

L'INVENTION DE LA BIOSPHERE : LES FONDEMENTS D'UNE METHODE

FLORIAN CHARVOLIN

En même temps qu'il créait la notion de Biosphère, Vladimir Vernadsky posait dès 1923 les bases d'une méthode qui alliait holisme et interdisciplinarité. Ses travaux paraissent aujourd'hui pionniers tant ils renvoient à des préoccupations et à des débats actuels. D'où l'intérêt de mettre en évidence les principes de sa méthode.

Résumé en français p. 28

« L'étude des phénomènes biogéochimiques, poussée le plus avant possible, nous fait pénétrer précisément dans ce domaine des manifestations connexes de la vie et de la structure physique de l'univers, et, en même temps, dans celui des futures théories scientifiques. On s'explique le profond intérêt philosophique que présentent actuellement les problèmes biogéochimiques » (Vernadsky 1929 p.230).

Les développements de l'écologie globale ont récemment remis sur le devant de la scène le problème des rapports entre disciplines scientifiques spécialisées. L'interdisci-

plinarité y apparaît souvent comme un enjeu, un horizon à atteindre, voire un sujet de controverse. Le livre *La Biosphère* de Vladimir Vernadsky, paru en France en 1929 après une première édition russe (1926), fournit une occasion remarquable de s'écarter momentanément de la polémique et de reprendre cette question en examinant comment Vernadsky, il y a soixante-dix ans, avait déjà posé et résolu à sa manière le problème de l'interdisciplinarité.

L'auteur est un géochimiste russe, formé à la pédologie par Doukouchaev. Dans son livre de 1929, il reprend le terme de "Biosphère" du livre d'Eduard Suess, *La Face de la Terre*, et en fait le concept-clé d'une nouvelle science traitant la vie comme un phénomène global, science qu'il appelle la "biogéochimie". Son ouvrage rend compte des obstacles qu'il lui a fallu surmonter pour ce faire, tant du côté de la spécialisation scientifique que d'une épistémologie expérimentale déjà répandue à son époque. Comme l'évoque la citation mise en exergue, le livre propose à la fois une avancée pour la représentation scientifique de la nature et une réflexion de philosophie des sciences. Comment Vernadsky a-t-il fait le lien entre ces deux facettes de la question du global en écologie ? Je répondrai à cette question par une analyse rhétorique des détails de l'argumentation proposée par *La biosphère*, en renvoyant le lecteur aux travaux déjà réalisés sur l'œuvre du savant russe (Grinevald, 1987 ; Deléage, 1991).

Cette approche rhétorique est rendue d'autant plus nécessaire que Vernadsky

insiste sur l'importance de la partie scripturale de l'activité scientifique au détriment de la part consacrée aux expériences. La production d'un savoir biogéochimique sur la biosphère nécessiterait une réduction spécifique du réel, qui aurait pour cœur des actions de centralisation et d'abstraction de l'information. On peut parler d'"abstraction expérimentale" pour qualifier cette opération scientifique. Elle confère au livre *La biosphère* une double dimension rhétorique : comme n'importe quel ouvrage scientifique, il rend compte de faits et de théories, mais à la différence des livres de science expérimentale, il constitue également un lieu central pour la production de la synthèse biogéochimique.

Pour aborder cette double dimension, on commencera par là où débute le texte, c'est-à-dire par l'examen des justifications d'une épistémologie non expérimentale pour isoler un niveau global de phénomènes : la Biosphère. Cette étude du cadre théorique de l'ouvrage permettra de clarifier ensuite la place assignée aux abstractions expérimentales en matière biogéochimique. La troisième partie appliquera les conclusions ainsi obtenues à l'ensemble du livre pour démontrer les stratégies rédactionnelles qui lui permettent de faire la synthèse des connaissances spécialisées.

