
Principes structurants et savoirs en sciences de la vie et de la Terre.

Congrès international AREF 2007 (Actualité de la Recherche en Education et en Formation)

Denise Orange Ravachol*, Françoise Beorchia**

**IUFM des pays de la Loire
Chemin de Launay Violette
BP 12227
F-44 322 Nantes cedex 3
CREN, Université de Nantes
denise.orange@paysdelaloire.iufm.fr
** IUFM de Basse Normandie, centre de St Lô
Rue St Georges
F-50000 St Lô
CERSE, Université de Caen
francoise.beorchia@caen.iufm.fr*

RÉSUMÉ. Dans cette contribution, nous questionnons l'importance de certains principes structurants dans la construction des problèmes et des savoirs en sciences de la vie et de la Terre, à partir de deux exemples : le principe de l'unité de fonctionnement des cellules nerveuses en neurophysiologie et le principe de l'actualisme en géologie historique. Ces principes, qui ont historiquement fondé des domaines de savoirs scientifiques, se sont construits contre des idées de la pensée immédiate. Se pose alors la question de savoir dans quelle mesure les élèves peuvent adopter ces principes et si cela leur est nécessaire pour accéder aux savoirs correspondants.

MOTS-CLÉS : savoirs scientifiques, problématisation, principes structurants, apprentissages

1. Introduction

En nous appuyant sur une partie de nos travaux respectifs, nous nous proposons de questionner l'importance de certains principes dans la construction de savoirs scientifiques en sciences de la vie et de la Terre.

En sciences de la vie, nous nous intéressons au principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses. Nous convoquons les travaux du neurophysiologiste Sherrington (1857-1952) qui fondent les neurosciences modernes. En sciences de la Terre, nous étudions le principe de l'actualisme qui, aux 18^e et 19^e siècles, a joué un rôle majeur dans la naissance de la géologie historique.

Nous situons notre étude dans un cadre rationaliste où la construction d'un savoir scientifique relève d'une problématisation. Dans une première partie, nous rappelons ce cadre. Nous tentons ensuite de préciser les fonctions des deux principes que nous avons retenus dans la problématisation des chercheurs et développons quelques conséquences didactiques de ces approfondissements. De leur mise en comparaison émergent des axes de recherche : nous les présentons en conclusion.

2. Problématisation et construction de savoir scientifique

Les sciences de la vie et de la Terre se préoccupent d'expliquer tout ou partie du fonctionnement et de l'histoire des systèmes complexes que sont par exemple l'organisme vivant ou la planète Terre. Elles accordent une large place à l'imagination, qu'elles mettent sous le contrôle de la critique, de l'observation et de l'expérience. Il s'agit à chaque étape de «*limiter la part du rêve dans l'image du monde*» qu'elles élaborent (Jacob, 1981).

Dans la tradition rationaliste où nous nous situons, nous pouvons caractériser plus précisément la pensée scientifique.

- Elle fonctionne en rupture avec la pensée commune. Dans sa recherche d'objectivité et de généralité, elle prend des distances vis-à-vis du familier et elle tente de se défaire d'un empirisme immédiat : «*dans la connaissance vulgaire, les faits sont trop tôt impliqués dans des raisons. Du fait à l'idée, le circuit est trop court*» (Bachelard, 1938, p. 44).

- Elle vise à s'inscrire dans un monde sans sujet connaissant. Popper (1991) ne situe pas le savoir scientifique dans un monde de sujets. Il appartient à « un monde sans sujet connaissant », un monde objectif et autonome, dont les « habitants » sont les systèmes théoriques, les problèmes et états de ces problèmes (état des discussions, état des échanges d'arguments critiques). Popper parle d'un troisième monde, qu'il distingue d'un deuxième monde, le monde des expériences conscientes des sujets, et d'un premier monde, le monde physique.

Le cadre de la problématisation développé par M. Fabre et C. Orange (1997) permet de penser les problèmes des sciences de la vie et de la Terre dans une dynamique d'extraction de la pensée commune et d'inscription dans le troisième monde de Popper. Il donne de l'importance à ce qui se joue entre la position du problème et sa résolution : pour un problème explicatif donné, la problématisation se définit comme un processus d'ouverture à des explications possibles, par exploration d'un espace de contraintes (contraintes empiriques et contraintes théoriques), de fermeture et de stabilisation transitoire de cet espace (élaboration des conditions donnant aux modèles un certain degré de nécessité). Ce processus prend place dans un cadre explicatif (ou registre explicatif, C. Orange 2000) qui borne et structure les champs empiriques et théoriques explorés lors de la construction des raisons fondant les modèles. Le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses et le principe de l'actualisme sont des éléments forts de ce registre. Les études épistémologiques qui suivent le montrent.

