

LES ORIGINES DE LA VIE : UN PROBLÈME, DES DISCIPLINES

Stéphane Tirard

Au cours du xx^e siècle les travaux sur les origines de la vie ont abouti à la constitution de modèles complexes et pluridisciplinaires.

Dans une première partie, une approche historique permet de montrer les fondements de cette pluridisciplinarité. Les modalités selon lesquelles elle intervient dans la structuration et la formulation des modèles sont analysées dans un second temps. Ces éléments éclairent ensuite la réflexion sur les conséquences didactiques de cette pluridisciplinarité.

les théories
sur les
origines de
la vie
émises au
xx^e siècle...

Les théories sur les origines de la vie, émises au cours du xx^e siècle, ont toutes en commun de proposer des récits décrivant les étapes de l'évolution de la matière minérale jusqu'au vivant. Fondamentalement ces énoncés rapprochent des données scientifiques d'origines diverses qui dépassent largement les seuls cadres de la chimie et de la biologie.

... des
propositions
pluridisciplinaires

Nous envisagerons donc ces théories comme des propositions *pluridisciplinaires*, ce terme étant entendu dans son acception simple de rapprochement et d'articulation entre des disciplines ou des domaines différents de la science moderne. Notre objectif est de révéler les modalités de la dynamique de cette association de données, afin de mieux analyser ensuite la structure complexe des modèles que nous devons enseigner.

La première partie de cette étude sera consacrée à une présentation de certains aspects de l'histoire des théories sur les origines de la vie au xx^e siècle et à une mise en évidence de la pluridisciplinarité opérant en leur sein.

Cette approche se poursuivra dans un second temps par une analyse des modalités de la mise en œuvre de la pluridisciplinarité dans la formalisation de ces théories.

La dernière partie tentera de cerner les conséquences de cette spécificité dans l'apprentissage de ces théories.

1. MISE EN ÉVIDENCE HISTORIQUE DE LA PLURIDISCIPLINARITÉ DANS LA CONSTITUTION DES THÉORIES SUR LES ORIGINES DE LA VIE

1.1. Les textes fondateurs

les premières propositions

Parmi les écrits fondateurs de la biogenèse évolutive (1), les textes du soviétique Alexandre Ivanovitch Oparine (2) (1924) et du britannique John Burdon Sanderson Haldane (3) (1929) peuvent être considérés comme les propositions les plus complètes. À cinq années d'intervalle, ils formulent indépendamment deux propositions matérialistes de modèles présentant les étapes de l'apparition de la vie sur la Terre. Chacun d'eux intègre des données d'origines variées, ayant trait à l'évolution de notre planète et aux transformations de la matière qui auraient permis le passage de la matière minérale à la matière organique, pour aboutir finalement aux premières formes de vie. Ainsi se côtoient la planétologie, la géochimie, la chimie minérale, la chimie organique et la biologie, avec cette démarche Oparine et Haldane inaugurent une tradition qui sera largement poursuivie au cours du XX^e siècle, et dans laquelle les apports de différentes disciplines sont rapprochés.

Oparine, Haldane...

En 1936, Oparine (4) publie un ouvrage dans lequel il approfondit son modèle. Traduit en anglais en 1938, ce livre trouve un public large. Durant la même décennie, le physicien et astronome français, Alexandre Dauvillier, aborde lui aussi le thème des origines et publie une série d'études conséquentes sur la question. Dans ces travaux une place importante est donnée aux diverses disciplines déjà citées : la pluridisciplinarité s'impose dès lors comme une nécessité.

... Dauvillier...

-
- (1) MAUREL, M.-C. & TIRARD, S. (1999). Les origines de la vie. In D., Lecourt, (Éd.). *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* (pp. 711-713). Paris : Presses Universitaires de France.
- (2) OPARIN, A.I. (1924). The Origin of life. Trad. Ann Synge, in J.D., Bernal, (Ed.), (1967). *The Origin of Life* (pp. 199-234). London : Weindenfeld and Nicholson.
- Dans ce texte, Oparine présente un modèle d'évolution du globe. Après une description des conditions régnant sur la Terre primitive, il présente des synthèses spontanées de substances organiques à partir de la matière minérale. Ensuite, dans la mer primitive, les molécules ainsi formées constituent des unités hétérotrophes évoquant les cellules primitives.
- (3) HALDANE, J.B.S. (1929). The origin of Life. In J.D., Bernal, (Ed.), (1967). *The Origin of Life* (pp. 242-249). London : Weindenfeld and Nicholson.
- Se fondant sur des résultats expérimentaux dus à Baly, et montrant que la lumière ultraviolette en agissant sur un mélange d'eau et de dioxyde de carbone engendre la formation d'un grand nombre de substances organiques, Haldane propose qu'un processus analogue ait pu avoir lieu dans les conditions de la terre primitive. Soulignons que selon lui l'atmosphère primitive contenait du dioxyde de carbone, et pas d'oxygène moléculaire.
- (4) OPARIN, A.I. (1938). *The origin of life*. New York : The Mc Millan Company.

... Bernal

À la fin des années 40, John Desmond Bernal (5) ne déroge pas à cette tendance. Il établit notamment un bilan critique des travaux antérieurs et en propose une synthèse avec ses propres idées. Ses hypothèses intègrent des données d'origines variées et comprennent, par exemple, des éléments de physique, de minéralogie, de chimie, de biophysique ou de biochimie... Une des idées originales de Bernal concerne le rôle des argiles qui ont pu constituer un support mécanique et catalytique, responsable de la constitution de molécules organiques polymériques.

un demi-siècle
d'hypothèses

La première moitié du siècle correspond donc à une période de formulation et de consolidation des hypothèses. Tous les apports de la science moderne qui peuvent être utiles à ces auteurs sont rapprochés et entrent dans la construction d'énoncés complexes qui se présentent comme des scénarios retraçant les événements primordiaux ayant conduit à la vie. Les recherches ultérieures ne démentiront pas cette tendance vers une méthode productrice de formulations théoriques regroupant des données très variées. Cependant, les modalités de ces rapprochements vont évoluer en fonction du contenu des données elles-mêmes.

les premières
expérimentations

Au début des années 50, Melvin Calvin et Harold Urey inaugurent indépendamment l'ère de l'expérimentation qui rapidement donnera naissance à une nouvelle discipline : la chimie prébiotique. Malgré certaines divergences qu'il conviendra de souligner, tous deux établissent, à partir de données de planétologie comparée, la composition de mélanges minéraux représentant des milieux primitifs au sein desquels il est possible de déclencher des réactions productrices de molécules organiques. Calvin utilise pour ceci les résultats des travaux de Wendell M. Latimer (6), de son côté Urey utilise essentiellement ses propres résultats.