LA VIE COMME PHÉNOMÈNE GLOBAL

Entre principes et contingences

Dès sa première partie, l'ouvrage affirme qu'on ne peut étudier la biosphère

ABSTRACT : The invention of the "Biosphère" : Statements of a method

In 1929, V. Vernadsky published *La Biosphère* in French. This book, dealt in a new way with the problem of Life on the Earth and anticipated the current growth of global ecology. His author proposed a theory of "biogeochemistry" which simultaneously addressed the problem of interdisciplinary synthesis (geology, biochemistry, etc.) and some considerations about the legitimacy of knowledge and the scholar's place. The paper details the literary strategies of the book, and characterizes the art of reducing reality introduced by scientific globalization, using the term of experimental abstraction. This concept is defined as the unification of the experimental phase and the phase of scientific inscription in a common work of managing and abstracting information. It results in an epistemic configuration, different from the experimental sciences, which enables the convergence of traditionally segmented disciplinary areas.

sans modifier largement les pratiques d'observation et la place du savant. Cette relation entre phénomène global et méthode macroscopique va servir à positionner l'ensemble du livre et en particulier à fixer les limites entre lesquelles l'argument entend passer : ni philosophie, ni sciences spécialisées.

Après la préface à l'édition russe (1926), le livre s'ouvre sur une expérience de pensée étonnante, trente ans avant les premiers satellites. Il s'agit de découvrir la planète dans son unité, en prenant un point d'observation extra-terrestre : « La face de la Terre, son image dans le Cosmos, perçue du dehors, du lointain des espaces célestes infinis, nous paraît unique, spécifique, distincte des images de tous les autres corps célestes. La face de la Terre révèle la surface de notre planète, sa biosphère, ses régions externes, régions qui la séparent du milieu cosmique » (p. 1). L'affirmation d'une interaction généralisée entre les éléments vivants ou inertes, qui fonde l'unité de la biosphère, est entièrement suspendue à une position "transcendantale" de l'observateur. Le recours à l'expérience de pensée, à l'imagination agit comme une décentration de la position anthropocentrique du savant. Pour pouvoir accéder à un phénomène global comme la biosphère, il lui faut élaborer un champ de vision lui-même global.

Immédiatement cette image du savant risque d'être assimilée à celle traditionnellement dévolue au philosophe. Ce dernier n'est-il pas le maître de la synthèse ? N'est-il pas le familier du travail sur les principes du monde ? L'optique macroscopique, introduite dès les premiers paragraphes, conduit ainsi naturellement le texte à aborder rapidement la question des rapports entre philosophie et science de la biosphère. Il écarte l'une après l'autre les questions de principes généraux qu'il entend ne pas aborder. Il ne s'agit pas de discuter des problèmes de vitalisme, de matérialisme, ou de se pencher sur la question de l'émergence de la vie. Dans ses remarques conclusives, l'auteur reviendra explicitement sur la séparation radicale qu'il fait entre science et philosophie : « Le naturaliste doit exclure de sa conception de l'univers toutes les notions philosophiques ou religieuses qui ont pénétré du dehors dans

la science. L'admission dans les problèmes de l'évolution de l'indépendance de l'organisme par rapport à son milieu et d'une opposition entre ces deux facteurs serait une erreur de ce genre » (p. 228). Le texte de la *biosphère* choi-

sit résolument le camp de la science contre la réflexion sur les fondements du monde.

Mais l'ambition de saisir la biosphère dans sa globalité se heurte du côté scientifique à des habitudes qui la rendent impraticable.

PRÉFACE DE L'ÉDITION FRANÇAISE (extraits)

[...] Le but de ce livre est d'attirer l'attention des naturalistes, des géologues, et surtout celle des biologistes sur l'importance de l'étude quantitative de la vie dans ses rapports indissolubles avec les phénomènes chimiques de la planète.

Nous avons tâché de rester constamment sur le terrain empirique, sans faire d'hypothèses, terrain encore bien restreint, en raison du petit nombre d'observations et d'expériences quantitatives précises dont on dispose.

Il est essentiel à l'heure présente de rassembler dans le temps le plus court le plus grand nombre possible de faits empiriques exprimés quantitativement.

On en saurait tarder à y réussir, dès que la haute portée de la biosphère dans les phénomènes vitaux deviendra évidente.

Peut-être cet essai, dont l'objet est de mettre cette portée en lumière, ne passera-t-il pas inaperçu. [...]

PRÉFACE DE L'ÉDITION RUSSE (extraits)

Parmi les nombreux ouvrages géologiques il manquait une étude d'ensemble sur la biosphère, qui l'exposât comme un bloc intégral, comme la manifestation régulière du mécanisme de la planète, de sa région supérieure, l'écorce terrestre.

La soumission même de l'existence de la biosphère à des lois fixes n'est généralement pas prise en considération.