3. Construction du concept d'intégration et cadre de cette construction

Le premier principe que nous étudions est le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses. Il sous-tend la construction du concept d'intégration nerveuse, que Sherrington développe dans son ouvrage principal, *The integrative action of the nervous system* (1906), en s'appuyant sur l'étude des réflexes spinaux des mammifères. Voyons comment ce principe a conditionné la construction du concept d'intégration, ainsi que celle de concepts associés (synapse, inhibition...).

Sherrington situe ses recherches dans le cadre de la théorie cellulaire (Schwann, 1839 ; Deiters, 1865, pour son application aux cellules nerveuses) et dans celui de la théorie darwinienne de l'évolution (Darwin, 1859) :

- La cellule est l'unité de structure du vivant. Reprenant le concept de milieu intérieur (C. Bernard), Sherrington va établir le parallèle avec le système nerveux pour expliquer comment un organisme qui atteint une certaine dimension donc qui comporte un grand nombre de cellules et d'organes distincts, peut s'adapter aux stimuli issus de son environnement.

- La théorie darwinienne de l'évolution établit à la fois des filiations entre les espèces et les groupes animaux et donc explique les ressemblances dans l'organisation. Sherrington met en avant dans tout son ouvrage des comparaisons entre les systèmes nerveux des organismes, des éléments nerveux diffus de certains (méduses, etc.) aux différents niveaux d'organisation du système nerveux chez d'autres (arthropodes, vertébrés).

Ne se limitant pas à considérer l'unité de structures, Sherrington adopte le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses tout en constatant certaines différences d'organisation.

Dans un contexte de controverses entre réticularistes et neuronistes, Sherrington se place du côté des neuronistes : en s'appuyant sur les méthodes de coloration développées par Golgi, il prend position pour la contiguïté, et non la continuité,

entre deux neurones. Mais il conçoit la synapse non comme une structure identifiable (ce qui n'est pas possible à ce moment étant donné les techniques de microscopie) mais inférable grâce aux travaux récents de Ramon Y Cajal : c'est sans aucun doute un élément indispensable dans sa théorie de la fonction intégrative du système nerveux. Il va d'ailleurs lui donner le nom de synapse (avec Foster en 1897).

Les expérimentations menées par Sherrington portent sur des réflexes chez des animaux spinaux : il compare les caractéristiques des conceptions et réponses dans ces réflexes à celles obtenues dans les troncs nerveux et constate de nombreuses différences. Certains faits expérimentaux s'imposent comme contraintes empiriques (des faits qu'il s'agit d'expliquer et dont il faut tenir compte pour expliquer) car ils ne correspondent pas aux résultats habituellement obtenus dans les troncs nerveux (c'est à dire les éléments nerveux extérieurs aux centres nerveux et les structures ganglionnaires). Il attribue ces différences aux constituants de la substance grise, mais il élimine progressivement certains éléments pour tenir compte de résultats expérimentaux et d'observations faites par différents scientifiques. Il est ainsi conduit à conclure à l'existence de surfaces de séparation entre neurones, situées dans la substance grise.

S'appuyant donc sur le principe d'unité de structure et de fonctionnement des cellules nerveuses, Sherrington (1897, 1906) construit le concept de synapse et s'en sert pour interpréter les résultats expérimentaux sur les réflexes spinaux. Cela lui permet aussi de concevoir une modélisation de l'intégration qui est valide par rapport aux résultats obtenus. Ce qui dans la synapse est important est l'existence d'une surface de discontinuité, une barrière membranaire qui permet d'expliquer les changements physico-chimiques qui peuvent être responsables à la fois des processus d'excitation mais aussi d'inhibition. Enfin la présence des synapses est généralisable aux différents centres nerveux. Sherrington est aussi le premier à définir de façon précise les différentes catégories de récepteurs sensoriels et à souligner l'importance des récepteurs proprioceptifs dans le fonctionnement des réflexes de flexion et extension.