La première expérience remarquable est menée aux États-Unis, en 1951, par Calvin et ses collaborateurs (7). Il soumet une solution aqueuse de dioxyde de carbone à des radiations ionisantes et observe qu'une partie du dioxyde de carbone a été réduite en formaldéhyde.

Un an plus tard, Urey rejette ouvertement ce premier résultat (8). Il considère, en effet, que le mélange initial utilisé par Calvin n'est pas assez réducteur, ce, en raison de la

-
- (5) BERNAL, J.D. (1951). *The Physical Basis of Life*. London : Routledge and Kegan Paul. Cet ouvrage est la reprise d'une conférence donnée en 1947.
- (6) LATIMER, W.M. (1950). Astrochemical Problem in the Formation of the Earth. *Science*, 112, 101.
- (7) GARISSON, W.M., MORRISSON, D.C., HAMILTON, J.C., BENSON, A.A. & CALVIN, M. (1951). Reduction of carbone dioxyde in aqueous solutions by ionizing radiations. *Science*, 114, 416-418.
- (8) UREY, H. (1952). On the Early Chemical History of the Earth on the Origin of Life. *Proc. Natl. Acad. Sc. U.S.*, 38, 351-363.

Urey impose la nature réductrice des conditions primitives

présence du dioxyde de carbone. Urey soutient, pour sa part, que le milieu primitif ne pouvait pas contenir cette molécule. Il rappelle qu'Oparine avait affirmé la même chose en 1936. En confirmant le recours au caractère réducteur des conditions primitives, Urey détermine fondamentalement le déroulement de la recherche dans le domaine de l'origine de la vie. Dans ce même texte, il lance en fait lui-même l'expérimentation, dans les conditions qu'il préconise, en affirmant : *"l'expérimentation sur la production de composés organiques à partir d'eau et de méthane en présence de lumière ultraviolette d'une distribution spectrale estimée approximativement à celle du soleil pourrait être des plus profitables. La recherche des possibles effets des décharges électriques sur les réactions pourrait aussi être tentée puisque des éclairs électriques peuvent être raisonnablement imaginés dans une atmosphère réductrice."*

la chimie prébiotique est bien née

Moins d'un an plus tard c'est chose faite. Un jeune chimiste américain, Stanley Miller, élève d'Urey publie dans la très prestigieuse revue américaine, *Science*, un article intitulé : *"Une production d'acides aminés dans les conditions possibles de la Terre primitive"*. Durant une semaine, un mélange de méthane, d'ammoniac, d'hydrogène et d'eau est exposé à des décharges électriques et la synthèse d'acides aminés (de la glycine, de l' α -alanine et de la β -alanine) est mise en évidence.

Avec cette publication, l'étude des origines de la vie entre officiellement dans le champ de l'expérimentation. Dès lors de nombreux auteurs suivent la voie ouverte par Urey et Miller : la chimie prébiotique est bien née. Les résultats obtenus conduisent rapidement à un consensus assez large quant au processus de l'apparition de la vie sur la Terre. Il apparaît que les expériences tentées mettent en jeu des mélanges initiaux réducteurs, comme l'atmosphère qu'ils représentent, et dont le dioxyde de carbone doit être strictement absent. Cette dernière contrainte s'imposera à toute la réflexion sur les origines de la vie durant environ trois décennies.

un modèle en trois phases

Le modèle progressivement construit et le plus généralement admis durant cette période peut se résumer selon les trois phases suivantes :

- Une source d'énergie, chaleur ou divers rayonnements, en agissant sur un milieu primitif minéral et réducteur provoque la synthèse de certaines molécules organiques simples, sucres, acides aminés, bases azotées.
- Dans la *soupe primordiale* ou *prébiotique*, les molécules précédentes s'associent entre elles pour constituer les macromolécules qui caractérisent le vivant : les protéines et les acides nucléiques.
- Enfin, dans un troisième temps, les cellules primitives s'isolent et forment les êtres vivants primordiaux.

Progressivement chacune de ces étapes s'est vue illustrée par des résultats expérimentaux obtenus dans les conditions prébiotiques. Ainsi par exemple :

– Les synthèses d'acides aminés et de sucres sont suivies par des synthèses de bases azotées, en 1960, Juan Oro synthétise de l'adénine.

– En 1958, Fox et Harada réussissent la polymérisation thermique des acides aminés et obtiennent ce qu'ils nomment des protéinoïdes.

– En 1965, Fox montre que ces protéinoïdes peuvent constituer des microsphères qui ne sont pas sans évoquer des cellules primitives.

Cette présentation rapide des étapes des recherches sur les origines de la vie confirme que toute théorie sur cette question incorpore un ensemble de données émanant de champs disciplinaires très distincts. Les modèles constitués comportent une partie fondamentale constituée par une hypothèse quant à la composition du milieu primitif, la planétologie comparée et la géochimie étant les deux principales disciplines à l'origine de cette phase. Une fois les conditions fixées, des synthèses chimiques sont réalisées qui dépassent rapidement le domaine des molécules simples pour s'attaquer à celui des polymères caractéristiques du vivant. Il conviendra donc d'analyser selon quelles modalités des champs aussi éloignés, mettant en jeu des corpus théoriques et des méthodes aussi distinctes, peuvent être associés.