La vie sur la Terre est envisagée comme un phénomène accidentel, c'est ainsi que nos conceptions scientifiques méconnaissent l'action de la vie sur la marche des processus terrestres qui se manifestent à chaque pas : nous entendons la non-contingence du développement de la vie sur la Terre et la non-contingence de la formation, à la surface de la planète, et à la limite du milieu cosmique, d'une enveloppe spécifique pénétrée de vie, la biosphère.

Un tel état de connaissances géologiques est en rapport étroit avec la notion particulière historiquement élaborée, qui envisage les phénomènes géologiques comme un ensemble de manifestations de causes insignifiantes, comme un peloton d'accidents. On perd la notion scientifique de phénomènes géologiques comme de phénomènes planétaires, dont les régularités ne sont pas propres à notre Terre seule ; la notion de la structure de la Terre comme d'un mécanisme dont les parties forment un ensemble harmonieux et dont les particularités doivent être étudiées en relation avec cette

notion du mécanisme, c'est-à-dire comme d'un ensemble indivisible.

En géologie, ce sont les particularités seules des phénomènes se rapportant à la vie qui sont généralement étudiées. L'étude du mécanisme dont ils font partie n'est pas posée comme un problème scientifique. Dès lors et faute de la conscience de l'existence de ce problème, l'investigateur passe à côté de ces manifestations qui l'entourent sans les apercevoir.

Dans ces essais, l'auteur a tenté de considérer autrement l'importance géologique des phénomènes vitaux.

Il ne construit aucune hypothèse. Il tâche de demeurer sur un terrain solide et ferme, celui des généralisations empiriques. Se basant sur des faits précis et incontestables, il essaie d'exposer la manifestation géologique de la vie, de donner un tableau du processus planétaire qui se déroule autour de nous. [...]

[...] Sans anticiper sur l'existence du mécanisme de la planète combinant les diverses parties de celle-ci en un ensemble indivisible, il tâche d'embrasser à ce point de vue tous les faits empiriques scientifiquement établis et perçoit la concordance parfaite de cette idée avec celle de la répercussion géologique de la vie. Il lui semble que l'existence du mécanisme planétaire comprenant la vie et en particulier la région de sa manifestation, la biosphère, comme sa partie intégrante, répond à toutes les données empiriques et découle nécessairement de son analyse scientifique. [...]

Dans un sens, la routine scientifique sort rarement d'un point de vue local¹. Pour qualifier les phénomènes avec toujours plus de précision, elle décompose et aboutit à des résultats de plus en plus spécialisés. En adoptant cette direction de recherche, la question des interactions entre des phénomènes relevant de plusieurs sciences est une interrogation impossible. Soit on postule qu'elles ne répondent à aucune régularité, ce sont des "pelotons d'accidents", selon les termes de *La biosphère*. Soit on reconnaît la possibilité d'une régularité des relations mais qui est tellement complexe que la science empirique ne peut la saisir. Le livre doit s'opposer à ces deux versions de la science pour pouvoir imposer son objet d'étude : « L'une de ces idées [les idées préconçues que le livre remet en cause] c'est la conception [...] de phénomènes géologiques comme des coïncidences accidentelles de causes, aveugles par leur essence même, ou apparaissant telles, par suite de leur complexité et de leur pluralité inaccessible à la pensée scientifique de l'époque actuelle. Cette idée préconçue, courante dans la science, est en relation partielle avec les concepts de l'univers philosophiques et religieux déterminés ; elle est généralement basée sur une analyse logique imparfaite des fondements des connaissances empiriques » (p. X).

Pour pouvoir imposer la validité de la biosphère prise comme un tout, le texte se bat sur deux fronts. Contre la réflexion philosophique sur les principes, il invoque la science. Mais à l'intérieur de la science, il doit affirmer la non contingence des interactions entre phénomènes isolés et qualifiés par des disciplines spécialisées.

