de principes inspirés par la démarche scientifique (ce que l'on appelle la "rationalisation de la production")..., certains en sont venus à prendre à partie les sciences dans leur globalité - certains courants post-soixantehuitards notamment, qui s'expriment dans des articles de l'ouvrage de A. Joubert et J.M. Levy-Leblond (38) - et quelques-uns à nier purement et simplement la méthode scientifique (39). Au-delà, la littérature de ces dernières années abonde de textes glorifiant telle ou telle néophilosophie ésotérique et/ou mettant sur le même plan la méthode des sciences, et celles, supposées, de l'alchimie, de l'astrologie, de la philosophie Zen, etc.

Au risque de paraître ramer à contre-courant (encore que nombre des critiques du début des années 70 aient, depuis, nettement infléchi leur discours), j'affirme ici l'existence d'une méthode en physique dont les éléments principaux ont été repris par les autres disciplines scientifiques, les unes et les autres en adaptant l'application en fonction des spécificités de leur domaine d'étude particulier. J'en affirme aussi la validité dans le secteur de compétence qui est le sien et pour lequel elle a été conçue.

On peut démontrer cette validité, partiellement tout au moins, en vérifiant la réalité des prévisions et des applications que la physique a permises. On peut aussi la justifier à partir de l'histoire de la physique et notamment de sa méthodologie. L'évolution de cette science peut être divisée en une succession d'étapes dont la caractérisation varie en fonction des critères retenus. Ces derniers peuvent privilégier, non les transformations de telle ou telle spécialité, mais celles de la méthode d'analyse de la réalité matérielle. Ce qui présente, entre autres, l'avantage de saisir l'histoire de la physique dans sa globalité.

De ce point de vue, l'ethnologie et la préhistoire nous permettent de reconstituer les modes d'approche des so-

et de regarder  
l'histoire

ciétés primitives ; à partir des tablettes d'argile mésopotamiennes, des papyrus égyptiens, des documents chinois et indiens..., on peut se faire une idée de la manière dont procédaient les Anciens ; les textes grecs sont suffisamment nombreux pour que nous puissions détailler assez précisément les méthodes des philosophes de la Grèce classique, l'oeuvre d'Aristote nous apportant un tableau exhaustif de ses conceptions ; les renseignements ne manquent pas sur le Moyen-Age et, à partir du XVIe siècle, nous suivons sans peine le processus de constitution de la méthode expérimentale, déjà élaborée chez Galilée et F. Bacon, confortée par Newton, codifiée au XIXe siècle, sa dimension critique étant amplifiée par les développements contemporains (40).

une progression  
constante ...

Il est, je pense, inutile d'insister outre mesure sur le caractère formateur d'une telle perspective historique. Vue sous cet angle l'histoire des sciences se présente comme un élément important de la constitution de l'esprit critique. Elle permet aussi de montrer que ce n'est pas l'application de la méthode scientifique qui conduit à des résultats contestables, voire aberrants, mais des défauts ou des erreurs dans cette application. Les physiques de l'Antiquité et du Moyen-Age sont essentiellement qualitatives, les grandeurs physiques - indéfinies la plupart du temps - sont tout au plus estimées. A partir de Galilée, les concepts se diversifient, se précisent et s'affinent ; les grandeurs sont **mesurées**, ce qui veut dire que l'essor des théories physiques va de pair avec la mise au point d'instruments d'observation et de mesure, patiemment perfectionnés ensuite. De plus en plus, au cours du XIXe siècle, les physiciens essayent de déterminer la précision de leurs évaluations. Au fil des siècles l'on est donc passé d'un ensemble de jugements subjectifs sur la Nature à des déterminations dans lesquelles la part d'objectivité va grandissante et est de mieux en mieux appréciées (41).

vers l'objectivité

## 2.2. Ressources et limites des raisonnements par analogie

bonne ou mauvaise  
approche ?

L'ancienne physique faisait grand usage du raisonnement par analogie, certains auteurs plus récents le justifiant par des considérations d'ordre métaphysique (42). Le XVIIIe siècle, grande époque de la "philosophie naturelle" est justement baptisé par F. Halbwachs "l'âge de l'analogie" (43). Ce mode d'approche a continué à être pratiqué par la suite, y compris dans le cadre de la recherche en physique, et la pédagogie en fait toujours souvent usage - comme par exemple l'"analogie hydraulique" utilisée dans des présentations élémentaires de l'électricité -. Jugé positivement par les uns - J. Perrin (44), par exemple, le classe parmi les éléments déterminants du progrès scientifique, estimant que les grands savants ...les Galilée... les Joule... les Carnot ...

ont possédé à un degré extraordinaire le sens des analogies -, très sévèrement par les autres - A. Cresson (45), lui, le juge "... un procédé d'inférence des plus dangereux..." ajoutant : "se fier au raisonnement analogique, c'est dans une multitude de cas se condamner à l'erreur" - il ne me semble mériter, en fait, ni encensement, ni opprobre. Plus satisfaisante l'opinion affirmée par M. Bunge : "l'analogie est ... un outil à double tranchant. D'un côté, elle facilite le travail de recherche dans les voies inconnues en nous invitant à étendre l'acquis de nos connaissances à de nouveaux domaines. Mais d'un autre côté, si on admet l'idée que le monde présente des aspects variés, l'analogie ne peut pas être étendue indéfiniment, car c'est précisément ce dont on ne peut pas parler en termes usuels qui est nouveau" (46).

une démarche qui  
fait progresser ...

Une bonne illustration de ces facettes contradictoires des apports de l'analogie est l'histoire de la théorie ondulatoire de la lumière. Aristote tente de donner une explication de la vision en la comparant à une autre sensation dont le processus est connu, l'ouïe. Il sait que la voix, par exemple, provoque une oscillation de l'air ambiant, laquelle entraîne une vibration d'une partie de l'oreille. Par analogie, il conçoit que la lumière est due à une vibration d'un milieu intermédiaire qu'il baptise "diaphane", qui à son tour fait vibrer des "humeurs" contenues dans l'oeil.

tout en  
questionnant ...

La démarche est reprise par les physiciens scholastiques du Moyen-Age, puis par le physicien hollandais C. Huygens au XVII<sup>e</sup> siècle. Ce dernier, dans le cadre cette fois d'une véritable théorie ondulatoire, imagine un modèle de ce milieu intermédiaire qu'il nomme, lui, "ether". Se basant sur les connaissances acquises, essentiellement depuis le début du siècle, sur la propagation des vibrations mécaniques dans les milieux fluides, il figure la lumière, tout comme le son, sous forme d'une vibration qui, compte tenu de l'analogie retenue, est parallèle à sa direction de propagation - c'est-à-dire longitudinale (47). Le même raisonnement est retenu au XVIII<sup>e</sup> siècle par Euler, puis par T. Young qui, découvrant en 1802 les interférences lumineuses, les explique en utilisant le modèle établi par Huygens. Fresnel - qui se consacre à l'optique à partir de 1814 et développe, à l'aide des ressources mathématiques de son temps, une théorie ondulatoire inspirée de celle de C. Huygens - en fait autant. Il rend compte ainsi parfaitement, dans le cadre d'un Mémoire couronné en 1818 par l'Académie des Sciences, des phénomènes de diffraction. Mais il ne parvient pas, à l'aide du modèle de la lumière défini, à expliquer certaines expériences relatives à la polarisation de la lumière. En fait, l'analogie avec le son, jusque-là instrument de progrès de la théorie ondulatoire, atteint ici ses limites. Elle devient de fait, pour Fresnel, un "obstacle épistémologique" dans le sens où G. Bachelard le

et faisant obstacle

comprend. Il faudra attendre cinq ans (de 1816 à 1821) pour que le physicien se résolve à le franchir, en proposant un autre modèle dans lequel la vibration lumineuse est perpendiculaire à la direction d'un rayon, c'est-à-dire "transversale", permettant ainsi l'essor d'une optique ondulatoire qui figure parmi les réussites scientifiques les plus remarquables du XIXe siècle.

### 2.3. Quelques remarques sur le rôle des mathématiques

L'histoire des sciences montre à l'évidence que les mathématiques et les sciences de la matière inerte (astronomie comprise) se sont mutuellement fécondées depuis fort longtemps. Quelques exemples parmi une foule d'illustrations possibles : la trigonométrie est issue des besoins de l'astronomie et de l'optique géométrique avant de contribuer - notamment après les travaux des mathématiciens arabes au Moyen-Age et ceux de F. Viète au XVIIe siècle - au développement ultérieur de la physique ; la fonction de la géométrie euclidienne a déjà été évoquée ; le calcul infinitésimal - construit par Newton et Leibniz à la fin du XVIIe siècle - a été, et est encore, l'un des instruments les plus puissants de l'édification des théories physiques ; citons, parmi les apports plus récents, le calcul des probabilités, la théorie des groupes, le calcul vectoriel, le calcul matriciel...

Il est certain que l'une des caractéristiques décisives de la "révolution galiléenne" est la mathématisation des procédures de la physique, mathématisation rendue possible par les progrès de la géométrie, l'introduction des chiffres dits arabes, l'apparition de la géométrie analytique... Et, parmi les déclarations de principe les plus importantes de l'histoire de la physique, figure incontestablement l'affirmation de Galilée : "La philosophie est écrite dans ce très grand livre qui est ouvert constamment devant nos yeux, je veux dire l'Univers. Mais on ne peut le comprendre si auparavant l'on n'a pas appris à en entendre le langage, à connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit en langage mathématique et les caractères en sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible de comprendre un seul mot. Sans cela, on se trouve en vain dans un obscur labyrinthe..." (48). Depuis le Florentin ce rôle des mathématiques est allé grandissant et, bien plus encore qu'au XVIIe siècle, l'usage de la modélisation mathématique en physique est aujourd'hui primordial.

Mais une chose est de constater cet état de fait, de juger que l'évolution dans ce domaine était nécessaire aux progrès de la physique, de dire comme le fait J.M. Lévy-Leblond que les mathématiques sont pour la physique bien plus qu'un langage et que "celles-ci ont avec celle-là un rapport de constitution (\*)." (49) ( (\*) sou-

un outil  
puissant ...

et nécessaire ...

ligné par J.M. Lévy-Leblond), une autre est de retenir, comme de nombreux penseurs l'ont fait pendant des siècles, la pensée mathématique comme modèle pour la pensée physique (50). Il y a, me semble-t-il, nécessité de poursuivre de ce point de vue la réflexion sur le lien entre les mathématiques et la physique, en y intégrant les apports de l'histoire. Il est certes parfaitement vain - et tout à fait rétrograde - de plaider pour un retour à une physique intuitive, à une physique des qualités, qui n'est plus aujourd'hui de mise. Mais certaines formes de "mathématisme", certaines transcriptions modernes du pythagorisme de jadis, ne sont-elles pas également aberrantes ? L'explication scientifique n'a nul besoin de "Grand architecte", fut-il mathématicien (51) et la fécondité des modélisations mathématiques ne doit pas faire perdre de vue le caractère indispensable de l'adéquation au réel, critère fondamental de la physique. En d'autres termes une éducation tendant à inspirer l'idée que la mathématique est globalement un modèle pour la physique ne crée-t-elle pas de fait un "obstacle épistémologique" dans l'esprit des enseignés ? S'agit-il simplement d'une traduction contemporaine des oppositions entre Platon et Aristote - telles qu'elles ont été perçues par certains des auteurs principaux (Képler, Galilée...), ou s'agit-il d'une déviance autre ?

mais dont il faut  
se détacher

#### 2.4. Contre le dogmatisme

L'on a souvent invoqué l'apport possible de l'histoire des sciences à la lutte contre le dogmatisme (52). L'enseignement des sciences, mettant obligatoirement en évidence l'état contemporain de ces disciplines, est-il nécessairement dogmatique ? Peut-être pas, mais le fait est qu'il en est souvent ainsi et que le "Paradigme" du moment tend - l'histoire des sciences le démontre abondamment - à se transformer rapidement en dogme. Et le recours au dogme - fréquemment, d'ailleurs, solution de facilité - est un obstacle certain à la formation d'un esprit scientifique et à ses progrès ultérieurs.

dogmatisme ...

ou esprit critique ?

L'arme contre le dogmatisme est l'esprit critique. A sa constitution doit contribuer l'initiation à la méthode expérimentale et la **pratique** effective de cette méthode. L'histoire des sciences peut, de toute évidence, y participer également, le tout étant de définir où et comment il faut l'introduire. La réponse n'est pas simple.

#### 2.5. De quelques erreurs et théories erronées

Quelques-unes des erreurs, faites par les savants au cours des siècles, ont été exposées à maintes reprises (53). Certaines d'entre elles ont, à certains égards, joué un rôle positif. Citons par exemple Newton, affirmant la

des erreurs flagrantes ...

mais néanmoins utiles ...

sous un aspect parfois aberrant

proportionnalité de la dispersion et du pouvoir réfringent d'une substance transparente, et en concluant à l'impossibilité de fabriquer des objectifs et oculaires achromatisés. Ce qui l'amène à étudier la réalisation de télescopes à miroir. Citons aussi H. Poincaré conjecturant que les rayons X sont dûs à la fluorescence excitée, dans le verre, par les rayons cathodiques, ce qui conduit H. Becquerel, pour vérifier cette assertion, à avoir recours à un corps naturellement fluorescent (la pechblende)... et à découvrir la radioactivité naturelle. La formulation d'une hypothèse fautive, obstacle au progrès d'une certaine manière, devient par ailleurs un élément d'un autre progrès. Ce n'est sans doute toutefois pas le cas général, quantité d'erreurs commises - et dont on ne connaîtra sans doute pas la plupart d'entre elles, seules celles qui ont fait l'objet d'une publication parvenant à notre connaissance - n'ayant pas participé, sinon par leur réfutation, à l'évolution des sciences.