1.2. La dynamique du modèle de la soupe prébiotique et le rapprochement de disciplines

Au sein des modèles sur les origines de la vie deux questionnements sont donc réunis. Le premier est l'étude des conditions régnant sur le globe lorsque la vie y est apparue, le second consiste en une recherche sur la ou les voies suivies par l'évolution chimique. Du milieu des années 50 aux années 70, l'existence d'un milieu primitif réducteur fut admise comme un dogme. Dans ce contexte, il est intéressant de rechercher les justifications de certains rapprochements de données qui permirent la construction et la rectification du modèle de la soupe prébiotique.

• Origines de la vie et biologie moléculaire

Il est remarquable que la chimie prébiotique, champ expérimental nouveau, ait été progressivement guidée par les résultats de la biologie moléculaire. La confrontation des chronologies des principaux événements qui ont marqué les deux domaines permet de rendre compte de cette influence.

Dans les années 50, la chimie prébiotique s'intéresse aux synthèses d'acides aminés. C'est la biologie moléculaire, et les principes qu'elle dicte alors, qui élargissent le champ de recherche vers les bases azotées. En effet, en 1958, Francis Crick énonce le dogme central de la biologie moléculaire selon lequel l'ADN se voit investi d'une position fondamentale, et c'est en 1960 qu'Oro réalise la synthèse de l'adénine, après que Beadle eut suggéré que la première molécule répliquative

la biologie
moléculaire
influence
la chimie
prébiotique

devenait être une molécule simple constituée d'une répétition de thymine et d'adénine. De la même manière, c'est en 1986 que Gilbert imagine un monde primordial dans lequel l'ARN se voit conférer le premier rôle : ce fait intervient après la révision du dogme central, imposée par la découverte de la transcriptase inverse en 1970, et après la mise en évidence des propriétés autocatalytiques de l'ARN au début des années 80. Cette concordance révèle qu'il existe des liens épistémologiques entre l'étude des origines de la vie et la biologie moléculaire. Ceux-ci reposent en fait sur une opposition méthodologique créatrice d'une complémentarité heuristique. La biologie moléculaire déconstruit la structure vivante pour en comprendre le fonctionnement. Les résultats qu'elle obtient deviennent des buts à atteindre pour les expérimentateurs de la chimie prébiotique. Cette dernière est, pour sa part, reconstructrice, et trouve une partie de sa justification dans le fait que la nature actuelle contient des molécules fondamentales qu'elle s'avère capable de fabriquer.

• *Origines de la vie et traces*

Le domaine des origines de la vie a été également abordé grâce aux méthodes de la micropaléontologie. Les scientifiques qui pratiquent cette discipline, lorsqu'ils s'intéressent à l'origine de la vie, recherchent dans les roches anciennes des traces fossiles des premières cellules. Sur un plan épistémologique il convient d'accorder à ces fossiles une place centrale. Ils représentent les archives tangibles de cette recherche historique que constitue l'étude des origines de la vie. Ce sont des preuves effectives de l'état des formes vivantes à une époque donnée. Une fois mis en évidence les fossiles deviennent, pour les expérimentateurs de la chimie prébiotique et pour les concepteurs des théories, des jalons incontournables.

Une analyse analogue peut être menée quant aux apports de certaines données géologiques. Les roches contiennent en effet des traces qui témoignent d'une évolution de l'atmosphère : de telles archives participent, elles aussi, à jalonner les processus décrits.

Deux approches sont donc associées dans la genèse des modèles. D'une part, celle des chimistes prébioticiens qui veulent reconstituer et comprendre et, d'autre part, celle des naturalistes qui veulent voir. Les origines de la vie constituent un problème historique autour duquel s'assemblent deux types de données. Les premières sont issues d'une démarche reconstructrice, et les secondes d'une investigation de type archivistique. Cette complémentarité permet de formuler un récit plausible de l'histoire de l'apparition de la vie constituent la Terre, dans le strict respect des archives paléontologiques et géochimiques.

la micro-
paléontologie
et la géochimie
posent des
jalons pour les
prébioticiens

1.3. Une communauté symbole de la pluridisciplinarité

L'étude des modalités de la publication des résultats et de la coordination de la recherche peut participer à l'illustration des rapprochements disciplinaires qui caractérisent le domaine des origines de la vie.

Dès les années 50, alors que la chimie prébiotique entame son développement, la communauté internationale se structure. Des réunions internationales ont lieu régulièrement. Le premier rendez-vous majeur se déroule en 1957, sous la forme d'un symposium organisé à Moscou, sous l'égide de l'Académie des Sciences d'URSS (9). À titre d'exemple, il est possible d'en analyser quelques aspects. La variété des thèmes abordés répond à la pluridisciplinarité nécessaire à l'établissement de la théorie dans le domaine des origines de la vie.

Tous les pionniers de la chimie prébiotique sont présents pour soutenir leurs propres résultats ou présenter des bilans. Urey (10), par exemple, traite de la nature de l'atmosphère primitive et consolide son hypothèse des conditions primitives réductrices. Son intervention est prolongée par celle de Miller qui présente un bilan des résultats obtenus durant les dernières années en chimie prébiotique. Fox (11) étudie l'étape de l'évolution chimique qui conduit aux cellules primitives. Son propos souligne nettement l'apport essentiel que constituent les données de biochimie et de biologie moléculaire dans l'édification de tels modèles sur les origines de la vie. Notons aussi la présence de Linus Pauling à ce symposium. Prix Nobel de Chimie en 1954, pour ses travaux sur les liaisons chimiques, il présente à Moscou une communication sur la nature des forces agissant dans les processus de duplication des molécules chez les êtres vivants (12). Pauling, par sa spécialité, enrichit la réflexion, mais il apporte surtout sa caution aux aspects physico-chimiques des raisonnements des biochimistes. En chimiste, il se charge d'analyser la notion de duplication que les biochimistes pourront utiliser de manière courante sans avoir à en justifier les

Symposium de
Moscou en 1957

des savants
d'origines
diverses :
un regroupement
de compétences

-
- (9) FLORKIN, M. (Ed.) (1960). *Aspects of the origin of life, Symposium on the Origin of Life on the Earth, Moscow, 1957*. Oxford, London, N.Y., Paris : Pergamon Press.
- (10) UREY, H.C. (1960). Primitive planetary atmospheres and origin of life. In M., Florkin, (Ed.). *Op.cit.* (pp. 8-14).
- (11) FOX, S. (1960). A chemical theory of spontaneous generation. In M., Florkin, (Ed.). *Op.cit.* (pp. 148-154).
- (12) PAULING, L. (1960). The nature of the forces operating in the process of the duplication of molecules in living organisms. In M., Florkin, (Ed.). *Op.cit.* (pp. 132-140).

mécanismes intimes (13). Dans ce cas s'instaure donc un rapprochement des disciplines par inclusion implicite des données de l'une dans l'édification de l'autre.