Le principe de l'unité structurale et fonctionnelle du système nerveux basée sur les concepts de neurone et de synapse s'oppose à une conception centraliste dans laquelle toute l'activité nerveuse est issue du cerveau. Adopter le principe d'unité de fonctionnement des neurones dans les différentes parties du système ne veut pas dire renoncer à un fonctionnement coordonné et contrôlé. Au contraire : c'est accepter que cette coordination se fasse à différents niveaux. Pour reprendre Canguilhem (1955), c'est un système de systèmes, ou système de systématisation : *« On ne pouvait s'attendre à voir s'effondrer du premier coup la notion très antique d'un centre, hiérarchiquement premier, de la régulation des mouvements de l'organisme. Avant de concevoir le système nerveux, avec Sherrington, comme un système de systématisations, il fallait d'abord le concevoir, avec Unzer et Prochaska, comme un système de systèmes. »*

4. Le principe de l'actualisme, principe structurant des sciences de la Terre

La géologie se préoccupe d'expliquer le fonctionnement actuel de la Terre et de reconstituer son histoire. Cette histoire révolue de la Terre est unique et son approche difficile notamment parce qu'elle propulse dans un passé qui va bien au-delà du temps humain. Les géologues se heurtent au problème du repérage et de l'interprétation des traces du passé, de même qu'à leur caractère lacunaire. Il y a donc une porte ouverte à une diversité de reconstitutions possibles et il se pose le problème de leur contrôle.

Le principe méthodologique de l'actualisme (on dit aussi principe des causes actuelles) est un garde fou vis-à-vis des reconstitutions trop spéculatives (les cosmogonies¹). Il est « *le pont qui permet à notre imagination de se transporter du présent jusqu'au passé et d'évoquer, avec une certaine confiance dans son exactitude, la vision de faits qu'aucun œil humain n'a contemplés* » (Hooykaas, 1970, p. 11). En quoi consiste-t-il ? Ce principe affirme que « *le présent est la clé du passé, où que les causes qui ont agi au long de l'histoire de la Terre ne diffèrent point essentiellement des causes géologiques actuelles (érosion, transport, sédimentation, métamorphisme, volcanisme, plissement et soulèvement des montagnes)* » (Gohau, 1997, p. 140). Il est « *la transposition au temps du postulat d'universalité des lois de la nature* » (Gohau, 2003, p. 10).

Le principe méthodologique de l'actualisme est donc un postulat permettant de contrôler les reconstitutions possibles de l'histoire de la Terre. Comme élément « *qui donne sens au modèle et permet de le manipuler* » (C. Orange, 1997), il a toute sa place dans le registre explicatif. Remarquons qu'il porte une complexité certaine, d'abord parce que le présent a un statut ambigu : il contient des traces du passé et il est un vivier de possibles géologiques, autrement dit une référence pour l'explication de ce passé. Si nous nous référons à la naissance de la géologie historique, nous pouvons entrer plus avant dans cette complexité. La géologie naissante (17^e – 19^e siècles) cherche à expliquer les changements géologiques par autre chose que des interventions divines, surnaturelles ou trop imaginaires (le propre des cosmogonies) et ne se suffit pas des explications déterministes (comme celle de Descartes). Les géologues recourent alors aux traces du passé qu'ils réfèrent à ce qui se passe dans le présent. Mais tous ne reconstruisent pas la même histoire de la Terre. De là des controverses. Celles du 19^e siècle sont en lien avec deux problèmes majeurs pris en charge par la communauté scientifique : la formation des chaînes de montagnes et le renouvellement des êtres vivants. Elles mettent en jeu deux courants de pensée : l'uniformitarisme (un actualisme strict) et le catastrophisme.

¹ Nous faisons référence aux très spéculatives « Théories de la Terre » du 17^e et du 18^e siècle.

Le courant uniformitarien, ou actualiste (Hutton 1726-1797 ; Lyell, 1797-1875) s'en tient à des causes encore agissantes. Le courant catastrophiste² (Cuvier, 1769-1832 ; de Beaumont, 1798-1874) met en jeu des causes de nature et/ou d'intensité différente des causes encore agissantes. Cette tension entre deux pôles aide à cerner la complexité de l'actualisme.