CRITIQUE DE LA THÉORIE

Ceci passe par la critique de la réduction du réel par la théorisation. En effet, la biosphère n'est pas implicitement admise en 1929, et la possibilité de l'étudier comme un fait scientifique nécessite de l'ouvrage qu'il se justifie sur le terrain épistémologique. Comme l'énonce la citation précédente, il faut revenir sur les "fondements de la connaissance empirique". Comment, à partir d'épreuves tou-

jours locales du réel, en déduire des représentations globales à l'échelle de la Terre ? Le livre doit revenir sur les modalités implicites de la généralisation scientifique. Il s'interrogera à plusieurs reprises sur le passage d'un réel complexe à une représentation compliquée du réel. Deux arguments sont avancés. D'une part le caractère spécialisé des connaissances scientifiques n'est pas directement observable dans la nature, mais il résulte de la place centrale traditionnellement accordée à la théorie dans l'activité scientifique. D'autre part, la possibilité de spécialiser le savoir à l'intérieur de la science, suppose de s'appuyer sur des représentations extrascientifiques de la globalité.

Très rapidement, deux conceptions différentes de l'opération de réduction scientifique sont mises en scène. L'option de Vernadsky reçoit le nom de "généralisation empirique". On y reviendra dans la section suivante. Elle s'oppose à une conception de la science procédant par hypothèse théorique, qu'il convient d'examiner plus en détail. C'est elle que je développerai pour l'instant.

Le texte de *La biosphère* montre les liens entre la spécialisation scientifique et l'épuration intellectuelle du réel qui se produit lors de l'établissement d'une hypothèse : « L'hypothèse ou la construction théorique est bâtie d'une façon absolument différente [de la généralisation empirique]. On n'y prend en considération qu'une seule ou qu'un petit nombre des propriétés essentielles du phénomène sans tenir compte du reste, et on édifie la représentation du phénomène sur cette seule base » (p. 24). La construction théorique est donc le moment crucial de la réduction du réel. Elle isole un groupe de propriétés, les spécialise pour pouvoir les étudier, et conduit *in fine* à considérer l'interaction généralisée des éléments – la biosphère – comme un "peloton d'accidents". Elle rejette ainsi la question de l'unité de la Nature en dehors de son champ d'investigation. Qu'il existe un enchaînement continu entre faits disciplinaires différents (biologie, chimie, etc.) est considéré comme un problème non scientifique.

La critique épistémologique développée dans le livre ne s'arrête pas là. Elle montre

1. Local est ici pris dans le sens de l'antithèse de global et non pas comme le contraire d'universel. Le livre n'est en effet pas critique vis-à-vis des procédés d'universalisation de la science. Il revendique au contraire, avec un certain scientisme (DELÉAGE 1991, p. 209), la certitude universelle des résultats scientifiques.

que, si cette unité de la Nature est rejetée de la science par la construction théorique, elle doit cependant en même temps être postulée comme une externalité pour que la spécialisation du savoir puisse opérer. Ce qui permet de trier les phénomènes réels, lors de l'élaboration d'un modèle théorique ou d'un jeu d'hypothèses, n'est pas donné dans les faits qu'il s'agit de représenter, mais est importé de l'extérieur de la science. La suite de la citation précédente stipule en effet que « l'hypothèse scientifique dépasse toujours – souvent considérablement – les bornes des faits qui lui ont servi de base ; dès lors, elle est obligée, pour obtenir la solidité nécessaire, de se rattacher autant que possible, à toutes les constructions théoriques dominantes de la Nature, et de ne pas les contredire » (p. 24). Autrement dit, il faut à la science spécialisée une représentation philosophique ou religieuse de la Nature pour pouvoir isoler les éléments sur lesquels vont porter les expériences. Cette affirmation d'une complémentarité entre philosophie holiste de la nature et spécialisation du savoir scientifique se retrouvera à de nombreuses reprises dans le texte².

En montrant l'impossibilité pour la science de se passer d'une représentation de la totalité naturelle, l'ouvrage cherche à légitimer une recherche qui prendrait justement cette totalité pour objet. Et l'approche globale qu'il va proposer peut se lire comme une tentative d'intégrer cette question dans le travail scientifique.

LE RÔLE EXPÉRIMENTAL DE L'EXERCICE D'ABSTRACTION

On peut facilement considérer l'argument épistémologique de l'auteur comme paradoxal, si on s'en tient aux deux conclusions apparemment contradictoires formulées jusqu'à présent. D'abord la réduction scientifique du réel ne peut se passer de la synthèse philosophique et des idées générales pour fonder son activité interne. Ensuite, il est important de ne pas confondre le travail scientifique et la réflexion philosophique ou l'opinion.