La pluridisciplinarité est donc fondamentale pour que l'objectif d'un tel congrès soit atteint. Chaque scientifique présent apporte, dans sa spécialité, des données qui, si elles sont admises par les autres participeront, à l'édification d'un modèle général. Les nombreux congrès qui ont eu lieu depuis ont prolongé ce type d'approche, ils ont tous représenté des lieux de confrontation et de rapprochement des idées, favorisant ainsi, comme cela sera précisé plus bas, une étape essentielle dans la formalisation d'une synthèse.

en 1968,
création
de l'ISSOL...

En 1968, une société scientifique internationale, ayant entre autres objectifs celui d'étudier les origines de la vie, est créée, il s'agit de l'I.S.S.O.L. : International Society for the Origin of Life. La naissance de cette organisation semble due à une volonté de la N.A.S.A. qui la soutient financièrement. Simultanément une revue est fondée, elle s'intitule *Space Life Sciences*. À vocation délibérément pluridisciplinaire, elle est destinée à accueillir des articles sur le thème général des sciences de la vie et de l'espace. Le sommaire du premier numéro est caractéristique : aux cotés d'un article important de Ponnamperuma et Gabel (14) constituant un bilan des recherches dans le domaine de la chimie prébiotique, on peut lire, par exemple, des articles de médecine spatiale. C'est en fait au thème général du vivant dans l'espace que cette revue s'intéresse : le but de la N.A.S.A. étant de préparer les vols habités et d'évaluer les risques de contamination de la planète par d'éventuelles formes de vie extra-terrestre (15). L'I.S.S.O.L. est très rapidement devenue l'institution dominante. Tous les quatre ans, elle organise un congrès international dont le programme se caractérise par la diversité des thèmes abordés.

... une société
savante qui
incarne la pluri-
disciplinarité

En 1974, *Space Life Sciences* devient *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. Comme l'indique ce titre, les objectifs de cette nouvelle revue sont dès lors recentrés. Cependant, dans chaque numéro, la diversité des articles publiés rappelle que la pluridisciplinarité est une nécessité de l'étude des origines de la vie. Les sommaires en témoignent et regroupent des thèmes (16) tels que : la cosmochimie, la paléobio-

-
- (13) Cette situation est tout à fait analogue à celle décrite par Michel Morange concernant l'attitude des "biologistes moléculaires" quant à la chimie quantique.
MORANGE, M. (1986). *Une lecture du vivant*. CIACO éditeur. P. 82.
- (14) PONNAMPERUMA, C. & GABEL, N.W. (1968). Current status of chemical studies on the origin of life. *Space Life Sciences*, 1, 1, 64-96.
- (15) MANOUKIAN, G. (1968). *Space Life Science*. 1, 1.
- (16) *Origins of Life*, 5, 1/2 (1974).

logie, la chimie organique primordiale, l'organisation pré-cellulaire... En outre, ce rapprochement des spécialités se retrouve dans la composition du bureau éditorial où des astronomes, des physiciens, des chimistes, des biologistes et des paléontologistes... se côtoient.

L'I.S.S.O.L. représente donc un lieu où s'est structurée une grande partie de la production scientifique de ces dernières décennies sur les origines de la vie. Elle a été un agent essentiel dans le rapprochement des données provenant d'horizons variés. Cette institution majeure incarne la pluridisciplinarité qui caractérise le domaine qu'elle soutient.

2. LA PLURIDISCIPLINARITÉ ET LA FORMALISATION DES MODÈLES SUR LES ORIGINES DE LA VIE

2.1. Des spécialistes face à une pluridisciplinarité nécessaire

Le chercheur qui aborde la question des origines de la vie doit-il être polyvalent ? Bernal, qui, dès les années 40, a soulevé le problème de la difficulté de traiter des données d'origines variées, pense que cela est indispensable. Vers la même époque, cette spécificité est aussi exprimée par Dauvillier et Desguins (17) : *"Pour pouvoir présenter une théorie cohérente, nous avons fait appel à des disciplines scientifiques qui, à cause des nécessités de la spécialisation, s'ignorent souvent les unes les autres ; entreprise téméraire et prématurée."*

Cette dernière remarque souligne la difficulté de la tâche du scientifique dans cette situation. En effet, la formulation des modèles par un seul auteur le contraint à franchir les limites de sa discipline initiale. C'est là une attitude risquée qui peut être difficile à assumer institutionnellement. Durant la première moitié du siècle, le domaine des origines de la vie n'apparaissait pas comme un champ de spécialisation. Haldane est mathématicien et biologiste, Dauvillier est astronome, Bernal est physicien, mais déjà versé dans la biologie (18). Tous trois possédaient une réputation établie dans leurs domaines respectifs et pouvaient se permettre de franchir certaines limites pour formuler des synthèses théoriques. Le cas d'Oparine est un peu différent. Son texte de 1924 est passé inaperçu dans la communauté internationale. Il poursuit alors une carrière de physiologiste végétal. Son livre de 1938 l'a imposé comme un spécialiste de la question des origines de la vie ce qui est exceptionnel à l'époque.

des auteurs
conscients
d'une pluri-
disciplinarité
nécessaire

(17) DAUVILLIER, A. & DESGUINS, E. (1942). *La genèse de la vie*. Paris : Hermann. P. 124.

(18) Dans les années 40, il participe à l'étude de la structure des protéines grâce à la technique de la diffraction des rayons X.