En effet, tous les géologues, même les catastrophistes, admettent que « *Le présent est la clé du passé* »³ : « à moins de décréter que l'on va purement et simplement inventer a priori l'histoire passée de la Terre, le plus simple bon sens impose de partir des données concrètes offertes par la géographie et par le contenu du sous-sol » écrit F. Ellenberger (1994, p.12).

Le principe de l'actualisme s'impose contre les reconstitutions fantastiques du passé de la Terre, c'est-à-dire contre un catastrophisme immédiat et de circonstance. Mais tous les géologues ne font pas le même pari sur le passé. Ils ne construisent pas le même monde de possibles, ne font exactement le même recours au présent, ne construisent pas les problèmes de la même manière.

- Certains géologues conçoivent la Terre dans un état d'uniformité du monde physique et du monde vivant. Certes, des changements perturbent cet état en un lieu mais ils sont par exemple compensés par d'autres se produisant ailleurs ou un peu plus tard. Pour le problème de la formation des montagnes, le principe de l'actualisme permet de construire la nécessité des longues durées.

Ainsi, l'actualisme se pose contre un catastrophisme immédiat mais tend à enfermer la Terre dans du temps profond (« *No vestige of a beginning, no prospect for an end* » écrit Hutton) et, de ce fait, il évacue une histoire globale de la Terre.

- D'autres géologues s'inscrivent dans un schéma directionnaliste où la Terre a une histoire sagittale irréversible. Dans un tel pari, le principe de l'actualisme dans sa version stricte est mis à mal : la conservation de la nature et de l'intensité des causes géologiques est difficilement tenable. Le principe de l'actualisme se heurte donc au directionnalisme, qui conduit à penser que la nature actuelle ne contient pas toutes les causes géologiques ayant existé et à envisager des causes anciennes d'une autre nature, sans qu'elles soient forcément d'une autre intensité que les causes actuelles.

Le principe de l'actualisme est donc nécessaire pour penser scientifiquement les problèmes de la géologie historique: il oblige à les construire quand un catastrophisme immédiat les évacue. Mais c'est un postulat d'une utilisation exigeante : d'un côté, il impose des contraintes (continuité et gradualisme, temps long) ; de l'autre, un certain nombre de traces à expliquer (celles qui expriment une discontinuité) poussent à se détourner de son emploi. C'est quand son usage est devenu trop difficile que des géologues ont recouru à des causes anciennes

² Une terminologie que l'on doit au géologue et logicien anglais W. Whewell (1794-1866).

³ L'expression est de Archibald Geikie (1835-1934), qui l'introduit en 1905.

différentes, en nature et/ ou en intensité, de l'actuel ; ou encore qu'ils ont construit la nécessité d'évènements historiques. C'est dire que, sans l'abandonner, il paraît nécessaire d'introduire une certaine souplesse dans son usage, pour dégager un passé réel d'une infinité de possibles.

5. Conséquences didactiques

Intéressons-nous maintenant aux apprentissages scientifiques dans la classe et aux conditions d'une problématisation des élèves en neurophysiologie et en géologie historique.

5.1. Des principes des chercheurs au fonctionnement des élèves

5.1.1. La mise en jeu du principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses

Le concept d'intégration est abordé au lycée et dans l'enseignement supérieur. Lorsqu'on propose à des étudiants d'expliquer le mouvement du membre supérieur suite à une stimulation d'un de ses doigts, le plus classiquement et le plus fréquemment, on trouve ce fameux centralisme cérébral, c'est-à-dire que les afférences sensorielles (uniquement extéroceptives) vont directement au cerveau, le cerveau traite l'information et envoie l'information correspondante : excitation du muscle fléchisseur et inhibition du muscle extenseur. Le plus souvent, il n'y a pas d'intervention des réseaux de neurones au niveau de la moelle épinière pour assurer le fonctionnement coordonné des muscles antagonistes que sont le biceps et le triceps. Spontanément, les étudiants raisonnent sans envisager une possibilité de fonctionnement du centre nerveux médullaire ou en limitant sa fonction à une simple transmission. C'est une marque de non mise en jeu du principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses. Celles-ci n'interviennent qu'au niveau cérébral (F. Beorchia, 2003).