Il est une catégorie particulièrement intéressante, c'est celles de théories erronées, justifiant à leur époque du qualificatif de "paradigme" et donc base de la "science normale" de leur temps, qui ont suscité des travaux qui ont ensuite contribué à l'essor de cette science, et par conséquent joué un rôle positif. Je pense, entre autres, à la théorie de l'impetus déjà citée, à la théorie du phlogistique dans la chimie du XVIIIe siècle, à la théorie de l'éther luminescent déjà citée également...

On peut se demander aussi si certains raisonnements par analogie ne sont pas à classer dans la même catégorie. Il en est ainsi, par exemple, de la démarche qui a conduit en 1827 Ohm à formuler ses lois bien connues de l'électrodynamique. Il s'est basé pour ce faire sur la théorie analytique de la propagation de la chaleur établie par Fourier (54). On peut aussi mentionner Maxwell qui a démontré les lois de propagation du champ électromagnétique en considérant qu'il s'agit d'une onde mécanique, se déplaçant dans un "éther" fort complexe, auquel il attribuait des caractéristiques à bien des égards contradictoires.

Il y a de ce point de vue, me semble-t-il, une réflexion à poursuivre sur les processus d'élaboration des connaissances dans le domaine des sciences de la Nature, réflexion dont l'importance pour la didactique de ces disciplines n'échappe à personne. Et, concernant le dernier point évoqué, on ne peut pas ne pas se poser la question : l'analogie est-elle "dans les choses", ou seulement "dans les têtes" ?

### 3. UNE REALITE SOCIALE

Je suis fréquemment conduit à rappeler une phrase de

la physique,  
produit social ?

Renan - "... la science... est indépendante de toute forme sociale..." (55)... - en opposition avec la thèse - que je partage - développée par J.M. Lévy-Leblond : la physique est une "réalité sociale", c'est-à-dire une production d'une société donnée (56). Elle est la traduction, dans l'esprit humain, des propriétés de la matière et donc d'une réalité que l'on doit supposer permanente. Mais les connaissances de l'individu - ou du groupe - qui étudie cette réalité, changeant, ses idées se modifiant, sa perception se transformant, ses moyens d'analyse - théoriques et matériels - évoluant, son statut social se métamorphosant..., le produit de sa réflexion dépend des multiples conditions auxquelles il est soumis. Si la science est un produit social, la science enseignée et reçue l'est également. L'on retrouvera donc à notre époque des influences du même type - si elles ne sont pas absolument analogues - que celles qui ont pu s'exercer sur les physiciens au cours des temps. Je voudrais ici, non me livrer à une analyse exhaustive, mais relever quelques-unes de ces influences.

### 3.1. La "pratique sociale"

science et  
technique ...

L'activité de la techno-science du XXe siècle se traduit le plus souvent par l'introduction d'innovations technologiques découlant de découvertes scientifiques antérieures. L'on sait qu'il n'en a pas toujours été ainsi et que, jusqu'au XIXe siècle, les développements scientifiques ont le plus souvent été consécutifs aux améliorations techniques. Certains auteurs affirment de plus que, pendant certaines périodes, l'activité technique et la réflexion spéculative ont été rigoureusement séparées. L'exemple le plus souvent cité est celui de la société grecque "classique", c'est-à-dire celle des Ve et IVe siècles A.C. C'est ainsi que, plaidant (à juste titre d'ailleurs, à mon avis) pour l'antériorité de la technique sur la science, M. Daumas écrit que "la grande activité scientifique du siècle de Périclès ne s'est traduite par aucun gain appréciable de la technique" (57).

progressent  
ensemble ...

Cette dernière affirmation ne me paraît pas exacte. Si l'on prend le cas de la mécanique, B. Gille a démontré la richesse - déjà ancienne au temps de Périclès - des Grecs dans ce domaine (58). Les "Questions de Mécanique" d'un auteur post-aristotélicien sont entièrement constituées par des développements sur le levier, les mouvements circulaires et leurs applications (longtemps attribuées à Aristote lui-même, on a démontré depuis qu'elles avaient été sans doute écrites par l'un de ses élèves). Si "la Physique" d'Aristote reste une étude abstraite et générale du mouvement, inexacte pour la plupart de ses développements, elle n'en est pas moins marquée par la volonté de rationalisation, l'une des caractéristiques parmi les plus importantes d'une partie no-

liées par une  
pratique

table de la philosophie grecque de l'époque, volonté de rationalisation que l'on retrouve dans le même temps dans la démarche des techniciens.

D'une manière générale, je pense que l'on peut affirmer que toute idée scientifique est le produit d'une certaine **pratique sociale** - c'est-à-dire "d'une société". L'affirmation de la sphéricité de la Terre, par exemple, découle de l'expérience quotidienne des navigateurs. La réflexion antérieure sur l'aimant est une conséquence de l'utilisation de la boussole. Les progrès de l'optique au XVII<sup>e</sup> siècle sont pour une large part dus aux améliorations apportées depuis le XIII<sup>e</sup> siècle aux lunettes par les artisans opticiens. L'exemple de la mesure du temps est bien connu, celui de la relation entre l'essor de la machine à vapeur et la naissance de la thermodynamique, aussi. A un autre niveau, ce sont aux demandes des marchands - plus qu'à celles des philosophes - que nous sommes redevables de la rationalisation de la numération au Moyen-Age ; ce sont également elles qui ont conduit à l'uniformisation du système d'unités à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Les grands voyages - celui de C. Colomb pour commencer, en remettant en cause la "Géographie" de Ptolémée, ont contribué à la "Révolution copernicienne" au moins autant que les contradictions de l'astronomie. La concordance dans le temps de la révolution scientifique, de l'oeuvre de Galilée, du "maître et possesseur de la Nature" de Descartes..., d'une part, du développement des manufactures - et donc d'une relative mécanisation de la production, de l'essor de la bourgeoisie..., d'autre part, n'est pas le fait du hasard.

pratique de  
référence  
utile ...

Les exemples pourraient être multipliés à l'infini, le XIX<sup>e</sup> siècle et plus encore le XX<sup>e</sup> siècle étant de ce point de vue particulièrement prolifiques. Il serait, je pense, intéressant de rapprocher l'idée développée dans le présent sous-chapitre d'un des concepts définis par J.L. Martinand dans l'ouvrage cité plus haut, celui de "pratique sociale de référence" (59). Il serait également important de se pencher sur le problème inverse : une pratique sociale donnée peut-elle constituer un obstacle à l'éclosion d'une théorie scientifique ? Certains éléments de réponse sont assez faciles à apporter. Il existe quantité de cas où les limitations des possibilités technologiques ont empêchés ou retardé une découverte. Si la période faste de l'Ecole d'Alexandrie n'a pas entraîné des progrès scientifiques (et techniques) plus spectaculaires, c'est en grande partie parce que le système esclavagiste dominant ne se prêtait à aucune innovation dans quelque domaine que ce soit (militaire excepté).

ou obstacle ?

Si l'hypothèse héliocentrique d'Aristarque de Samos est restée sans postérité jusqu'au XVI<sup>e</sup> siècle, c'est bien parce que le climat intellectuel, les philosophies enseignées, l'expérience courante des hommes des siècles intermé-

diaires ne s'y prêtaient pas ... Mais ce ne sont là que réponses partielles : une réflexion plus générale sur le sujet serait à mener.

### 3-2. Philosophes

L'influence de la philosophie sur la science est évidente aux époques où elles sont confondues, au cours des Antiquités grecque et hellénistique, à un moindre degré pendant le Moyen-Age. La pensée philosophique est alors à la fois moteur et frein de la pensée scientifique. Depuis la constitution de la pensée scientifique en système autonome - aussi autonome, du moins, que peut l'être un "produit social" - l'influence en est moins directe, tout en continuant à se manifester.

la philosophie  
crée aussi des  
obstacles

Là aussi les exemples d'obstacles dus aux conceptions philosophiques sont nombreux. Citons : les limitations aux progrès de la cosmologie, de l'anatomie..., découlant de la théologie catholique au Moyen-Age ; plus récemment, son opposition à l'idée d'évolution biologique le rôle stérilisant de la pensée scholastique après le XIVe siècle ; le procès de Galilée... Nous avons déjà traité rapidement du rôle du mécanisme... Une philosophie me paraît, à l'heure actuelle, mériter une attention particulière, c'est le positivisme, notamment parce qu'il constitue le plus souvent "la philosophie spontanée des savants" pour reprendre l'expression de L. Althusser (60). L'on sait que la formulation du positivisme est due à A. Comte, influencé pour une part par St Simon, auteur du "**Système Industriel**". En ce qui concerne la philosophie des sciences, l'idéologie comtienne est assez largement conditionnée par les contradictions de la pensée scientifique au XIXe siècle et par le refus de nombre de scientifiques de toute théorie globalisante, refus les conduisant souvent à une sorte de culte du "fait", supposé brut. On découvre ainsi des conceptions "pré-positives" chez Ampère, Berthollet, Biot... et surtout Fourier. Le positivisme de la deuxième moitié du XIXe siècle offre un exemple d'obstacle au progrès de la pensée scientifique dû à un système philosophique. Les chimistes positivistes (J.B. Dumas, M. Berthelot...) se sont en effet violemment opposés - et au nom du positivisme - à la théorie atomique. Par ailleurs, le positivisme impose par principe des limitations à la recherche scientifique - et donc des obstacles à son développement, par exemple en excluant du champ de ses préoccupations toute recherche des causes. On peut juger également que certains néopositivistes contemporains, induisant des inégalités de Heisenberg que la réalité physique est par nature inconnaissable, instaurent ainsi des bornes de fait à la science.

particulièrement  
le positivisme

qui s'est opposé  
à la théorie  
atomique !

### 3-3. Le "paradigme" dominant

chaque science a son "paradigme" à un moment donné

Selon le schéma de T.S. Kuhn, il existe, à un moment donné de l'évolution d'une science, un "paradigme" c'est-à-dire un ensemble de "...découvertes scientifiques universellement reconnues qui, pour un temps, fournissent à un groupe de chercheurs des problèmes types et des solutions" (61). Sur la base de ce "paradigme" s'édifie une "science normale", laquelle a cours jusqu'à ce que des contradictions entre le contenu de cette science et des découvertes nouvelles rendent nécessaire un changement de "paradigme", c'est-à-dire une "révolution scientifique".

et un ancien "paradigme" peut en freiner les évolutions

Dans la période de "crise" - en reprenant le terme utilisé par Kuhn lui-même - qui précède la "révolution", les scientifiques en exercice sont des hommes qui, en majorité, ont été formés par l'enseignement et la pratique de la "science normale" contestée. Si la transformation causée par la "révolution scientifique" est très profonde, il se peut que les structures mentales de ces savants ne leur permettent pas de s'adapter aux modifications exigées par la situation. Les idées, les habitudes de pensée, les formes de raisonnement, les concepts les plus usuels des acteurs eux-mêmes de l'activité scientifique constituent globalement, à ce moment-là, un obstacle à leur acceptation de la mutation en cours, et à plus forte raison à leur participation au mouvement indispensable de la pensée scientifique. Le "paradigme" dominant ancien, jadis élément de progrès des sciences, est devenu un frein.

les idées d'Einstein en ont souffert

Le phénomène peut être observé à différents moments de l'histoire de la physique. Il a été particulièrement net au début du XXe siècle. Nombre de physiciens ont, à l'époque, rejeté les idées d'Einstein, s'y opposant quelquefois même violemment comme H. Bouasse, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, et auteur de nombreux manuels, ou tout au mieux les minimisant. Il est d'ailleurs assez significatif que le Prix Nobel ait été attribué à Einstein, non pour la théorie de la relativité, mais pour son interprétation de l'effet photoélectrique.

La formulation de Kuhn s'applique essentiellement aux aspects scientifiques du "paradigme". En fait, c'est la totalité de l'esprit des savants qui le retiennent qui est impliquée. La manière dont ils perçoivent tel ou tel concept est souvent fonction de leur mode de pensée dans sa globalité et pas seulement des réactions suscitées par leur comportement professionnel de scientifiques, en tant que scientifiques. Dans l'exemple précédent, notamment, la perception de l'espace et du temps d'un individu, fut-il par ailleurs physicien, celle de la simultanéité des événements..., sont inspirées par la vie courante et ne diffèrent pas, quant au fond, de celles de l'épicier du coin. On ne peut, bien évidemment,

ceci montre la  
limite humaine de la  
méthode scientifique,  
en principe parfaite

généraliser. Certaines "révolutions scientifiques" sont plus circonscrites que celle qui a été due à la théorie de la relativité. Les considérations précédentes ne s'appliquent donc sans doute pas, du moins pas totalement, sans toutefois que l'on juge pouvoir faire abstraction du mode de pensée des savants et de sa relation à la vie de la société dont il est partie prenante.