Ces savants ont donc tous franchi les limites de leur spécialité et assumé le risque de tenir un discours pluridisciplinaire. La démarche de ces pionniers s'est avérée heuristique et leurs hypothèses ont stimulé nombre de travaux expérimentaux à partir des années 50.

la structuration
d'une
communauté

À partir du milieu du siècle, la structuration de la communauté scientifique dans le domaine des origines de la vie a permis le rapprochement des disciplines. Chacun se charge alors d'apporter un complément ou une rectification dans son champ de compétence. Le spécialiste doit donc rechercher l'intégration de ses données dans un modèle global dont l'élaboration ne lui incombe pas. La pluridisciplinarité est inhérente à l'ensemble de la réflexion sur les origines de la vie, mais elle n'est plus une contrainte pour le chercheur. Ce dernier peut se contenter d'avoir conscience que ses recherches s'intègrent dans une dynamique plus vaste, dépendant des acquis de disciplines éloignées. En 1965, Joël de Rosnay, en conclusion de sa communication au Colloque de Paris sur la Biogenèse, insiste sur cette nature collective de l'approche du problème : *"L'Origine de la vie apparaît comme de plus en plus liée à l'évolution sidérale, géochimique et géologique des planètes et de la Terre en particulier. Les progrès qui seront accomplis au cours des prochaines années par les chimistes et les biologistes seront très probablement en relation étroite avec ceux réalisés dans le domaine de l'astrophysique ou de la paléo-géochimie."* (19)

différentes
spécialisations
sont apparues

La nécessité de la pluridisciplinarité ne s'est donc pas démentie depuis le début du siècle dans le domaine des origines de la vie, son application a évolué avec le développement des recherches et l'approfondissement des modèles. Différentes spécialisations sont apparues et concernent l'élucidation d'étapes précises de l'évolution de la matière vers la vie. C'est ainsi que des auteurs comme Miller, Fox ou Oro se sont illustrés particulièrement par certaines synthèses. Oparine lui-même est progressivement apparu comme un spécialiste des coacervats (20) et du métabolisme primitif (21). Ainsi, la spécialisation a permis un développement et un approfondissement des différentes étapes du modèle. Une

(19) ROSNAY, J. de, (1967). Synthèses de molécules d'intérêt biologique par simulation des conditions de l'environnement primitif. In A., Thomas, (Éd.). *Biogenèse* (pp. 180-225). Paris : Masson.

(20) La notion de coacervation a été formulée au début des années 30 par le belge Bungenberg de Jong. Dans les solutions colloïdales ce phénomène est responsable de la formation de structures microscopiques à deux épaisseurs. Au centre, se trouve "le coacervat", constitué par une masse fluide riche en substances colloïdales. Il est entouré par "le liquide équilibré", couche de solution dépourvue de colloïdes, mais en équilibre avec les molécules périphériques du coacervat. Oparine a consacré de nombreux travaux expérimentaux aux coacervats, les considérant comme un modèle analogique des cellules primordiales.

(21) Les distances qu'il prit volontairement avec la génétique ne furent pas étrangères à son intérêt exclusif pour une approche métabolique.

synthèse de l'ensemble de ses apports doit donc être effectuée. Se pose alors la question des auteurs et des modalités de la formalisation d'une théorie complète.

2.2. Formulation et diffusion des modèles synthétiques

L'importance des congrès a déjà été soulignée. L'issue de ces réunions se concrétise généralement par une publication collective. Celle-ci se présente comme un ensemble de données émanant de disciplines et d'approches méthodologiques différentes et c'est au lecteur de réaliser une synthèse globale. Ce sont les chercheurs eux-mêmes, spécialistes du domaine des origines de la vie, qui sont les principaux lecteurs de ces publications. Une synthèse des données leur est utile, mais ils peuvent se contenter d'une modélisation personnelle et informelle qui leur permet de situer leurs travaux dans un contexte plus général, sans pour autant chercher à imposer un récit global des événements. Individuellement chacun d'entre eux est donc consigné dans le champ de sa spécialité, en sortir serait prendre le risque de voir sa compétence contestée. La formulation d'un modèle complet présente un risque institutionnel qu'un chercheur n'est pas toujours prêt à assumer.

Depuis 1950, les synthèses de haut niveau ont été offertes par des spécialistes du domaine des origines de la vie, elles ne sont pas si nombreuses. Cette rareté, qui s'explique sans aucun doute par l'importance du risque qui vient d'être décrit, a contribué à leur donner d'autant plus d'impact.

Le plus souvent ce sont des personnalités de renom qui ont tenté cet exercice. C'est ainsi que nous retrouvons les noms d'Oparine, Haldane, Bernal, Urey ou Calvin... Ils interviennent dans des articles de synthèse (Bernal (22), Miller et Urey (23)...) ou dans des livres dont plusieurs ont fait date. Il est nécessaire d'insister sur l'importance de ces ouvrages (24) dans la diffusion des modèles. Citons, par exemple,

formuler
un modèle sur
les origines de
la vie : franchir
les limites des
disciplines

-
- (22) BERNAL, J.D. (1960). The problem of stages of Biopoiesis. In M., Florkin, (Ed.), *Op. cit.* (note 9) (pp. 30-45).
- (23) MILLER, S. & UREY, H.C. (1959). Organic compounds synthesis on the primitive earth. *Science*, 130, 245-251.
- (24) Il peut être utile de rappeler qu'il existe une problématique du lieu de ce qu'Henri Atlan appelle la théorisation en biologie. Pour lui "ce qui joue le rôle de la théorisation en biologie, c'est le *text-book*, le manuel". C'est là qu'est réuni "dans une même image abstraite, dans un schéma, un modèle, ce qui provient d'observations au départ différentes parce que produites par des techniques différentes". Cette remarque intéresse particulièrement le didacticien. Une de ses tâches consiste, en effet, en un repérage des sources des concepts et notions enseignés et en l'étude de l'évolution de leur formulation. Le constat d'Atlan révèle donc que l'ouvrage de niveau universitaire possède une double fonction, il est un vecteur d'une information scientifique, tout en étant le lieu où celle-ci se structure en une formulation originale. La question des origines n'échappe évidemment pas à cette problématique très générale de la théorisation. ATLAN, H. (1999). *La fin du "tout génétique". Vers de nouveaux paradigmes en biologie*. Paris : INRA éditions. P. 85.