5.1.2. La mise en jeu du principe de l'actualisme

Lorsqu'on confronte des lycéens à certains aspects du problème de la formation d'une chaîne de montagnes, leurs productions témoignent d'un recours à du catastrophisme immédiat : pour expliquer la présence de roches océaniques en position émergée, au sein de chaînes de montagnes, ils recourent à des mouvements ad hoc de blocs rocheux. Sans règles ni contrôle, ils font intervenir des soulèvements, des rotations, des rapprochements de matériaux. Rien de la nature actuelle ne leur sert véritablement de référence. Ils sont bien loin de tenir le principe de l'actualisme constructeur de la nécessité du temps long. Au mieux, ils se cantonnent dans un actualisme d'analogie (D. Orange Ravachol, 2003).

5.2. Des principes exigeants

Dans l'état actuel de nos recherches sur les principes structurant des sciences de la vie et de la Terre, nous montrons que ces principes tirent leur solidité des « contres » qui les définissent. Ainsi par exemple :

- Le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses permet de penser des fonctionnements nerveux en dehors de la zone cérébrale. Il se pose donc contre un centralisme cérébral tout en maintenant la possibilité de le retrouver, mais dans un rapport de nécessité. Ce principe élimine une mise en jeu immédiate du cerveau, et les représentations du sens commun qu'elle véhicule, pour mieux le retrouver. De plus, sa tenue a une portée heuristique puisque, et l'histoire des sciences en témoigne, il permet de construire de nombreux concepts.

- Le principe de l'actualisme, en exportant dans le passé des causes encore agissantes tend à fonctionner contre l'histoire pour mieux la retrouver. De fait, il permet de construire la nécessité du temps long constructeur de phénomènes, celle de causes passées différant en nature ou en intensité des causes actuelles, et même de construire des événements historiques singuliers dans le temps et dans l'espace. C'est lorsque le principe méthodologique de l'actualisme a été porté à ses limites que les géologues du 19^e siècle ont été contraints et forcés d'envisager une forme élaborée de catastrophisme (D. Orange Ravachol, 2003).

6. Conclusion

Au terme de cette étude, nous aboutissons à l'idée que la fécondité des principes que nous avons étudiés (le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses, le principe de l'actualisme) tient notamment au fait qu'ils existent « contre » des idées d'une pensée immédiate. Nous en avons donné une illustration dans cette contribution. En entrant par ces principes, nous poursuivons des investigations en épistémologie et en histoire des sciences pour démasquer et mettre en comparaison d'autres « contres », et tous ne semblent pas renvoyer à la pensée commune. Nous avons là un moyen de préciser le registre explicatif des chercheurs et des élèves. Ce serait une autre façon de faire fonctionner l'histoire des sciences. Pour reprendre les propos de Bachelard, cette histoire serait riche des nombreux barrages que le passé de la pensée scientifique a érigés contre l'irrationalisme (Bachelard, 1951, p. 27). Elle pourrait alors fournir de nombreux repères pour penser les apprentissages scientifiques en classe de science.

Bibliographie

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin. (1986).

Bachelard, G. (1951). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris : PUF.

- Beorchia, F. (2003). *La communication nerveuse : conceptions des apprenants et problématisation. Importance des explications mécanistes et vitalistes*. Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- Canguilhem, G. (1955). *La formation du concept de réflexe aux XVIIe et XVIIIe siècles*. Paris : PUF.
- Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la géologie, Tome 2*. Paris: Technique et Documentation (Lavoisier).
- Fabre, M. & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 37-57.
- Gohau, G. (1997). Naissance de la méthode "actualiste" en géologie. In Gohau G., dir., (1997). *De la géologie à son histoire*, CTHS, pp. 139-149.
- Gohau, G. (2003). *Naissance de la géologie historique*. Paris : Vuibert.
- Hooykaas, R. (1970). *Continuité et discontinuité en géologie et biologie*. Paris: Seuil.
- Jacob, F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris: Librairie Fayard.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris: PUF.
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons: construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire de recherche pour l'H.D.R.. Université de Nantes.
- Orange Ravachol, D. (2003). *Utilisations du temps et explications en Sciences de la Terre par les élèves de lycée: étude dans quelques problèmes géologiques*. Thèse de Doctorat. Université de Nantes.
- Popper, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris: Aubier.
- Sherrington, C. S. (1906). *The integrative action of the nervous system*. New-York: Charles Scribner's Sons.