L'effet de "blocage" d'un "paradigme" dépassé montre aussi, soit dit en passant, les limites de la méthode scientifique. Elle est, dans ses principes, parfaite ; elle permet - elle favorise même - les remises en cause, les contestations, etc. Mais, dans la mesure où elle est appliquée par des hommes, leurs sentiments, leur mentalité..., jouent et en diminuent l'efficacité, pouvant même quelquefois amener des effets en contradiction avec les principes mentionnés.

#### 4. CONCLUSION

De nombreuses études sur l'histoire de la physique sont dues à des historiens, des philosophes, des physiciens... Il en existe aussi quelques-unes dont les auteurs se préoccupent essentiellement des problèmes relatifs à l'éducation. Je pense en particulier à certains des ouvrages de G. Bachelard, de J. Piaget, de F. Halbwachs... Plusieurs articles des chercheurs du L.I.R.E.S.P.T. abordent également l'histoire de la physique de ce point de vue. Des approches similaires sont tentées dans d'autres disciplines ; je pense notamment aux travaux d'André Giordan sur l'histoire de la biologie. Le concept "d'obstacle épistémologique" est fréquemment utilisé et il me paraît probable qu'il s'agit d'une notion très importante, à la fois pour l'histoire des sciences et pour leur didactique. Il reste, pour l'exploiter au mieux, à promouvoir la collaboration suggérée par J.L. Martinand, non seulement d'ailleurs entre didacticiens et épistémologues, mais en y associant des historiens des sciences, des historiens des techniques, etc. Les préoccupations sont à rapprocher. Il faut aussi s'entendre sur un langage commun ; ce n'est pas - à mon avis - l'objectif le plus facile à atteindre.

Jean Rosmorduc  
Histoire des Sciences  
Faculté des Sciences et Techniques  
Brest

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) J.L. MARTINAND. **Connaître et transformer la matière.** Berne. P. Lang. 1986. p. 290-291.
- (2) C. LEVI-STRAUSS. **La Pensée sauvage.** Paris. Plon. 1962. p. 24.
- (3) Voir le tableau chronologique publié par B. GILLE *in* **Histoire des techniques.** Paris. la Pleïade. 1978. p. 1482-1537.
- (4) E. MACH. **La Mécanique - Exposé historique et critique de son développement.** trad. française. Paris. Gauthier-Villars. 1904. p.7.
- (5) A. LEROI-GOURHAN. **L'Homme et la matière.** rééd. Paris. A. Michel. 1971.
- (6) A. LEROI-GOURHAN. **Le fil du temps. Ethnologie et préhistoire 1935-1970.** Paris. Fayard. 1983. p. 101.
- (7) A. EINSTEIN. **La géométrie et l'expérience.** trad. française. rééd. Paris. Gauthier-Villars. 1964. p. 16.
- (8) T.S. KUHN. **La structure des révolutions scientifiques.** trad. française. rééd. Flammarion. 1983. p. 11.
- (9) Expression de BACHELARD. *in* **La formation de l'esprit scientifique.** rééd. Paris. Vrin. 1980. p. 22 et suivantes.
- (10) Traduction commentée par D. SPEISER et P. RADELET de GRAVE. *in* **La Revue d'histoire des sciences.** n° 3. juillet 1975.
- (11) op. cit. note (8) p. 29 et suivantes.
- (12) ARISTOTE. **Du ciel.** texte grec et trad. française. Paris. Les belles lettres. 1965. p. 96-98. Un système héliocentrique sera également proposé plus tard par Aristarque de Samos (IIIe siècle A.C.).
- (13) J.P. VERNANT. **Mythe et pensée chez les Grecs.** rééd. Paris. Maspéro. 1971. p. 173.
- (14) F. ENGELS. **Dialectique de la nature.** trad. française. Paris. Ed. Sociales. 1952. p. 244.
- (15) L. BOURGEY. **Observation et expérience chez Aristote.** Paris. Vrin. 1955. p. 44 et 143.
- (16) ARISTOTE. 384-322. ARCHIMEDE. 287-212 A.C.
- (17) A. KOYRE. Galilée et Platon. *in* **Etudes d'histoire de la pensée scientifique.** Paris. PUF. 1966. p. 147-175.
- (18) F. HALBWACHS. **La pensée physique chez l'enfant et le savant.** Neuchâtel. Le Griffon. 1974. p. 143-152. "Les fondements psychologiques de la mécanique pré-galiléenne". **Cahiers du séminaire d'histoire et de sociologie des idées et des faits scientifiques.** n° 7. Marseille. 1974.

(19) L. FEBVRE. **Le problème de l'incroyance au XVIe siècle, la religion de Rabelais.** rééd. Paris. A. Michel. 1968. p. 390.

(20) op. cit. note (10).

(21) J. ROSMORDUC. **Le levier, la roue et l'horloge. Essai sur le rôle directeur de la mécanique.** in **Une histoire de la physique, de Thalès à Einstein.** Ed. du Seuil. 1985. p. 97-133.

(22) G. SIMON. **Derrière le miroir.** in **Le temps de la réflexion.** Paris. Gallimard. 1981. P. 298-331.

(23) L'un d'entre eux **Paralipomènes à Vitellion.** 1604. a été traduit en français et commenté par C. Chevalley. Paris. Vrin. 1980.

(24) K. POMIAN. **L'histoire de la science et l'histoire de l'histoire.** in **Histoire et sciences.** Annales E.S.C. n° 5. sept-oct. 1975. p. 945.

(25) F. BALIBAR. **Galilée, Newton, lus par Einstein.** Paris. PUF. 1984. remarquable livre sur la **Relativité galiléenne**, à laquelle je pense, entre autres.

(26) Une reproduction en fac-similée de sa traduction française par la Marquise du Châtelet (1976) a été éditée en 1966 par la librairie A. Blanchard. Paris. 2 volumes.

(27) op. cit. note (4). p. 180.

(28) I. NEWTON. op. cit. note (26). t.II. p. 175.

(29) Voir J. ROGER. **Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIIIe siècle.** Paris. A. Colin. 1973. p. 224. 230. 778. 779.

(30) Publié de 1799 à 1823.

(31) Conception notamment développée dans son **Essai philosophique sur les probabilités** (1ère éd. 1814). rééd. en 1986 chez C. Bourgeois. Paris.

(32) J. ROSMORDUC et all. **Histoire de la physique.** t.I. Paris. Technique et Documentation. 1987. p. 231-235.

(33) G. BACHELARD. (1ère éd. 1934). rééd. Paris. PUF. 1971.

(34) **La pensée physique chez l'enfant et le savant.** cité note (18).

(35) HELMHOLTZ. cité par A. Einstein et L. Infeld. in **L'évolution des idées en physique.** trad. française. Paris. Payot. 1963. p. 56-57.

(36) P. LANGEVIN. **La physique moderne et le déterminisme.** La Pensée. n° 1. avril-mai-juin 1939. p. 14.

(37) J. PIAGET. **Introduction à l'épistémologie génétique - La pensée physique.** rééd. Paris. PUF. 1974. p. 188.

- (38) A. JAUBERT et J.M. LEVY-LEBLOND. **(auto) critique de la science**. rééd. Paris. Seuil. 1975.
- (39) P. FEYERABEND. **Contre la méthode - Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance**. trad. française. Paris. Seuil. 1979.
- (40) R. BLANCHE. **La méthode expérimentale et la philosophie de la physique**. Paris. A. Colin. 1969.  
J. ULLMO. **La pensée scientifique moderne**. rééd. Paris. Flammarion. 1969.
- (41) A. KOYRE. **Du monde de l'à peu près à l'univers de la précision** in **Etudes d'histoire de la pensée philosophique**. Paris. A. Colin. 1961. p. 311-329.
- (42) P. BRUNET. **Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIIIe siècle**. Paris. Blanchard. 1926. p. 65-66 cite le physicien hollandais du XVIIIe siècle S'Gravesande.
- (43) op. cit. note (18). p. 198-208.
- (44) J. PERRIN. **De la méthode dans les sciences**. 2e série. Paris. 1911. p. 78.
- (45) A. CRESSON. **Les réactions intellectuelles élémentaires**. Paris. 1922. p. 3-4.
- (46) M. BUNGE. **Philosophie de la physique**. trad. française. Paris. Seuil. 1975. p. 137.
- (47) C. HUYGHENS. **Traité de la lumière**. 1ère éd. française. Paris. Gauthier-Villars. 1920.
- (48) Dans **l'Essayeur**. 1623.
- (49) in **Penser les mathématiques**. ouv. coll. Paris. Seuil. 1982. p. 198.
- (50) J. ULLMO. op. cit. note (40). p. 15-21.
- (51) Voir la phrase de Jeans citée par LEVY-LEBLOND. op. cit. note (49). p. 195.
- (52) P. LANGEVIN. **La valeur éducative de l'histoire des sciences** in **La pensée et l'action**. Paris. éd. Sociales. 1964. p. 193-208.
- (53) R. TATON. **Causalités et accidents de la découverte scientifique**. Paris. Masson. 1955.
- (54) E. BAUER. **L'électromagnétisme, hier et aujourd'hui** Paris. A. Michel. 1949. p. 86-87.
- (55) E. RENAN. **L'avenir de la science**. in **Oeuvres complètes d'E. Renan**. t.III. Paris. 1949. p. 1062.
- (56) J.M. LEVY-LEBLOND. **L'esprit de sel**. Paris. Fayard. 1981. p. 17-30.
- (57) Introduction de **Histoire générale des techniques**. t.I. Paris. PUF. 1962. p. XI.
- (58) B. GILLE. **Les mécaniciens grecs**. Paris. Seuil. 1980.

(59) J.L. MARTINAND. op. cit. note (1). p. 137 et 191

(60) L. ALTHUSSER. **Philosophie et philosophie spontanée des savants**. Paris. Maspéro. 1974.

(61) op. cit. note (8). p. 28.



## FORMATION, MODIFICATION ET DISSOLUTION DU CONCEPT D'HORMONE DANS L'ENSEIGNEMENT

Guy Rumelhard

*Pour constituer un enseignement scientifique, diverses contraintes historiques et pédagogiques conduisent à un travail de désarticulation et de réarticulation des savoirs, des techniques expérimentales, des méthodologies démonstratives, des représentations, des concepts. L'exemple du concept d'hormone permet une analyse précise et une discussion critique de ce travail de modification successive des définitions, de changement des notions de base incluses dans la définition, d'accroissement de la complexité du savoir. Ce travail risque de majorer les schémas logiques ou linéaires, de faire disparaître l'historicité du savoir, ou bien de dissoudre le contenu du concept. En face de ces difficultés il ne s'agit pas de proposer une solution unique, mais bien plutôt des formulations successives possibles.*

un discours  
d'apparence  
logique

L'enseignement scientifique **associe** en général la description des **résultats** (le savoir scientifique) et la description d'une partie des **expériences** qui sont **reliées** à ces résultats. Cette association peut prendre la forme d'un discours d'apparence logique, se déroulant selon une progression et une argumentation, ou bien au contraire celle d'une simple juxtaposition. Mais surtout, et c'est une première remarque, faute de temps par oral, faute de place par écrit, et aussi à cause de la lassitude, il est impossible de décrire ou de faire lire la totalité des travaux scientifiques concernant une question donnée. Tout enseignement scientifique se caractérise donc par un **choix** dans l'ensemble des travaux réalisés par les chercheurs dans un domaine donné. L'histoire de l'enseignement montre que ce choix change avec le temps et selon les niveaux d'enseignement.

Parmi les critères de choix, retenons provisoirement :

- le caractère récent ou périmé des travaux,
- la recherche des résultats apportant une plus grande **clarté**, une plus grande **évidence** en liaison avec la **visibilité** des faits expérimentaux.

un mouvement de  
réorganisation  
du savoir

Sans discuter leur bien-fondé, notons que cette pratique conduit à dissocier les concepts et les résultats des techniques et méthodologies expérimentales qui les ont initialement validés. C'est tout un travail de **désarticulation** et de **réarticulation** qui est mis en oeuvre pour constituer un enseignement scientifique. Il ne s'agit pas ici de plaider pour un enseignement qui respecterait la prétendue "vérité" historique, critère ultime de la vérité pédagogique. Il ne s'agit pas non plus d'accuser le péda-

gogue de réaliser un travail arbitraire et sans fondement, car le mouvement de réorganisation du savoir est intimement lié au progrès du savoir et à ses rectifications successives.

*"La rectification du savoir est récurrente, elle est réorganisation du savoir à partir des bases mêmes. La réorganisation de la connaissance abolit son historicité". (1)*  
Ajoutons que les **bases** changent également avec le temps.

Le but de l'article sera donc, sur un exemple précis et à l'aide d'un rapide retour historique, de montrer le **degré de liaison nécessaire ou non** entre les **savoirs**, les **techniques**, les **méthodologies expérimentales** et les **représentations**. Le pédagogue qui compose sa propre articulation selon un niveau d'enseignement donné, et qui en a déjà éventuellement changé au cours des années d'enseignement, trouvera, nous le souhaitons, d'autres possibilités d'accentuation et la discussion critique de certaines habitudes.