des ouvrages
fédérateurs

ceux d'Oparine (1965) (25), de Dauvillier (26) ou de Calvin (27). C'est dans ces deux types d'écrits que les différentes données sont effectivement rapprochées de manière à constituer un tout cohérent. Les auteurs disposent alors de toute la latitude pour les discuter et proposer les articulations indispensables à l'assemblage d'un modèle pluridisciplinaire. Comme cela a déjà été signalé, la plus fondamentale de ces articulations concerne le rapprochement entre les conditions du milieu primitif déduites de données de planétologie et de géochimie, avec celles de la chimie prébiotique. Ces ouvrages ont proposé de grandes synthèses théoriques qui ont participé à fédérer un consensus autour du modèle de la soupe prébiotique durant trois décennies. On peut leur attribuer une double fonction. D'une part, ils rassemblent les données en une théorie globale des origines de la vie – tout en privilégiant naturellement la sensibilité de l'auteur quant aux options possibles –, d'autre part, ils participent à la diffusion des données, ainsi qu'à celle du modèle constitué, et ce, en dehors de la communauté des spécialistes. L'enseignement du modèle s'avère dès lors possible, au moins au niveau universitaire.

des ouvrages
de vulgarisation
aussi

Enfin, il ne faut pas négliger l'influence de certains ouvrages de vulgarisation. Il semble que ce type d'ouvrage soit apparu après que le modèle de la soupe prébiotique s'est imposé dans la communauté des spécialistes. Certains d'entre eux en ont d'ailleurs signé, par exemple Bernal (28), de Rosnay (29) ou Ponnampuruma (30). Mais le sujet a aussi souvent été traité par des scientifiques non spécialistes de la question. L'objectif pouvant être alors d'intégrer le modèle dans une réflexion plus générale sur le vivant, ce fut le cas de l'ouvrage d'Ernest Kahane, *La vie n'existe pas !* (31).

Les ouvrages de vulgarisation ont été des outils efficaces de diffusion du modèle. La nature pluridisciplinaire des modèles y reste réelle, mais, ces publications n'ayant pas une vocation critique, la complexité due à l'hétérogénéité des données est effacée, au profit d'une présentation simplifiée et idéalisée.

(25) OPARINE, A.I. (1965). *L'origine de la vie sur la Terre*. Paris : Masson.

(26) DAUVILLIER, A. (1958). *L'origine photochimique de la vie*. Paris : Masson.

(27) CALVIN, M. (1969). *Chemical evolution : Molecules evolution towards the origin of living systems on the earth and elsewhere*. Oxford : Clarendon.

(28) BERNAL, J.D. (1972). *L'origine de la vie*. Lausanne : Éditions Rencontre.

(29) ROSNAY, J. de (1966). *Les origines de la vie de l'atome à la cellule*. Paris : Le Seuil.

(30) PONNAMPERUMA, C. (1972). *The Origins of Life*. London : Thames and Hudson.

(31) KAHANE, E. (1962). *La vie n'existe pas !* Paris : Les Éditions de l'Union Rationaliste.

2.3. Chaque modèle constitue un tout masquant la pluridisciplinarité

la nature réductrice du milieu primitif : clef de voûte du modèle

À partir des années 50, le modèle de la soupe prébiotique s'est imposé comme un tout cohérent et a été admis par nombre de scientifiques. Durant plusieurs décennies le dogme de la nature réductrice de l'atmosphère prébiotique a conditionné de manière hégémonique les choix expérimentaux de la chimie prébiotique. Il y avait là une fragilité ignorée de l'ensemble de l'édifice. La proposition sur la nature de l'atmosphère primitive conditionnait en fait le caractère plausible de l'ensemble du récit évolutif.

remise en cause au début des années 80

Au début des années 80, des données de géochimie ont abouti à la remise en question de la nature réductrice du milieu prébiotique (32). Le dioxyde de carbone est dès lors apparu comme un constituant non négligeable de l'atmosphère primitive. Cette nouvelle conception oblige à une révision de l'ensemble de l'édifice théorique pluridisciplinaire. Si les résultats issus de la chimie prébiotique ont conservé leur intérêt, c'est seulement après un changement considérable de leur contexte d'interprétation.

Cette nouvelle situation a permis de revaloriser des idées plus anciennes et jusque-là un peu marginales, ce fut le cas, par exemple, de la théorie de Cairns-Smith (33) qui insiste sur le rôle des argiles et sur la "relève génétique" (34). De nouvelles propositions, comme celle de Wachtershäuser (35) concernant le métabolisme de surface, avec notamment le rôle de la pyrite, ont pu voir le jour. Toutes ces données, anciennes et récentes, sont en fait actuellement à la recherche de nouvelles articulations qui, une fois établies, permettront de proposer de nouveaux processus et un modèle complet. C'est cet ensemble complexe et non stabilisé qui constitue l'objet de notre enseignement.

(32) PINTO, J.P., GLADSTONE, G.R. & YUNG, Y.L. (1980). Photochemical production of formaldehyde in the earth's primitive atmosphere. *Science*, 210, 183-185.

(33) CAIRNS-SMITH, A.G. (1990). *L'énigme de la vie, Une enquête scientifique*. Paris : Éditions Odile Jacob.
CAIRNS-SMITH, A.G. (1966). The Origin of Life and the Nature of the Primitive Gene. *Journal of Theoretical Biology*, 10, 53-88.

(34) Selon Cairns-Smith, au cours de l'évolution des premières formes de vie, le support matériel de l'information génétique aurait pu changer une ou plusieurs fois.

(35) WACHTERSÄUSER, G. (1988). Before enzymes and templates : theory of surface metabolism. *Microbiological review*, 52, 452-484.

3. LA PRÉSENTATION DIDACTIQUE DU MODÈLE ET SA NATURE PLURIDISCIPLINAIRE

3.1. La pluridisciplinarité est reconnue par les programmes et instructions officiels

Dans les programmes de la classe de Terminale S, en vigueur actuellement, la nécessité d'une approche pluridisciplinaire apparaît de manière évidente et découle naturellement de la conception de l'ensemble de la partie intitulée : *"Histoire et évolution de la Terre et des êtres vivants"* (36).