Le paradoxe s'estompe dès lors qu'on considère dans le détail le rôle joué par l'exer-

cice d'abstraction dans le texte de *La biosphère*. Ce que Vernadsky appelle la "généralisation empirique" consiste à placer cette opération d'abstraction au cœur du dispositif expérimental au lieu de disjoindre les questions de représentation et d'expérimentation. On propose la notion d'abstraction expérimentale pour qualifier le rôle original dévolu à l'exercice d'abstraction dans l'ouvrage. Il faut commencer par définir ce nouvel exercice par rapport aux notions usuelles de l'étude des sciences, avant d'examiner comment il permet de tenir une définition de la science à la fois en terme d'activité de synthèse intellectuelle et de vérification empirique.

L'abstraction expérimentale

Le terme se distingue de deux concepts familiers de la sociologie et de l'histoire des sciences : le compte rendu d'expérience et la catégorie intellectuelle.

L'abstraction expérimentale n'est pas assimilable à un compte rendu d'expérience. La sociologie des sciences a l'habitude de décrire le travail sur les documents, les graphiques, les images, les concepts, etc. comme une activité d'"inscription" (Latour, 1985) des expériences faites en laboratoire ou des collections d'objets rassemblés dans les musées. Elle montre la succession entre la phase où le scientifique se confronte aux choses par une série d'épreuves, et la phase où il arrange les comptes rendus de ces épreuves pour les publier, les théoriser ou produire des calculs.

C'est cette coupure entre expérience et compte rendu qui est remise en cause par le texte de *La Biosphère*. Vernadsky attribue cette coupure au modèle de la science expérimentale contre lequel il s'inscrit. On a vu jusqu'à présent que la réduction du réel par la théorie était considérée comme le moment central de la spécialisation. L'ouvrage la décrit également comme une condition importante de la vérification *a posteriori*. Le recours à l'hypothèse, en isolant un petit groupe de propriétés, rend possible le montage d'un dispositif expérimental localisé et réduit, pour administrer la preuve. Autrement dit, la théorisation permet de reporter à une étape ultérieure le temps de

l'expérimentation. Dans la version de la science critiquée par l'ouvrage, l'étape de l'abstraction théorique intervient avant celle de la vérification empirique. Et c'est pour contrer cette succession théorie-expérience que la notion de "généralisation empirique" est introduite. Contrairement à la théorisation, la généralisation empirique ne se situe pas en milieu de course, avant l'administration de la preuve. Elle représente l'aboutissement du travail scientifique. Comme le souligne le livre : « La généralisation empirique n'exige donc point de vérification après qu'elle a été déduite des faits avec exactitude. Notre exposé ultérieur n'est basé que sur de semblables généralisations empiriques, appuyées sur l'ensemble des faits connus et non sur des hypothèses et des théories » (p. 24). L'exercice d'abstraction nécessaire pour étudier le global réunit, en un seul moment, le temps de l'expérimentation et le temps de la représentation du résultat scientifique.

Pour aboutir à une généralisation empirique valide, le travail ne passera donc pas directement par une expérience de laboratoire. Le texte est catégorique sur ce point. On pourrait alors assimiler l'abstraction expérimentale à la notion de catégorie intellectuelle ou de conceptualisation. L'historiographie française de l'écologie a généralement fait un usage tacite de ces notions en situant l'analyse essentiellement au niveau sémantique et en passant sous silence les instruments et les pratiques des scientifiques (Drouin, 1991 ; Deléage, 1991). L'abstraction expérimentale serait-elle alors assimilable à une réflexion intellectuelle en chambre ? Après la critique minutieuse de la théorisation présentée ci-dessus, on aura compris qu'il n'en est rien. Elle désigne un ensemble de pratiques concrètes, telles que la centralisation des données, leur triage, leur synthèse intellectuelle, et d'autres types de manutention de l'information (Latour, 1989 p. 394).