Précisons immédiatement sur le cas de l'endocrinologie certaines de ces questions.

- La technique de transplantation est-elle un simple procédé, d'invention empirique, indépendant de toute théorie et indépendant de toute représentation du vivant, pouvant donc servir à des fins théoriques multiples ?

- Le même problème a-t-il présidé à la découverte de toutes les hormones possibles ?

- La question des "communications cellulaires" est-elle une question qui dirige l'invention scientifique ou qui organise un exposé pédagogique ?

- La technique de l'immunofluorescence apporte-t-elle une meilleure preuve de la réalité de l'existence des hormones ? Cette technique ne modifie-t-elle pas la définition ?

## I. LA TRILOGIE DEMONSTRATIVE

A partir de 1905, date de la création du mot hormone qui venait donner une réalité linguistique au concept créé à propos de la découverte de la sécrétine, le pédagogue croit pouvoir stéréotyper **la démarche de démonstration de l'existence d'une hormone** par la trilogie :

- ablation de l'organe supposé produire l'hormone,  
- transplantation avec reconnection vasculaire de l'organe incriminé,  
- réalisation d'extraits de l'organe, puis injection de ceux-ci dans la circulation sanguine ; extraction et isolement si possible d'un produit pur.

Cette trilogie présente l'**apparence d'une liaison logique**

stéréotyper la  
démarche de  
démonstration :

épreuve,  
contre-épreuve,  
preuve ultime

**nécessaire :**

- épreuve : retirer l'organe pour déceler les effets
- contre-épreuve : remettre pour annuler les effets précédents et rétablir l'état initial
- preuve ultime : obtenir le produit pur isolé.

Cette trilogie n'est-elle qu'un raisonnement logique, ou bien l'est-elle devenue a posteriori ?

Ce schéma peut subir des **variantes** (parabioses, circulation croisée, etc...), et quelques **retards** dans le temps à cause des difficultés chirurgicales, ou des insuffisances de l'analyse chimique (procédés trop brutaux, quantités trop faibles...), il n'en est pas fondamentalement modifié. Il s'agit bien d'un schéma applicable à toute démonstration d'une action hormonale, du moins dans l'esprit des pédagogues. Et c'est lui qu'il est demandé d'exposer implicitement au baccalauréat (par exemple, le sujet de Paris Juin 1974 et de nombreux autres), et souvent même explicitement comme dans le texte ci-dessous :

*"Au siècle dernier, des observations sur des malades diabétiques, présentant des altérations du pancréas, ont conduit à penser que cet organe joue un rôle hypoglycémiant. Les travaux, alors entrepris chez le chien, ont abouti à la conclusion que le pancréas agit effectivement en abaissant la glycémie, par voie endocrine, mais pas en tant que stockeur de glucose. Décrivez, dans son principe, la démarche expérimentale qui a pu être suivie lors de cette recherche."*

schéma demandé  
aux examens

**L'endocrinologie**, terme créé en 1909, a-t-elle connu une période calme et heureuse au cours de laquelle l'application systématique d'un **schéma expérimental toujours identique** a permis la découverte de **toutes** les hormones possibles ? Pour répondre à cette question on peut analyser comment, dans les années 60, on a découvert la calcitonine, ce que nous ferons plus loin. Mais reprenons les deux premiers termes de la trilogie.

## 2. ABLATION

### 2.1. Un geste d'intention théorique

Ce geste consistant à sectionner les liaisons et connexions d'un organe pour le retirer peut être guidé par une **intention théorique** : décider si cet organe exerce une action permanente, ou temporaire, sur le fonctionnement d'autres organes.

On peut cependant objecter que les modifications observées résultent de l'opération elle-même (choc, stress) et non de l'ablation. La comparaison avec un animal "témoin" opéré, mais sans réaliser l'ablation, permet de séparer les effets respectifs des deux causes. Mieux se-

un geste qui  
supporte des  
objections ...

rait de rétablir l'état initial ("contre épreuve"). Deux autres objections sont plus délicates. Retirer un seul organe implique d'adhérer à l'équivalence : **un seul organe = une seule fonction**. Si plusieurs organes agissent de manière identique, ne peut-il y avoir suppléance ? De plus, un organe ne peut-il **changer de fonction** en cas de besoin ? Attribuer les "effets" observés lors de l'ablation à la "cause" organe-absent implique finalement **une vue "mécanique"** de l'organisme. L'hypothèse non seulement de la polyvalence fonctionnelle, mais surtout de la suppléance et de la vicariance fonctionnelle interdisent toute conclusion.

Ces objections sont à situer dans le temps. L'idée de stress, ou l'idée voisine de "maladie opératoire", c'est-à-dire de maladie liée à l'opération elle-même, sont récentes. Cette objection n'a pu être faite dans le contexte des premières ablations.

Les autres objections peuvent sembler métaphysiques tant que l'on ne dispose pas des concepts de la **stéréochimie** permettant d'expliquer qu'un même produit peut agir sur des récepteurs différents ; ou qu'un même récepteur peut accepter des corps chimiques différents ; ou bien du concept de "**plaque tournante**" dans les réactions intermédiaires du métabolisme. Un jeune enfant diabétique insulino-dépendant non traité n'est pas seulement un individu qui fabrique peu ou pas d'insuline, c'est aussi un individu qui **équilibre autrement** ses fonctions grâce à une forte hyperglycémie qui n'est pas seulement une conséquence négative dans la mesure où elle permet une certaine diffusion cellulaire du glucose, et grâce à l'utilisation des lipides, ce qui a pour inconvénient d'augmenter le taux de corps cétoniques de manière dangereuse. La suppléance fonctionnelle trouve également des observations en physiologie nerveuse cérébrale : récupération partielle ou totale chez le jeune enfant après ablation.

... et suppose  
des organes spé-  
cialisés à  
fonction unique

Les premières ablations se font donc dans un contexte théorique d'**organes spécialisés à fonction unique**. Comme le rappelle un manuel plus récent:

*"On ne concevrait pas un tel contrôle si une même hormone se formait aux dépens de divers organes..." "Une hormone fait sentir une action spécifique, à laquelle aucune autre substance ne peut suppléer."*

*Les oestrogènes de synthèse étant connus et cités, les auteurs affirment cependant :*

*"qu'il est exclu que diverses substances naturelles de constitution différente puissent exercer la même action hormonale." (2)*

## 2.2. Un geste de chirurgien

Mais, en l'absence de l'idée d'hormone, ou même de l'idée de sécrétion interne, quelle intention peut présider à la décision de faire l'ablation puisqu'on ne peut vérifier le bien fondé d'une hypothèse ?

Pour les **chirurgiens** qui tentent l'ablation du goitre thyroïdien, il s'agit de retirer une excroissance, une "tumeur". Quand Kocher à Berne, et Reverdin à Genève réussirent régulièrement cette opération après l'invention de l'anesthésie, de l'antiseptie (Lister, 1867) et des pinces hémostatiques par Péan, il devint plus aisé d'observer des syndromes post-opératoires assimilables à l'idiotie et au crétinisme, autrement dit l'aggravation des symptômes liés au goitre.

Dans le cas de l'étude des surrénales également **la clinique a eu l'initiative.**

*"On attribue à Brown-Séquart le mérite d'avoir fondé l'endocrinologie en constatant en 1856 que l'ablation des surrénales entraînait la mort d'un animal. Il semble que ce soit là un fait qui se suffise à lui-même. On ne se demande pas comment a pu venir à Brown-Séquart l'idée de pratiquer l'ablation des surrénales. Dans l'ignorance des fonctions des surrénales ce n'est pas là une décision qu'on prend par déduction. Non, mais c'est un accident qu'on imite".*

L'impulsion vient de la clinique.

geste involontaire,  
non prémédité

*"En 1855, Addison décrivait la maladie qui porte désormais son nom et qu'il attribua à une atteinte des surrénales. A partir de là, on comprend les recherches expérimentales de Brown-Séquart." (...)*

*"Pour prendre un exemple dans le même ordre de recherches, tous les physiologistes font remonter à von Mering et Minkowski la découverte en 1889 du rôle de l'hormone pancréatique dans le métabolisme des glucides. Mais on ignore souvent que si ces deux chercheurs ont rendu diabétique un chien (...) **c'est bien involontairement.** C'est pour l'étude de la sécrétion pancréatique externe et de son rôle dans la digestion que le chien avait été privé de son pancréas. Naunyn, dans le service duquel l'expérience avait lieu, raconte que c'était l'été et que le garçon de laboratoire fut frappé du nombre inaccoutumé de mouches visitant les cages des animaux. Naunyn, en vertu du principe qu'il y a des mouches où il y a du sucre, conseilla d'analyser les urines du chien. Von Mering et Minkowski avaient donc, par la pancréatectomie, provoqué un phénomène analogue au diabète. Ainsi l'artifice permit la lucidité, **mais sans préméditation**".(3)*

Première remarque donc, la clinique et la clinique chirurgicale peuvent donner à observer ou créer de manière **imprévue** des situations ou des comportements pathologiques, dans lesquels les savants aperçoivent **après**

geste sans intention  
de curiosité  
scientifique ...

... tiré d'un  
long héritage de  
mythologie et  
d'empirisme

**coup** des actes expérimentaux **involontaires** qui peuvent alors être repris de manière systématique. Mais il y a plus.

"Il est certain en effet qu'avant de prendre la forme d'une technique et d'une méthode conjuguées, peu à peu codifiées, grâce aux résultats acquis par l'analyse critique des raisons de leurs échecs préalables, la pratique des excisions d'organes ou des décapitations d'animaux prolonge des gestes et des comportements de l'homme à l'égard de l'animal qu'**aucune intention de curiosité scientifique** n'animait originairement. Pour ne prendre qu'un exemple, quand nous venons de lire chez un auteur que Whytt est le premier à avoir décrit les mouvements d'une grenouille décapitée (1764), nous trouvons chez quelque autre que Bohn décrit les effets de semblables mutilations en 1686, et puis nous découvrons que Léonard de Vinci a relaté une expérience de cet ordre. Il ne manque, pour remonter plus avant en la matière, qu'une érudition qui d'ailleurs, si riche qu'on veuille la souhaiter, ne suffirait pas à faire comprendre par quelle conversion ou sublimation d'**agressivité** ou de **volonté de puissance** des conduites de défense ou des rites magiques ont abouti au geste expérimental de décollation, d'extirpation ou d'excision dans la paix et la propreté du laboratoire. La vivisection remonte à la nuit des temps, c'est-à-dire à la nuit des instincts et des rêves. Elle exploite dans ses premières et plus frustes tentatives, les effets de gestes dont la préméditation était différente ou même dépourvue de préméditation. Sectionner la tête d'une vipère comme l'ont fait Redi ou Fontana, c'est imiter une réaction de conservation. La bêche du jardinier, la faux du moissonneur, l'arme du chasseur ont devancé le scalpel du physiologiste, le couteau du sacrificateur de l'haruspex étrusque a fait de même. Tirant d'un long héritage fait de **mythologie** et d'**empirisme** ses actes élémentaires et ses outils primitifs, il est vraisemblable que la vivisection en tire aussi les motifs d'abord obscurs du choix des premiers animaux qu'elle utilise. (...) Pourquoi tant de grenouilles, de vipères, de salamandres, de lézards, de tortues dans les livres de physiologie du XVIII<sup>e</sup> siècle ? On dira que c'est chercher bien loin ce qui est tout près. Tout paysan a pu constater la résistance d'un bacrancien ou d'un reptile à la mutilation et la survie, c'est-à-dire l'agitation insolite de leurs tronçons séparés. Or qui dit vivisection dit exigence du maintien de la vie le plus longtemps possible. Mais on se trompe ici, comme sur bien d'autres points où ils sont en cause, en croyant à la naïve simplicité des observations et des réactions des paysans. Il faut n'avoir pas vécu, enfant, à la campagne, pour ignorer l'étrange et complexe sentiment qu'on éprouve à pouvoir regarder à loisir, enfin coupé dans sa fuite et livré au jour, le vivant qui se cache ordinairement dans la terre, dans l'herbe ou dans l'eau, le vivant insaisissable, soit

la vision est  
une violence

*qu'on ne puisse, soit qu'on ne veuille le saisir intact, parce qu'il est dangereux ou répugnant. Plus l'animal échappe à l'homme, plus il est mystérieux, et plus il stimule la curiosité, plus aisément il déclenche une frénésie de voir, puis de voir plus avant. Et comme il a fallu ici une violence préalable pour permettre la vision, quoi d'étonnant que la **vision elle-même devienne**, comme le dit M. Bachelard, **une violence.**" (4)*

### 2.3. La technique d'ablation est-elle désuète ?

L'ablation, geste devenu procédé technique à intention expérimentale, geste qui s'inscrit dans un cadre méthodologique d'analyse, qui appelle nécessairement une contre-épreuve et une épreuve témoin, geste qui tire ses origines d'un long héritage fait de mythologie et d'empirisme clinique, **est-elle actuellement désuète** et abandonnée ? En fait, les **modalités de l'ablation** se sont modifiées. On tente de la rendre plus ponctuelle, microscopique si possible, pour retirer quelques cellules d'un organe, ou des cellules disséminées en plusieurs endroits de l'organisme ; plus spécifique également, plus rapide, et si possible réversible. Les "scalpels chimiques" selon l'expression de Cl. Bernard, c'est-à-dire la gamme très variée des poisons et substances toxiques répondent en partie à cette intention. Mais le **raisonnement analytique** est toujours le même. Pour repérer les substances que l'on suppose actives, il faut pouvoir comparer les effets de leur **présence** et de leur **absence** sur certains tissus. Et les objections précédentes demeurent.