Les activités envisagées illustrent parfaitement cette diversité :

"Étude, sur documents, de la composition des gaz dans les nébuleuses, des poussières planétaires, des molécules organiques des météorites.

Analyse des expériences de Miller, Oparine...

Observation de stromatolithes sur lames minces et/ou sur documents.

Étude, sur les documents, de gisements archéens, choisis en fonction de leur intérêt dans la reconstitution de l'atmosphère et de la vie primitives..."

La démarche pluridisciplinaire est encore soulignée par le document d'accompagnement qui précise que *"c'est dans le cadre géologique qu'est située l'étude chronologique de l'apparition et de la diversification de la biosphère."* Enfin, notons que le programme insiste, avec raison, sur la nécessité d'étudier *"la liaison entre l'évolution des êtres vivants et celle de l'atmosphère"*.

Le sujet est donc éminemment pluridisciplinaire. Mais, le travail du professeur ne pourra se limiter à guider ses élèves simplement d'un domaine à l'autre, dans l'espoir que des liens se noueront spontanément. Il est en effet impossible de formuler facilement un modèle, certaines difficultés ne peuvent être contournées et une attitude critique est nécessaire. Celle-ci se traduit dans le programme par les termes suivants : *"Le mécanisme du passage de ces molécules à la cellule est encore très problématique."* Dans le document d'accompagnement il est précisé qu'il convient d'éviter *"les spéculations sur l'origine des premières molécules semblables à celles de la vie"* (37). Il est en outre précisé dans quelles limites il faut interpréter les expériences de Miller, celles-ci ne servant qu'à montrer qu'il est possible d'effectuer des expériences de chimie prébiotique.

en Terminale,
des
programmes
et des objectifs
pluridisciplinaires

(36) Ministère de l'Éducation Nationale (Éd.) (Réédition 1995). *Sciences de la vie et de la Terre, Classes de seconde, première et terminale*. Paris : CNDP. Pp. 72-73.

(37) Document d'accompagnement, p. 27.

une place
pour l'histoire
des sciences

Concernant ce dernier point, nous voyons la place que devront occuper les données d'histoire des sciences. Le professeur devra comprendre qu'il convient de replacer les premières expériences de chimie prébiotique dans le contexte historique qui leur conférait leur validité, c'est-à-dire en association avec l'hypothèse de l'atmosphère réductrice et un milieu prébiotique exempt de dioxyde de carbone.

Il apparaît donc que, dans les lignes de ce programme et dans les instructions, nous retrouvons une nouvelle fois l'articulation entre les domaines qui permettent de définir les conditions primitives, et la chimie prébiotique qui tente de décrire les premières étapes. C'est précisément, parmi d'autres, cette relation très délicate que les élèves devront s'efforcer de maîtriser pour réussir certaines épreuves du baccalauréat qui en appellent l'analyse.

une première
approche en 4^e

Enfin, soulignons que les nouveaux programmes de la classe de Quatrième, dans la partie intitulée "*Histoire de la vie, histoire de la Terre*", s'attachent à montrer, à l'image des programmes de Terminale, "*qu'il existe des interdépendances entre l'histoire de la vie et l'histoire de la Terre*" (38). Dans cet esprit, nous retrouvons dans les contenus et notions, l'articulation entre les conditions de milieu et la formation de la vie : "*La Terre s'est formée il y a environ 4,5 milliards d'années. Les premières étapes de son évolution – diminution de la température de sa surface, formation des premières étendues d'eau – ont permis l'apparition de la vie, environ un milliard d'années plus tard.*" Dès la classe de Quatrième les élèves doivent donc être capables de rapprocher des données et d'étudier "*sur un exemple, une relation entre des événements survenus à la surface de la Terre et des changements dans le monde vivant*".

3.2. Enseigner les théories sur les origines de la vie : révéler une construction et construire

Un modèle concernant les origines de la vie est donc une construction issue de nombreux champs disciplinaires. Dans la réalité des études sur les origines de la vie, un modèle est un ensemble complexe, résultat d'un travail de synthèse critique effectué par la communauté scientifique sur une longue durée. En classe de Terminale, sans prétendre à la redécouverte, l'enseignement d'un tel modèle se fixe comme objectif l'exploitation de données permettant de le reconstruire. La tâche de l'élève consiste à analyser ces données, à les relier entre elles, et finalement à formuler une proposition présentant les étapes d'un processus d'apparition de la vie.

(38) Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Direction des Lycées et Collèges (Éd.) (Réédition 1997). *Programme du cycle central 5^e et 4^e, livret 1*. Paris : CNDP. P. 69.

Le modèle obtenu aura les vertus soulignées par Jean-Pierre Astolfi et Michel Develay (39), il facilitera “*la représentation du caché*” et aidera “*à penser le complexe*”. Dans le cas qui nous intéresse, le *caché* est dû au fait que le processus étudié est définitivement révolu et non reproductible, le *complexe* est la conséquence de la nature variée et de la multiplicité des données.

Le modèle didactique qui se structure au cours de l'apprentissage constitue un savoir. Dans le cas précis de l'étude des origines de la vie, “*ce double caractère hypothétique et systémique*” (40) signalé plus haut repose sur la pluridisciplinarité qui n'est pas sans engendrer certaines contraintes :

- Il est nécessaire de faire reconnaître les diverses méthodologies mises en œuvre dans la production des données exploitées en classe.

la pluridiscipli-
narité impose
des contraintes
didactiques

- Les élèves doivent apprendre à distinguer le statut épistémologique des résultats expérimentaux de la chimie prébiotique de celui des archives fossiles ou traces géologiques, qui ont valeur d'archives historiques.

- Chaque fait nouveau, malgré son origine distincte, doit être articulé avec les autres.

- Une présentation exhaustive de l'ensemble des données nécessaires est impossible.

À l'issue d'un tel travail, l'élève est en présence d'un modèle didactique qui ne constitue pas une reconstruction exacte d'un modèle proposé par des spécialistes. Il s'agit bien d'une construction originale, plus limitée et fondée sur un choix plus restreint de données, mais produite grâce à une méthode analogue à celle régissant la réalité scientifique. Pour l'enseignant, les modèles des spécialistes sont des objectifs, mais la multiplicité et le contenu des données à dominer pour les construire sont à l'origine d'une complexité qui les rend difficiles à atteindre.