## 3. TRANSPLANTATION

### 3.1. Greffe et transplantation

ne pas confondre  
greffe et  
transplantation

Les mots de greffe et de transplantation sont fréquemment employés en équivalence dans la description d'expériences d'endocrinologie. Il faudrait distinguer la **greffe** de lambeau tissulaire ou d'organe entier qui se fait sans reconnection vasculaire, et la **transplantation** qui implique la reconnection des vaisseaux et des conduits des organes. La clinique chirurgicale apporte son lot de confusion, surtout depuis les réussites récentes, dues à la microchirurgie, de réimplantation de membres accidentellement sectionnés. Il s'agit alors de remettre à la **même place** le membre et de rétablir autant que faire se peut **toutes** les connections : os, tendons, vaisseaux et nerfs.

Les deux mots tirent leur origine des pratiques techniques utilisées chez les végétaux (graphium = poinçon ;

transplanter  
pour  
démontrer

transplanter, implanter = plante). La très grande ancienneté de ces pratiques empiriques confère une sorte de banalité et d'évidence à l'idée de greffer. Pourquoi ne pas le faire chez les animaux ? En fait, l'une des premières transplantations d'organe dues à Schiff en 1884 a été faite dans une **intention théorique**, et avec des modalités très précises sans ressemblance ni avec les pratiques végétales, ni avec la chirurgie. Il s'agissait de **déplacer** les corps thyroïdes d'un chien en les plaçant dans la cavité abdominale, et en **ne rétablissant que les liaisons vasculaires**, et ceci afin de décider entre deux hypothèses :

- ou bien l'action de la thyroïde dépend étroitement de la situation de la glande et des rapports anatomiques qu'elle soutient avec les autres organes  
- ou bien elle agit par la sécrétion d'une substance versée dans le sang.

La réussite du déplacement **contredit** la première hypothèse, et est en accord avec la seconde.

### 3.2. La première transplantation d'organe

Il s'agit, avec Schiff, de la première expérience qui conduira au concept d'hormone, sans toutefois ni **le mot**, ni **la chose** (l'injection d'extraits purifiés). Une autre transplantation au moins a eu lieu antérieurement.

*"En pratiquant la transplantation dans l'organisme animal d'une glande vasculaire sanguine, Schiff ignorait qu'il répétait un geste ancien, antérieur même à ses premières expériences en 1859, mais alors **singulier**, à tous les sens du terme, et entre temps oublié. En 1849, A.A. Berthold publiait (...) les résultats d'une expérience de transplantation des testicules de la cavité péritonéale de quelques poulets. Il avait constaté que les sujets avaient continué à se comporter sexuellement en coqs ; à l'autopsie la glande s'était révélée vascularisée, mais non innervée. Il concluait que le comportement sexuel est sous la dépendance d'une substance que le testicule fournit par le sang à l'organisme entier, sans que le système nerveux y intervienne obligatoirement".*

un geste singulier,  
isolé, sans  
analogue chez  
les animaux

Mais ici à nouveau posons la question : **quelle intention** peut guider la décision de faire cette transplantation en **l'absence de l'hypothèse d'une action chimique** par voie sanguine ? Berthold donne lui-même la réponse dans ses conclusions.

*"De ces expériences découlent donc pour la physiologie les résultats généraux suivants :*

*1) Les testicules appartiennent aux organes transplantables : ils s'implantent à nouveau après avoir été enlevés du corps ; le testicule peut même être transféré d'un individu à un autre, et sa reprise peut se faire aussi bien à l'emplacement où les testicules avaient été enlevés qu'en un autre tout à fait étranger, en particulier*

sur les parois des intestins.

2) Le testicule transplanté continue à croître, même à une toute autre place, dans sa propriété particulière d'organe séminifère, les canaux séminaux se dilatent et s'agrandissent et remplissent leur fonction normale en sécrétant une semence tout à fait habituelle caractérisée par les spermatozoïdes. Nous trouvons ici la situation identique à celle des plantes où le greffon continue à pousser selon sa propriété spécifique sur le sauvageon et produit des fruits qui correspondent à lui et non pas au sauvageon." (5)

Ici l'analogie avec les végétaux sert de guide initial et permet une observation non préméditée.

les pratiques  
végétales servent  
de guide

### 3.3. Un nouvel archétype

"Il est indispensable de souligner à quel point l'idée de transplanter un organe, et non simplement de le retirer, manifeste une **nouvelle façon de se représenter** l'organisme vivant. Avec Berthold, avec Schiff, la recherche du physiologiste illustre un nouveau type, et même en un sens un **autre archétype** de comportement opératoire. La vivisection avait, jusqu'alors, recherché des mécanismes fonctionnels en pratiquant la mutilation, la division des organismes. Elle avait créé des animaux qu'on oserait dire analytiques. Désormais, obéissant inconsciemment à un impératif démiurgique, à une inspiration antiphysique, le physiologiste expérimentait en créant des **animaux utopiques**, en mettant la fantaisie au service de la raison." (6)

D'une certaine façon, le physiologiste crée son objet, s'appuyant sur une **représentation** du vivant non plus topographique, mais **topologique**. Ce qui importe ce n'est plus la disposition, mais la relation fonctionnelle. Le geste apparemment simple de la transplantation manifeste une toute **autre approche théorique**. Il constitue beaucoup plus qu'une simple "contre-épreuve" méthodologique. Une technique n'a pas besoin d'être très compliquée, ni très spécialisée pour impliquer une position théorique totalement nouvelle.

créer de animaux  
utopiques dans  
un but  
démonstratif

### 3.4. Restrictions et objections à la démonstration

Plusieurs **restrictions historiques, théoriques ou techniques** existent à cette possibilité de transplanter.

. Dans une conception empirique on pourrait penser transplanter n'importe quel organe... pour voir s'il est transplantable. En fait, dans le cadre de l'équivalence anatomique : un organe = une fonction, on n'a longtemps transplanté que ce que l'on nomme depuis J. Muller en 1849 les **glandes vasculaires sanguines**, c'est-à-dire les

glandes sans canal excréteur. Pour préciser cette idée, rappelons que la transplantation de l'hypophyse, qui nous apparaît actuellement très difficile à cause de sa situation, n'a longtemps pas été concevable car elle était considérée comme faisant partie du système nerveux et non pas des "glandes". Il a d'ailleurs fallu distinguer une hypophyse antérieure et une hypophyse postérieure, aux modalités d'action par voie sanguine fort différentes.

. On ne peut transplanter la glande **n'importe où** dans l'organisme. Situer l'organe sur la veine porte hépatique revient, à cause des fonctions du foie, à **briser une boucle de régulation**. Cette décision méthodologique doit s'inscrire dans le cadre de la démonstration d'une interaction entre deux glandes : l'hypophyse et l'ovaire par exemple.

. Les difficultés chirurgicales de l'ablation puis de la réimplantation peuvent être contournées par les techniques de circulation croisée, sorte de perfusion in situ, ou des techniques plus fines de perfusion.

. Les difficultés, voire l'impossibilité, de réimplanter des cellules isolées de manière sélective sont parfois contournées par l'implantation de **tumeurs** bénignes développées aux dépens de ce type cellulaire. Et cette dernière technique supporte des objections, quant à sa valeur démonstrative. Les cellules tumorales n'ont-elles pas un **fonctionnement dévié** ?

l'implantation  
de tumeurs  
comme technique  
substitutive

### 3.5. Trois éléments de la définition d'une hormone

Mais surtout, cette technique de transplantation s'inscrit dans les trois éléments suivants de la **définition d'une hormone** :

- source unique de sécrétion
- action à distance
- par l'accès à la circulation sanguine générale.

Pour le **premier point**, les progrès techniques conduisent à adopter une optique résolument pluricellulaire et poly-fonctionnelle à propos des sources de sécrétion.

*"Il apparaît que les tissus les plus divers, même ceux qui assurent d'autres fonctions peuvent aussi produire certaines hormones. Qui eût dit, il y a dix ans à peine, que le cerveau pût un jour être considéré comme une glande endocrine." (7)*

La notion de cellule spécialisée s'est dissoute. La technique de transplantation devient donc délicate à utiliser.

Pour le **second et le troisième point**, l'idée d'accès à la circulation sanguine générale a longtemps conduit à exclure ce que l'on a parfois nommé les "hormones

locales". Dans les années soixante, certains auteurs considéraient comme abusif de ranger parmi les hormones les médiateurs synaptiques telle l'acétylcholine. La difficulté semblait résider dans une conception de la **distance** restée prisonnière de l'anatomie. Le concept de distance est un concept central de la topologie, et prend un sens strictement fonctionnel. Mais en donnant au concept d'hormone le sens de "signaux chimiques émis par certaines cellules et reçus par d'autres" **on dissout totalement ce concept** en lui donnant une extension trop grande. Toutes les cellules ne sont pas à la même distance fonctionnelle les unes des autres et c'est une condition de leur action. Nous y reviendrons à propos de la somatostatine. Ici également la technique de transplantation **délocalise trop fortement** la source de sécrétion. Son champ démonstratif doit se restreindre. Bien évidemment on peut greffer les cellules de Leydig au niveau du dos, mais la testostérone agit aussi localement dans le testicule.

voir fonctionner  
la méthodologie  
expérimentale

Avant d'examiner le troisième point de la trilogie, c'est-à-dire l'obtention d'extraits purifiés et leur injection, point qui sera l'occasion d'étudier le problème de l'endocrinologie chimique, nous voudrions **voir fonctionner** la méthodologie expérimentale sur un exemple très récent dans le cadre d'une physiologie maîtresse de ses moyens, et non plus sur des exemples anciens qui nous conduisaient à l'origine historique des techniques et de l'enchaînement méthodologique. Ce détour nous conduira à étudier l'importance d'un nouveau type de technique visant à **rendre visible** les hormones, et ces techniques nous conduiront elles-mêmes à discuter le problème de la **localisation** et de la **distance fonctionnelle d'action** des hormones.

#### 4. LA CALCITONINE DECOUVERTE PAR UNE PHYSIOLOGIE MAITRESSE DE SES MOYENS.

La calcitonine offre l'exemple d'une hormone "traditionnelle" découverte dans un contexte théorique et technique très différent de celui du début du siècle. Curieusement, c'est à nouveau la thyroïde, qui avait inauguré les découvertes endocrinologiques 80 ans auparavant, qui fournit cette donnée nouvelle.

étude de la  
régulation de  
la calcémie

La calcitonine fut découverte à propos de l'étude de la **régulation** du niveau de calcium dans le sang. Un niveau constant de calcium, ainsi que de phosphate, est indispensable pour la construction des os et diverses fonctions cellulaires. Il était connu que deux facteurs agissent sur ce niveau de calcium : la vitamine D qui agit sur l'augmentation du Ca provenant de la nourriture au

niveau des cellules intestinales, et une hormone parathyroïdienne qui augmente le taux de calcium libéré dans le sang à partir des os, et favorise la réabsorption rénale du calcium. Des expériences avaient établi que l'activité de la parathyroïde dépend d'un "feed-back". Quand le Ca chute en dessous du niveau normal, la glande augmente sa sécrétion, quand le taux augmente au dessus de la normale, la sécrétion hormonale s'arrête. Ce rétrocontrôle uniquement négatif était-il suffisant pour protéger l'animal contre une augmentation dangereuse du taux de calcium sanguin ? P. Sanderson, et D.H. Copp supposèrent, à la suite d'une série d'expériences d'ablation et de perfusion, l'existence d'un contrôle également positif par le jeu d'une hormone qu'ils nommèrent calcitonine, en 1962. (8)

soupçonner  
l'existence d'une  
hormone  
circulante puis  
la localiser

Si le soupçon de l'existence d'une hormone provient d'expériences réalisées dans le cadre conceptuel des **mécanismes cybernétiques de régulation** et d'intégration de l'organisme, il restait à trouver la (ou les) sources. Copp et ses collaborateurs avaient perfusé le complexe thyroïde-parathyroïde pour prouver l'existence d'un facteur hypocalcémiant. En 1963, Hirsch situe son origine dans la thyroïde.

C'est alors l'**histologie** et l'**anatomie comparée** qui deviennent les axes de recherche. Il existe dans la thyroïde une deuxième catégorie cellulaire décrite pour la première fois en 1877 par Baber et nommée cellules "C" ("claires") mais dont la fonction n'était pas connue.

A. Pearse et ses collaborateurs montrèrent qu'elles produisent la calcitonine en localisant cette hormone par immunofluorescence chez le chien et le porc en 1967.