Le savoir constitué par les modèles obtenus en classe est donc le fruit d'une transposition didactique qui pourra, si on n'y prend garde, engendrer une part de dogmatisme. Celui-ci sera cependant limité si la construction d'un tel modèle est associée à une démarche critique qui permet d'en montrer les limites et ainsi de le maintenir sous “*surveillance épistémologique*” (41).

(39) ASTOLFI, J.-P. & DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France. P. 94.

D'après : MARTINAND, J.-L. (1987). Modèles et simulation : en guise d'introduction. In A., Giordan, J.-L., Martinand, (Éds.). *Actes des IX^{es} JIES* (pp. 33-43). Paris : DIRES – Université Paris VII.

(40) *Ibid.* (p. 95).

(41) ASTOLFI, J.-P., DAROT, E., GINSBURGER-VOGEL, Y. & TOUSSAINT, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. Paris-Bruxelles : de Boeck. P. 181.

3.3. Et le temps dans tout ça ?

Avant de conclure, il n'est sans doute pas inutile d'insister sur le caractère historique du problème des origines de la vie. Cette spécificité n'est pas sans conséquence sur la démarche scientifique mise en œuvre et sur l'identité épistémologique des théories obtenues.

L'apparition de la vie est un processus passé qui s'est déroulé dans une époque lointaine de l'histoire de la Terre, il n'est accessible à aucune investigation directe. Son étude scientifique consiste comme nous l'avons vu en un ensemble de reconstitutions expérimentales et théoriques, associées avec des études d'archives paléontologiques et géologiques. Ces investigations et la construction des théories reposent en partie sur des prémices fondamentales concernant la nature des conditions régnant dans le milieu primitif. Sur ce point le rapprochement des disciplines constitue une articulation cruciale.

Confrontées aux critères de scientificité de Popper, les théories sur les origines de la vie s'avèrent non falsifiables. Le caractère historique du processus de l'apparition de la vie place le scientifique dans une situation où les critères de validité sont... originaux. L'investigation par des moyens scientifiques est la seule justifiable et la rigueur des résultats obtenus est incontestable, cependant la nature historique du problème interdit tout test valable.

Si l'on admet donc le fait que la science s'intéresse à un objet historique lorsqu'elle s'intéresse aux origines de la vie, on peut alors admettre aussi que les énoncés reconstructeurs qu'elle propose sont des récits historiques. Au demeurant, si le scientifique fait œuvre d'historien en étudiant les origines de la vie, cette tâche s'avère délicate. Il doit en effet l'effectuer avec un minimum d'archives, les fossiles sont beaucoup plus rares pour cette période précoce que pour l'évolution ultérieure. La situation devient donc doublement paradoxale, la science propose des reconstitutions qu'elle ne peut prouver absolument et l'approche historique manque d'archives.

Il n'en reste pas moins que des propositions existent de manière légitime, car si le problème des origines de la vie est éminemment historique, seule la science peut tenter de le résoudre. Cette situation épistémologique semble relativement exceptionnelle; l'étude des origines de la vie est un cas particulier au sein de la recherche scientifique sur le vivant. Elle produit des énoncés ayant un statut hybride entre la théorie et le récit, on pourrait les qualifier de "théories-récits" (42).

les origines
de la vie,
un thème
historique

le scientifique
se fait historien

(42) TIRARD, S. (1996). *Les travaux sur l'origine de la vie de la fin du XIX^e siècle jusqu'aux années 1970*. Thèse, Université Paris 7.

TIRARD, S. (Sous presse). Origine et cause : les origines de la vie. In G., Rumelhard, (Éd.). *Les formes de la causalité en biologie*. Paris : INRP.

Face à ce sujet l'élève n'est pas seulement confronté à une diversité de données et de méthodes, mais à des objets aux statuts épistémologiques différents, ce qui est plus original. La grande difficulté réside dans le fait qu'il doit comprendre qu'il s'occupe d'une question historique et que l'expérience sert à la fois à tester les possibles, mais aussi à proposer des reconstitutions des étapes d'un processus

CONCLUSION

La formulation d'une théorie complète sur les origines de la vie nécessite des rapprochements de disciplines. Le caractère historique de ce domaine accentue cette nécessité en imposant, qu'après une définition du milieu primitif, deux méthodologies complémentaires, les recherches d'archives paléontologiques et géologiques et les expérimentations de la chimie prébiotique, soient rapprochées pour constituer des modèles valides.

Dans la réalité les théories sont le résultat d'un long travail de synthèse, continuellement associé à une analyse critique. L'élève, quant à lui, tout en réalisant une synthèse simplifiée, doit prendre conscience de toutes ses spécificités épistémologiques qui, précisément, en fixent certaines limites.

Stéphane TIRARD
Lycée Claude Bernard, Paris

Dans ces deux textes, ainsi que dans le paragraphe 3.3, l'analyse de la nature historique du problème des origines de la vie repose sur la réflexion menée par certains historiens sur leur propre discipline (a), ainsi que sur des analyses épistémologiques des sciences historiques (b). Citons notamment :
 (a) BLOCH, M. (1941). *Apologie pour l'histoire ou Métier d'historien*. Édité par E., Bloch (1993). Paris : Armand Colin.
 FURET, F. (1982). De l'histoire-récit à l'histoire problème. In *L'atelier de l'histoire*. Paris : Flammarion.
 (b) GOHAU, G. (1987). *Une histoire de la géologie*. Paris : La Découverte.
 Stephen Jay Gould s'est penché plusieurs fois sur cette question, on peut se référer notamment à :
 GOULD, S.J. (1995). La paléontologie, une fiction des origines. In UNESCO (Éd.). *Qu'est-ce qu'on ne sait pas ? Les rencontres philosophiques de l'UNESCO* (pp. 62-64). Paris : Découvertes Gallimard / UNESCO.
 MAYR, E. (1989). *Histoire de la biologie. Diversité, Évolution et hérédité*. Paris : Fayard.