La présence de calcitonine chez les Vertébrés non mammaliens est démontrée par Copp et ses collaborateurs dans les corps ultimobranchiaux des Poissons, des Oiseaux puis, plus tard des Amphibiens. Ce sont des formations indépendantes de la thyroïde issues de la dernière paire de poches branchiales. Chez les Mammifères ces corps fusionnent avec la thyroïde. L'identité de ces deux catégories cellulaires étant établie, on nomme encore les cellules "C" des cellules ultimobranchiales. Etape suivante, la calcitonine a été extraite, purifiée et analysée à partir de thyroïdes de Porcs. C'est un polypeptide de 32 acides aminés qui a par ailleurs été synthétisé dès 1968.

Les cancers médullaires de la thyroïde, décrits pour la première fois en 1959 se sont révélés dériver uniquement des cellules "C". Ces cellules tumorales sécrètent effectivement de la calcitonine. Mais on a montré plus récemment (1976) qu'elles sécrètent également d'autres substances telles que : somatostatine, ACTH, prostaglandine, sérotonine. Cette situation est-elle uniquement pathologique ? (9)

**Les modifications les plus notables** apportées par cet

la trilogie  
démonstrative,  
dans un ordre  
différent

l'anatomie  
comparée comme  
substitut  
d'analyse

exemple consistent à remonter du paramètre réglé, le taux de calcium sanguin, au mécanisme réglant en feedback les hypercalcémies provoquées expérimentalement. Une action hormonale étant postulée, il fallut remonter de l'hormone circulante à la localisation de sa source. Les éléments de la trilogie démonstrative sont présents mais mis en oeuvre dans un ordre différent. Il s'y ajoute deux autres principes méthodologiques énoncés et utilisés dès l'époque de Cl. Bernard : l'**histologie**, avec sa gamme de colorations spécifiques et qui permet le soupçon fonctionnel, l'**anatomie comparée** qui est un substitut de méthode expérimentale, en proposant des variations à observer. Il s'y ajoute enfin une technique totalement nouvelle, l'immunohistochimie qui apporte un progrès considérable. Nous allons donc détailler celle-ci.

## 5. DES TECHNIQUES QUI RENDENT VISIBLE : IMMUNOFLUORESCENCE, RADIOIMMUNOLOGIE.

### 5.1. Rendre visibles les hormones

Si l'idée de **rendre visible** un corps chimique, ici une hormone, apparaît simple, elle pourrait sembler techniquement impensable. La réalisation de cette idée implique un détour important et l'adhésion à de nombreux concepts de chimie-physique et d'immunologie. L'endocrinologie, comme beaucoup d'autres branches de la biologie est redevable à l'immunologie pour des progrès tant techniques que conceptuels.

un détour  
important

Le progrès technique le plus important, inventé par Coons en 1955, a été l'utilisation d'anticorps spécifiques dirigés contre telle ou telle molécule hormonale, qu'elle soit peptidique, et donc antigénique par elle-même, ou de nature chimique plus simple (stéroïde par exemple) mais qui, couplée à des substances antigéniques, devient un haptène. En utilisant la remarquable spécificité des anticorps, (améliorée encore par les anticorps monoclonaux), on fabrique ainsi des molécules qui vont se fixer avec une grande spécificité sur ces hormones. Les anticorps antihormones n'étant pas visibles par eux-mêmes, on fixe alors soit une substance fluorescente, visible en microscope optique, soit des isotopes radioactifs. Cette technique est encore améliorée en agissant non pas directement, mais de manière **indirecte**, c'est-à-dire en fabriquant des anticorps anti-anticorps. On aboutit alors à une **amplification** des dimensions de l'objet à observer, ce qui est indispensable pour les structures dont les dimensions sont inférieures au pouvoir séparateur du microscope utilisé (cytosquelette par exemple, et molécules).

## 5.2. Les avantages et les risques de cette technique

Les **avantages de la méthode** sont nombreux :

- une très grande **spécificité** de marquage
- possibilité de **repérage** dans un mélange complexe
- possibilité de **dosage**, même dans un mélange
- et très grande **sensibilité** de ce dosage due aux radio-isotopes
- **visibilité** des structures, même celles de dimensions inférieures au pouvoir séparateur, grâce à l'amplification
- et donc possibilité de **localisation** de l'hormone, et de sa source
- au plan **clinique** cette technique permet une très grande **précocité** du diagnostic, et un relativement faible coût, ce qui est indispensable dans les situations d'**urgence**. Et ce concept d'urgence est un concept proprement médical.

avec de nombreux avantages

mais des risques d'artéfacts

Il existe bien évidemment un certain nombre de risques d'erreur nécessitant des épreuves de contrôle. Le principal risque est celui de **réactions croisées**. La séquence des cinq acides aminés constituant les enképhalines, par exemple (Met enképhaline et Leu enképhaline) est totalement incluse dans celle d'autres peptides opiacés tels la bêta endorphine, ou la bêta lipotropine. Il est donc possible qu'un anticorps anti-enképhaline se fixe sur l'une des deux autres hormones. Par prudence, toute conclusion en immunohistochimie devrait se formuler de la façon suivante : "la structure possède une réactivité immunologique semblable, ou typique de tel peptide".

cette technique permet la mesure in vivo

Cette technique rend donc désuètes les anciennes techniques de "dosage biologique". Cette possibilité de doser "in situ" a en particulier permis de séparer à partir de 1966 deux formes de diabète : le diabète insulino-dépendant, et le diabète insulino-résistant. **La mesure** est souvent, en science, la condition indispensable d'un progrès. Dans le second cas, l'insulinémie est normale. La cause est autre.

et rend visible

Cette technique **rend également visible** les hormones, mais cette question de la visibilité est plus complexe à examiner.

"Le savoir scientifique est **conquis, construit, constaté**." Cette formule résume parfois la hiérarchie des actes épistémologiques qui président à la production du savoir scientifique. Elle nous fait sortir du schéma scolastique dérivé de Claude Bernard et qui condense le positivisme de ce savant : observation, hypothèse, expérience, etc...

- **Conquis** contre les représentations antécédentes qui font obstacle (représentation du vivant comme machine par exemple),

- **construit**, par la création, ici par exemple, d'objets biologiques nouveaux que sont les animaux avec des organes transplantés qui servent d'outil de démonstration,

- **constaté**, c'est-à-dire que l'on dispose du produit chimique pur, isolé, ou observable in situ.

pédagogiquement  
rendre évident  
en rendant  
visible

**L'empirisme** survalorise le fait de voir. Il en fait même un point de départ de l'activité scientifique. Souvent la pédagogie emboîte le pas. Elle inaugure l'enseignement par une observation, **une mise en évidence**. Le concept d'hormone a permis l'invention de techniques et rendu possible certaines observations qui ne l'auraient pas été sans lui. Pédagogiquement ces observations deviennent premières. Imaginons donc de décrire en premier au titre "**d'expérience de mise en évidence**" d'une hormone une observation en immunofluorescence. Cette technique implique non seulement l'adhésion théorique au concept d'hormone, mais pratiquement l'obtention du produit pour fabriquer les anticorps. Elle n'a donc pas le même statut qu'une expérience de transplantation. Si le lapin sort du chapeau, c'est parce qu'on l'y a mis ! La transplantation, elle, permet de trancher entre plusieurs hypothèses. Et puis voir, ce n'est que voir. Quelle est la **fonction** des corps chimiques que l'on voit ? Débuter par la mise en évidence d'une hormone en immunofluorescence aboutit à ce que de nombreux enseignants ont décrit comme **dogmatisme**. L'évidence ne résulte pas de l'observation elle-même, mais de tout ce que l'on a admis sans le dire pour réaliser cette observation.

rectifier le  
concept  
d'hormone

**Ne dévalorisons pas** pour autant le fait de voir. Ce n'est pas seulement un point d'arrivée qui satisfait notre goût des images et notre volonté pédagogique de convaincre par l'évidence du visible. **Localiser** le corps chimique ouvre un nouveau champ de recherche et **rectifie** le concept d'hormone. Le cas de la Somatostatine le montre.

## 6. LA SOMATOSTATINE ET LA NOTION DE DISTANCE D'ACTION

### 6.1. Une hormone classique

Elaborée par l'hypothalamus, plus précisément par des neurones à fonction sécrétrice, la somatostatine est déversée dans la circulation porte hypothalamo-hypophysaire. Des cellules de l'adénohypophyse sont sensibles à son action. C'est un peptide de 14 acides aminés qui régule la sécrétion de deux hormones hypophysaires : elle inhibe la sécrétion d'hormone somatotrope (hormone de croissance), ainsi que la sécrétion de thyroïdostimuline (TSH). Dans ce sens, la somatostatine correspond à la définition classique des hormones (10).

Les méthodes d'immunofluorescence ont révélé de nombreuses autres localisations de cette hormone en dehors de l'hypothalamus : muqueuse de l'estomac, du pylore, du

une hormone qui agit aussi à distance

jejunum, du pancréas, de divers noyaux de l'encéphale, de certains neurones sensoriels situés dans les ganglions rachidiens. Dans l'estomac, elle s'oppose aux effets de la gastrine en inhibant la sécrétion d'acide par les cellules spécifiques de la paroi. Dans le pancréas, elle agit de même à très faible distance, sur les cellules voisines, dans les îlots de Langerhans. On nomme **Paracrine** ce type de sécrétion, qui n'emprunte pas la circulation sanguine générale.

Le tableau se complique donc selon la **distance fonctionnelle d'action** :

- sécrétion endocrine, dans la circulation sanguine générale,
- sécrétion paracrine, vers la ou les cellules voisines.

Ce deuxième type de sécrétion correspond également au cas des médiateurs du système nerveux (neuro-médiateurs = neurotransmetteurs). Cette faible distance d'action ne se conçoit qu'en fonction de modalités de destruction ou d'inactivation rapides. Elle explique que le même produit puisse agir de manière différente et sans interférence dans l'intestin et dans le cerveau. Plusieurs peptides intestinaux font ainsi : la cholecystokinine, le VIP, les enképhalines.

## 6.2. Distinguer hormone et médiateur

A partir de cette distance d'action, et en ajoutant éventuellement les critères de modalité de sécrétion (continue ou par petites unités discrètes), de vitesse et de durée d'action, on pourrait caractériser et distinguer les hormones et les médiateurs (du système nerveux ou non). La somatostatine et les corps du même type seront donc hormone ou médiateur selon le lieu. Mais c'est également le cas de la testostérone qui agit aussi localement dans le testicule lui-même. Ceci n'est une difficulté que pour ceux qui identifient le concept et la "chose", c'est-à-dire, ici, le corps chimique "en soi". Les amateurs de classification avanceront d'autres cas intermédiaires : que faire des TRH, LRH sécrétés par les neurones hypothalamiques dans le système porte hypothalamo-hypophysaire et dont le rayon d'action est limité ? Mettons au premier plan la notion de molécule-signal et laissons de côté ces problèmes de distance.

une géographie hormonale

En fait, le concept de milieu intérieur avait peut-être trop fortement généralisé l'action hormonale. Il faut revenir à une certaine **localisation**, une certaine **compartimentation** du milieu intérieur, une géographie hormonale. Le corps chimique est sécrété **en un lieu donné**, à un **moment donné**, et à une certaine **distance fonctionnelle d'action**. Peut-être est-ce une des raisons des échecs de l'emploi de l'interféron. Il faudrait le déposer en un lieu donné, à un moment donné.

la cellule  
endocrine,  
paracrine,  
autocrine

Le tableau se complique encore si l'on considère le système immunitaire et les cellules immunocompétentes. On décrit alors des sécrétions qui agissent sur les cellules voisines, mais aussi sur elles-mêmes : sécrétions dites **autocrines**. Quel nom donner aux interleukines par exemple : médiateurs, hormones, ou un autre nom ? Mais les neurones présentent également une sécrétion autocrine. Revenons donc maintenant au troisième terme de la trilogie, mais dans une perspective plus large.

## 7. L'ENDOCRINOLOGIE CHIMIQUE

### 7.1. Une substance, mais pas n'importe laquelle. Notion de sécrétion

une endocrinologie  
théorique est-elle  
possible ?

L'endocrinologie chimique pourrait sembler se suffire à elle-même, en admettant que, si l'on tient la substance chimique, on tient l'hormone. Si, de plus, on peut analyser la raison chimique de son action, une endocrinologie théorique se dessine qui sera susceptible d'inventer des corps et de prévoir leur action.

Bien évidemment, de nombreuses difficultés ont très souvent retardé l'obtention d'un produit chimiquement pur :

- substances en très faible concentration (milli, micro, nanogramme par millilitre),
- substances de nature souvent protéique, aisément détruites par les procédés d'analyse,
- substances présentes dans un mélange très complexe tel le sang, ou l'intérieur d'une cellule.

On pourrait dire que, d'une certaine façon, il s'agit de difficultés "extérieures" à la physiologie elle-même. "Si" la chimie avait été historiquement plus avancée, l'accès à la substance aurait été plus immédiat. Il est toujours tentant de réécrire l'histoire et de supposer que, dans ce cas, on aurait pu se dispenser de l'invention des transplantations. La Calcitonine nous fournit l'exemple d'une découverte hormonale faite dans le contexte d'une chimie maîtresse de ses outils d'analyse. **Pédagogiquement**, en tout cas, le raccourci est envisageable : après la description d'expériences du type présence/absence, analysons le résultat d'injections du produit pur.

le concept  
n'est pas la  
chose seulement

Mais le concept n'est pas **la chose seule** (la substance dans ce cas). Si les notions de source unique et de distance **doivent être rectifiées**, elles ne doivent pas, pour autant, être abandonnées, car elles entrent dans la définition du concept, et, de plus, il reste la notion de **sécrétion à l'extérieur des cellules**. Cela exclut donc :

- les produits d'extraction d'un organe qui auraient une

action pharmacodynamique, mais que l'on n'a pas encore caractérisés, sinon dans le sang, du moins à l'extérieur d'une cellule,

- les produits dont l'action pharmacodynamique est connue, mais dont la présence et la fabrication par tel organe précis n'a pas été montrée.

démontrer que le produit est sécrété

Dans les années soixante, certains auteurs contestaient au Thymus l'appellation de glande endocrine parce que le "principe actif" supposé par certains biologistes n'avait pas été démontré comme produit d'excrétion dans les conditions physiologiques. On a décrit récemment trois hormones et deux "facteurs" thymiques. Le terme prudent de facteur souligne que leur signification physiologique exacte reste à élucider, et ceci bien qu'on les ait analysés chimiquement, synthétisés, qu'on ait démontré leur action sur les lymphocytes T mais in vitro, démontré leur présence dans le sérum (FST = facteur thymique sérique) et leur absence après thymectomie.

Ainsi, on pourrait contester la priorité de la sécrétine comme "première hormone" connue, non seulement parce que sa composition chimique n'a été analysée que tardivement, non seulement parce que le travail de Schiff a inventé dès 1884 le principe et la réalité d'une expérience prouvant la présence d'une action chimique à distance, mais parce que après les travaux de Brown-Séquard réalisant l'ablation des glandes surrénales, puis l'injection de sang d'animal normal à un animal surrénalectomisé, Vulpian montrait que les cellules médullaires se coloraient différemment des cellules corticales, grâce au chlorure de fer, laissant supposer la **sécrétion** d'une substance chromogène. En 1894, Olivier et Sharpey-Schafer montrent les effets hypertenseurs d'extraits aqueux de la surrénale. En 1897, Abel isole une substance hypertensive de la médullo-surrénale qu'il nomme épinéphrine. En 1901, Takamine obtient sous forme cristallisée une substance qu'il nomme **adrénaline**, et dont Aldrich donne la formule la même année.

l'hormone doit être isolée, analysée, localisée, sécrétée, active

L'adrénaline est donc la **première hormone connue**, c'est-à-dire non seulement **isolée** et **analysée** chimiquement, mais également **localisée**, dont la **sécrétion** est reconnue et les **effets** physiologiques caractérisés in vivo. Les cinq caractères sont présents. (11)

Du mot **sécrétion**, on peut noter que le dictionnaire le rapproche de **secret** et **secrétaire**. En un sens, en effet, la glande prélève et garde certains produits du métabolisme pour réaliser ses synthèses. En un autre sens, actuellement dominant, elle les déverse, et, comme le secrétariat, elle **informe**.

### 7.2. L'administration d'extraits glandulaires, origine possible de la notion d'hormone ?

les extraits  
revitalisants

L'utilisation par voie orale ou par injection sous-cutanée d'extraits glandulaires semble très ancienne. On note, dans la Chine ancienne, l'utilisation d'extraits testiculaires. Etaient-ils réellement actifs ? La question principale n'est peut-être pas là, mais plutôt celle-ci : quelle représentation se faisait-on de cette action ? Citons, plus près de nous, les célèbres injections d'extraits testiculaires que Brown-Séquart s'est fait à lui-même, non pas pour rappeler l'ironie qui les ont entourées, mais pour chercher la conception qu'elles impliquent. Le produit, que l'on ne nommait pas encore hormone, confère à l'individu une certaine **revitalisation**. Il est considéré comme une substance nutritive et stimulante. Il possède en lui-même la force de son action. Nous sommes loin de la conception d'un message chimique. En fait, ces expériences, qui s'inscrivent dans une longue tradition d'actions supposées dynamogènes, ont masqué le fait que Brown-Séquart voyait dans les sécrétions internes des substances grâce auxquelles les cellules sont rendues solidaires les unes des autres par un mécanisme autre que les actions du système nerveux. (12)

de la "vertu" de  
l'extrait à  
l'étude  
analytique

L'attitude analytique consistant à chercher dans des extraits le ou les produits actifs, à les isoler, et à penser même qu'un seul corps chimique peut avoir le même effet que l'extrait total, est possible depuis les changements conceptuels introduits en chimie organique au début du XIX<sup>e</sup> siècle. On ne cherche plus les "vertus" globales et mystérieuses d'extraits ou de mélanges, et ceci est une **condition de possibilité** pour la recherche d'hormones. Mais elle ne suffit pas. On ne voit pas se dessiner une origine empirique du concept d'hormone dans cette direction du moins. Le cas de l'iode et de son action étant particulier.

### 7.3. La spécificité d'action

la spécificité  
est dans  
l'hormone

Cette question nécessiterait de longs développements à propos des concepts de la stéréochimie, ce que nous ne ferons pas ici. Pour l'essentiel, l'hormone n'est donc ni une substance nutritive, ni un stimulant, ni un revitalisant, mais un corps chimique qui contrôle à distance l'activité de certaines cellules **électivement** sensibles à son action. D'une manière regrettable, on nomme **organe-cible** ces cellules, semblant prêter une destination sinon une intention à l'hormone-projectile, détournant paradoxalement le regard de la cible passive, pour le tourner vers le projectile actif dirigé. En fait, on a d'abord, et de manière durable, pensé la spécificité de cette ac-

tion dans la constitution chimique de l'hormone elle-même, d'où l'idée encore fortement ancrée dans les années soixante "qu'aucune autre substance ne peut suppléer".

ou dans son  
interaction avec  
le récepteur

Et pourtant l'explication de l'action du diétylstilboestrol par Dodd a introduit dès 1938 les principaux concepts de la stéréochimie et le célèbre modèle clé-serrure de sûreté en endocrinologie, **renversant** ainsi l'idée de spécificité et mettant en avant le concept de **récepteur**. Ce n'est plus l'existence seule d'une hormone, mais l'**adaptation** de l'hormone à un récepteur qui définit la spécificité et les modalités de l'action. Ce modèle ouvre la possibilité de **tromper** le récepteur soit avec des molécules agonistes (ayant le même effet), soit antagonistes (antihormones) L'existence réelle de telles molécules définit tout autant la possibilité d'activation (sens strict du mot hormone) que d'**inhibition**. Notons au passage qu'un mot scientifique inventé initialement de toute pièce, et minutieusement choisi, peut changer de sens et devenir un éventuel obstacle. Ce modèle définit également la possibilité que plusieurs corps chimiques agissent sur le même récepteur, ou inversement qu'une même hormone ait plusieurs actions différentes sur des récepteurs différents, autrement dit la possibilité de **vicariance** et de **polyvalence** fonctionnelle.

la base de  
l'enseignement

La puissance explicative de ce modèle statique, complété par les conceptions dynamiques de l'allostérie (13), **risque** de mettre au second plan les questions de la source de sécrétion, de ses modalités d'inactivation... En intitulant un enseignement sur les hormones "communication intercellulaires par molécules informatives" et en abordant essentiellement les messages chimiques et les récepteurs en premier, a-t-on défini la nouvelle **base** de tout enseignement de physiologie ou simplement la **condition de possibilité** de certaines explications ? Le concept pédagogique de base est parfaitement ambigu : dans la métaphore architecturale, la base supporte l'édifice, mais, en archéologie, la base, c'est-à-dire l'antériorité chronologique qui explique la succession historique, n'apparaît qu'à la fin du travail. L'image architecturale n'intègre ni l'idée de rectification du savoir, ni celle de réorganisation.

la métaphore de  
l'architecte ou  
de l'archéologue

Comme nous l'avons déjà dit, le concept de milieu intérieur d'une part, les techniques de transplantation d'autre part, l'analyse chimique in vitro enfin, privilégient une **représentation de l'organisme** constitué d'un seul compartiment liquidien homogène. Si l'utilisation du vocabulaire de la théorie générale de l'information avait un autre intérêt que celui de fournir un beau titre pédagogique, ce serait peut-être de coupler fortement aux termes de signal, de code, d'émetteur, de récepteur, la nécessaire question des **canaux** et des **réseaux** de communication.

On distinguera ainsi :

- des **canaux fixes**, conduisant l'information en un lieu précis : les neurones,
- un **système mobile** qui, par circulation d'un liquide, transporte une information libérée en un endroit dans tous les autres, et dont il n'existe pas de modèle dans la technologie humaine,
- un **système mixte** si l'on songe aux neurones hypothalamiques et au système porte hypothalamo-hypophysaire,
- un **système mobile** dans lequel les cellules sécrétrices de l'information se déplacent sur le lieu de l'action (cellules immunocompétentes), ce qui a conduit à proposer le terme de "**cerveau mobile**" pour décrire le système immunitaire.

les canaux de communication

#### 7.4. Contourner l'impossibilité de prévoir

L'action de l'hormone réside dans la relation entre une partie de la molécule et un récepteur. Mais la relation de complémentarité entre telle molécule et tel récepteur en fonction de telle action n'a pas été élucidée. Elle semble obéir à l'**arbitraire** total. La comparaison avec le langage est souvent faite : la relation entre un signifiant et un signifié est arbitraire. Certains biochimistes vont plus loin : "la cellule parle un langage qui n'est plus directement déchiffrable en termes physico-chimiques. Aucun endocrinologue, aucun neurologue n'a pu, ou ne pourra jamais conclure de la fonction d'une hormone ou d'un neuromédiateurs à sa structure - ou l'inverse".

relation arbitraire entre structure et fonction

Le langage utilisé par H. Clauser est analogue à celui de J. Monod qui utilisait le terme ambigu de **gratuité**. La biochimie ne cherche plus "l'essence de la vie", mais plutôt la **convention** qui relie une hormone, son récepteur et la fonction sur laquelle elle agit, convention sélectionnée au cours de l'évolution. Etant donné une molécule, il n'y a aucun moyen (en général) d'en déterminer a priori l'activité. La prévision est impossible. La thèse positiviste : **savoir pour prévoir, pour pouvoir** est tenue en échec. Aucune endocrinologie théorique n'est actuellement concevable à partir de la stéréochimie. L'endocrinologie chimique ne peut se suffire à elle-même.

#### 7.5 Retour à l'expérimentation animale et à la clinique

Reste à constituer une documentation aussi complète que possible sur les molécules actuellement connues, leur structure spatiale et l'activité connue (14). L'ordinateur peut aider dans ce travail. Il permet d'établir des **corrélations** et de définir des actions probables. Mais finalement il faudra bien synthétiser la molécule, et faire les tests biologiques eux-mêmes. La connaissance biochimique ne peut prendre le devant de la scène, et encore

l'essai clinique est indispensable

moins se suffire à elle-même. L'expérimentation animale et les essais cliniques restent l'étape fondamentale.

## 8. VERS LA COMPLEXITE

La Biologie s'est longtemps nourrie de schémas simples et suffisamment explicatifs :

- un microbe, une maladie, un vaccin
- un gène, une maladie
- un organe (ou une cellule), une hormone, une action spécifique
- une synapse, un neuroméiateur (règle de Dale)
- une hormone, un récepteur
- une synapse qui active, ou inhibe...

pensée par couples,  
pensée binaire

Cette pensée **par couples**, cette pensée **binaire**, cette pensée en **présence/absence**, faite d'éléments juxtaposés rappelle la pensée par couples décrite par H. Wallon chez le jeune enfant (15). N'en déduisons pas que les biologistes sont de grands enfants, mais plutôt que nous retrouverions ici les caractéristiques d'une pensée qui débute l'analyse d'un objet complexe, en l'absence de toute approche sous forme de modèle systémique, c'est-à-dire en "boîte noire".

Citons, sans prétention d'être complet, certains résultats conséquences et causes de complications techniques et conceptuelles :

- deux neuroméiateurs cérébraux auraient suffi pour penser l'activation et l'inhibition synaptique. Depuis 1975 on a découvert plus de cinquante neuropeptides qui peuvent éventuellement coexister et collaborer avec les neurotransmetteurs "classiques". Il s'agit donc de concevoir l'**intégration** de plusieurs informations différentes et donc la **modulation** de la réponse (16).

- ces neuropeptides ne sont pas présents uniquement dans le système nerveux. Il y a **plusieurs lieux** de sécrétion.

- **plusieurs causes** sont susceptibles de déclencher la sécrétion des cellules endocrines. On a longtemps cru que seul le taux de glucose sanguin déclenchait la sécrétion des cellules bêta des îlots de Langerhans du pancréas. Il faut actuellement ajouter le fructose, les catécholamines, les hormones gastro-intestinales, l'acétylcholine, et tout l'environnement hormonal de la gestation.

plusieurs causes,  
plusieurs effets

- on a longtemps cru que l'insuline agissait sur l'utilisation cellulaire du glucose (qui n'était donc pas utilisé en son absence). On sait actuellement qu'elle agit de manière différente sur les cellules musculaires, les cellules nerveuses et le foie. **Plusieurs effets** distincts donc, l'absence d'insuline n'empêchant pas l'oxydation cellulaire.

L'action n'est pas binaire du type présence/absence.

- l'**organisation** topographique et numérique des cellules dans les îlots de Langerhans semble jouer un rôle.

- le nombre de récepteurs pour une hormone donnée n'est pas constant. Il est lui-même régulé en fonction de la concentration d'hormone. Dès 1939, M. Somoogy décrivait un effet paradoxal de l'insuline qui, injectée au diabétique en dose trop élevée pendant plusieurs jours conduisait à une hyperglycémie. Selon une explication récente, le nombre de récepteurs diminue. Il faut donc prendre en compte l'**interaction** hormone/récepteur.

- le modèle clé/serrure qui unifie la compréhension des actions enzyme/substrat, anticorps/antigène, hormone/récepteur **met en parallèle** les questions des modalités d'action et de régulation dans :

le système hormonal

le système nerveux

le système immunitaire

le réseau des protéines plasmatiques

les réseaux métaboliques.

Ceci n'autorise bien évidemment pas à les confondre, mais ouvre un nouveau champ de questions qui est celui de leur **information réciproque**, sinon même celui de leur **régulation réciproque**, à moins qu'il ne s'agisse de leur **interférence** (17).

On a décrit des anticorps anti-récepteurs responsables de certaines maladies et des anti-corps anti-hormones. Mais, dans le cadre de la théorie du réseau de Jerne, s'il se forme des anticorps Ac1 anti-insuline, il peut exister un anticorps Ac2 possédant un idiotype "image interne" de l'insuline. Ceci a été également démontré pour l'adrénaline et d'autres hormones. Il ne s'agit pas pour autant de dire que les anticorps sont des hormones... ou l'inverse ! Mais ceci définit la possibilité d'une **neuro-endocrino-immunologie** (18).

Les relations entre système nerveux et endocrinien sont souvent décrites. Les relations de chacun de ces deux systèmes avec le système immunitaire se comprennent progressivement, telle la découverte récente de **neuroleukines**. Aucun de ces systèmes n'est **autonome**, uniquement **végétatif**, ou, pour le dire autrement, aucun n'est "silencieux".

Comprendre la transmission de l'information dans ces conditions implique de compliquer le schéma :

une cause/un effet/un effet en retour, grâce à une molécule perçue par un récepteur, c'est-à-dire la transmission de l'information selon un **circuit constant nécessaire**. On est conduit à concevoir la transmission de l'information dans un **réseau mobile d'équilibres** déplaçables.

relations entre  
systèmes  
nerveux,  
endocrinien,  
immunitaire

## 9. LES PROBLEMES

le déplacement  
successif des  
problèmes

L'ensemble des exemples cités montre bien que la découverte d'une hormone n'est pas venue en réponse à un unique problème toujours posé de la même façon :

- déterminer le rôle d'une "glande vasculaire sanguine", et sa modalité d'action (médullo-surrénale par exemple),
- rechercher ce qui déclenche l'action d'un organe, en l'absence de système nerveux (sécrétine par exemple),
- rechercher la cause d'une maladie (goître par exemple).

Ces découvertes sont faites dans le cadre théorique du concept de milieu intérieur, c'est-à-dire la recherche des constantes physiologiques, de leur variation et de leur maintien, en un mot de la régulation chimique. Ce concept **unifie** toutes ces recherches séparées.

Le problème central devient celui de la régulation d'une constante du milieu intérieur (la **glycémie** par exemple) ; ou plus exactement c'est tout le problème du métabolisme du glucose qui devient la question, le regard se déplaçant aussi à l'intérieur des cellules et mettant en avant la question de la **glucopénie** c'est-à-dire de la glucoprivation intracellulaire.

On peut également partir, non plus de l'organe qui sécrète ou de l'organe qui est sensible, mais d'une substance pharmacodynamique (la morphine par exemple) et remonter aux récepteurs.

Mais la sécrétion des glandes endocrines peut également être questionnée à partir de la vie relationnelle, de ses **modalités d'adaptation** aux sollicitations du milieu, et de ses réponses aux agressions. Il n'est pas certain par contre que la question des modalités de communication cellulaire puisse constituer une question opératoire.

## 10. LES METHODES

L'ensemble des méthodes citées peut se regrouper de la façon suivante :

méthode  
analytique,  
systémique,  
substitutive

- **méthode analytique** consistant à sélectionner, séparer des organes ou groupes de cellules, sinon même à les isoler in vitro,

- **méthode systémique** prenant en compte l'ensemble de l'organisme comme système coordonné d'organes interdépendants, et consistant à transplanter, mettre en circulation croisée, etc...

Dans les deux cas, la méthode statistique permet de prendre en compte les variations individuelles, tandis que la comparaison à un témoin permet de prendre en compte les variations autres que celle provoquée expérimentalement (variable temps, variable développement, variables non indépendantes).

- **méthode de substitution** par rapport à l'étude systématique directe sur l'homme :

- méthode comparative consistant à étudier chez l'animal, au laboratoire
- méthode pathologique consistant à considérer les maladies chez l'animal ou l'homme comme l'équivalent d'une expérience
- méthode d'enquête géographique sur la répartition d'une maladie comme moyen pour chercher des causes
- méthode histologique utilisant des marqueurs spécifiques
- méthode toxicologique utilisant les poisons comme substituts de scalpel.

La trilogie s'est donc bien compliquée. Doit-elle pour autant disparaître ?

## CONCLUSION

Dans son histoire de l'hérédité, F. Jacob explique que désormais, tout problème biologique est nécessairement un problème à quatre corps :

- structure
- fonction
- milieu
- histoire, au double sens de développement embryonnaire et d'évolution des espèces.

Nous n'avons traité que les deux premiers en laissant de côté les événements post-membranaires. Nous avons laissé également de côté la psycho-endocrinologie (stress), l'écologie endocrinienne, si l'on peut risquer ce terme, l'endocrinologie comparée, et l'idio-endocrinologie, c'est-à-dire la prise en compte d'une variabilité individuelle.

critique des  
habitudes  
pédagogiques

Dans ce domaine précis, si nous avons critiqué certains schémas habituels ou récents d'articulation et de présentation des savoirs en endocrinologie, schémas qui **majorent fortement** le sentiment de **progrès linéaire**, et **continu**, sinon de progrès **nécessaire** et **logique**, nous ne pensons pas avoir proposé de solution unique universelle. Nous n'avons pas proposé d'abandonner une définition "trop ancienne" et périmée, pour une définition plus actuelle du concept d'hormone. Nous souhaitons avoir mis

réarticuler les  
observations,  
les concepts,  
les techniques,  
les méthodes,  
les représentations

l'accent sur la nécessité d'articuler, à un niveau donné d'enseignement, pour un public donné, les données empiriques et cliniques, les concepts, les théories, les techniques expérimentales, les méthodes démonstratives, sans oublier la représentation du vivant qu'elle implique. Chaque solution pédagogique de désarticulation/réarticulation de cet ensemble aura un **effet épistémologique**, c'est-à-dire donnera, sans toujours le dire explicitement, une idée de la façon dont la science endocrinologique s'est constituée, et une idée des critères de validité de ce savoir. Chaque solution induira également une **représentation du vivant**. Cette façon de faire présente l'avantage de mettre au premier plan non plus la question de la formulation du savoir "la plus récente", ou "la plus vraie", mais bien plutôt celle de ses **formulations successives** et de leurs **rectifications**. Finalement, si l'on nous reprochait d'avoir compliqué la tâche du pédagogue, peut-être aurions-nous atteint notre but. Disons surtout que tout ce travail n'a peut-être aucun intérêt si l'on se préoccupe seulement d'enseigner les résultats du savoir identifiés au savoir le plus récent. Si l'on considère le passé comme dépassé, tout en admettant qu'il a représenté à un certain moment un dépassement d'un savoir ancien, il n'y a rien de plus à dire. Et l'on réduit le rôle de l'enseignant à celui d'un canal de transmission, dans la mesure où sa part de choix est réduite. Nous espérons avoir montré que la frontière du **périmé** est peu aisée à tracer. Par ailleurs, la **complexité** du "plus récent" empêche d'en faire un point de départ. Quant à la **nouvelle base**, elle reste difficile à définir, à moins de privilégier la chimie, ce qui est discutable.

Difficulté supplémentaire, toute réorganisation abolissant l'historicité du savoir renforce donc :

- d'une part, le caractère de **rupture** du savoir ainsi constitué dans la mesure où il devient difficile de concevoir son commencement,
- d'autre part, la vision **internaliste** de la science, dans la mesure où il devient difficile de faire apparaître le caractère contingent, événementiel d'une découverte, sa consonance éventuelle avec les représentations sociales ou l'idéologie d'une époque ou d'un pays donné.

**Un développement historique** réalisé sur quelques exemples privilégiés pourrait rectifier ces représentations de la connaissance. Nous avons dit "pourrait" car l'histoire des sciences n'est pas une science, et il y a de nombreuses façons de l'écrire qui n'ont pas toutes la même finalité. Autre difficulté, ce type d'enseignement nécessite du temps et une culture assez étendue pour suivre le cheminement de voies d'abord juxtaposées et qui se coordonnent progressivement ou de manière brusque, puis se rectifient et se réorganisent. Mais surtout, ce type d'approche ne saurait inaugurer un enseignement, comme

la méthode  
historique  
n'est pas la  
panacée  
pédagogique

c'est souvent le cas, quand il est fait, car si l'historien accompagne les savants du passé dans leurs chemine-  
ments prospectifs, c'est en pleine connaissance de l'état  
actuel du savoir. Le regard récurrent part du présent, et  
ce présent se modifie lui-même. L'histoire doit donc,  
elle-même, **être réécrite**. De quelle organisation présente  
l'élève doit-il partir pour comprendre cette mise en per-  
spective ?

Pleinement conscient de ce que l'enseignement des scien-  
ces n'est pas non plus une science, proposons donc à  
l'enseignant d'être un **interprète** au sens musical du  
terme, c'est-à-dire toujours un peu un **créateur** qui pro-  
pose sa propre accentuation parmi un ensemble de  
possibles.

Guy RUMELHARD  
Lycée Condorcet, Paris  
Equipe de didactique des sciences  
expérimentales, INRP

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BACHELARD Gaston. **Le rationalisme appliqué**. Paris. PUF. 1948, p.49.
- (2) ARON Max, GRASSE Pierre P. **Biologie animale**. Paris. Masson. 1939, p.353-356 et 6ème éd. 1960, p.407-417.
- (3) CANGUILHEM Georges. **Le normal et le pathologique**. Paris. PUF. 2ème ed. 1966, p.140.
- (4) CANGUILHEM Georges. **La formation du concept de réflexe au XVII et XVIII<sup>e</sup> siècle**. Paris. Vrin. 1955. 2ème ed. 1977, p.91.
- (5) KLEIN Marc. **Sur l'article de Berthold : transplantation des testicules**. (1849) in "Regard d'un biologiste". Paris. Hermann. 1980.
- (6) CANGUILHEM Georges. **Pathologie et physiologie de la thyroïde au XIX<sup>e</sup> siècle**. In Thalès, t. IX. Paris. PUF. (reproduit in "Etudes d'Histoire et de Philosophie des Sciences". Paris. Vrin. 1968).
- (7) GROS François, JACOB François, ROYER Pierre. **Sciences de la vie et Société**. Paris. La Documentation française et Collection Point Actuel. 1979.
- (8) RASMUSSEN H., PECHET M.M. "Calcitonin". **Sc. American**. Oct. 1970. 223 - 4, p.42-50.
- (9) BEAUMONT André. **Cytophysiologie des cellules thyroïdiennes normales et pathologiques**. Actes du colloque du Centenaire de l'ENS de St Cloud. 1982, p.189-210.

- (10) RIEUTORD M. **Physiologie animale**. Paris. Masson. 1982. 2 tomes.
- (11) CANGUILHEM Georges. **La constitution de la physiologie comme science**. Introduction au tome I du **Traité de Physiologie** de Charles Kayser. Paris. Ed. médicales. Flammarion. 1963.
- (12) DAGOGNET François. **La raison et les remèdes**. Paris. PUF. 1964.
- (13) DEBRU Claude. **L'esprit des protéines**. Paris. Hermann. 1983.
- (14) CHOPLIN François. "L'ordinateur en chimie". **Pour la Science**. N° 97. Nov. 1985. p. 50-60.
- (15) WALLON Henri. **Les origines de la pensée chez l'enfant**. Paris. PUF. 1945.
- (16) HOKFELT Tomas. "Les messages chimiques du cerveau". **La Recherche**. N° 122. 1981, p.558-570.
- (17) LEHUIILLER Annick. "La neuroleukine : messager nerveux et immunitaire". **La Recherche**. N° 186, p.386-388.
- (18) GACHELIN Gabriel. **Vie relationnelle et immunité**. In **Corps et Histoire**. Paris. Soc. éd. Les Belles Lettres. 1986.