Le texte de *La Biosphère* est relativement allusif sur ces pratiques. À de nombreuses reprises, il énonce qu'il s'agit de collecter, de totaliser des résultats scientifiques, et d'expérimenter des mises en ordre sémantiques. Il prévient par exemple dans la préface :

LA BIOSPHERE

TABLE DES MATIERES

Préface de l'édition française VII	§ 90. La matière vivante de premier et de second ordre dans la biosphère 116	
Préface de l'édition russe IX	§ 103. Les limites de la vie 135	
PREMIERE PARTIE		
La Biosphère dans le Cosmos		
§ 1. La biosphère dans le milieu cosmique I	§ 111. Les limites de la vie dans la biosphère 143	
§ 8. La biosphère comme région des transformations de l'énergie cosmique 12	§ 125. La vie dans l'hydrosphère 158	
§ 12. Généralisation empirique et hypothèse 19	§ 138. Cycles géochimiques des concentrations et des pellicules vitales de l'hydrosphère 173	
§ 19. La matière vivante dans la biosphère 27	§ 150. La matière vivante de la Terre ferme 188	
§ 25. Multiplication des organismes et l'énergie géochimique de la matière vivante 34	§ 159. Rapport des pellicules et des concentrations vitales de l'hydrosphère avec celles de la Terre ferme 198	
§ 46. La matière vivante verte 61		
§ 62. Quelques remarques sur la matière vivante dans le mécanisme de la biosphère 84		
DEUXIEME PARTIE		
Le Domaine de la Vie		
§ 68. La biosphère enveloppe terrestre ... 93		
	APPENDICE	
	L'évolution des espèces et la matière vivante 203	

« Sans anticiper sur l'existence du mécanisme de la planète combinant les diverses parties de celle-ci en un ensemble indivisible, il [l'auteur] tâche d'embrasser à ce point de vue tous les faits empiriques scientifiquement établis et perçoit la concordance parfaite de cette idée avec celle de la répercussion géologique de la vie. Il lui semble que l'existence du mécanisme planétaire comprenant la vie et en particulier la région de sa manifestation, la biosphère, comme sa partie intégrante, répond à toutes les données empiriques et découle nécessairement de son analyse scientifique » (p. XI). En dehors d'un usage massif des locutions du type "embrasser les données", "se placer au point de vue global" etc., on ne dispose pas d'information conséquente sur cet exercice d'abstraction expérimentale.

Un trait d'union philosophico-scientifique

En revanche, le texte se fait plus clair sur la façon dont la généralisation empirique conjugue une certaine réflexion philosophique sur les principes du jugement avec des résultats expérimentaux.

Du côté de la science empirique, l'étude de la biosphère est vue comme une analyse se nourrissant constamment de résultats expérimentaux ou de compte rendus d'observation. Elle n'est pas considérée comme une alternative à la spécialisation expérimentale mais comme son complément¹ et semble prolonger ainsi la tradition naturaliste. Elle se place à la fois en amont et en aval de la science spécialisée. D'une part, elle l'intègre comme sa matière première principale. On passera ainsi des expériences sur la

2. À propos de la théorie de l'évolution, l'ouvrage souligne notamment le caractère prépondérant des représentations de la nature dans l'acceptation et la diffusion des théories scientifiques : "La notion de l'évolution des espèces occupe une telle place dans la pensée scientifique qu'un nouveau phénomène ou qu'une nouvelle explication dans le domaine de la biologie doivent être admis s'y rattacher de façon plus ou moins explicite" (pp. 210-211).

3. Jean-Paul Deléage reprendra cette position à son compte à propos du holisme (Deléage 1991, pp. 241-242).

génération spontanée de Louis Pasteur (p. 137) aux observations de Humboldt sur l'altitude maximum à laquelle volent les condors (p. 150). On peut lire toute *La biosphère* comme une vaste sommation de données puisées dans des ouvrages rendant compte de travaux expérimentaux ou naturalistes. D'autre part, les expérimentations sont également évoquées comme la suite logique de l'administration de la preuve par l'abstraction expérimentale. Les conclusions auxquelles aboutit l'étude globale de la biosphère, peuvent être converties en problème expérimental. C'est d'ailleurs en évoquant cette possibilité que l'ouvrage souligne l'égalité scientifique entre généralisation empirique et théorisation : « Dans les deux cas [...] nous nous servons de la déduction pour arriver à des conclusions, que nous vérifions par l'étude des phénomènes réels. Dans une science de caractère historique comme la géologie, on procède à cette vérification par l'observation scientifique » (p. 23).

Du côté de la réflexion sur les principes du jugement, Vernadsky assume le caractère abstrait de l'étude globale de la biosphère qu'il propose. En travaillant par abstraction expérimentale, on ne peut déléguer le soin d'administrer la preuve à un dispositif technique ou à une expérience de laboratoire. La validité propre à cette pratique repose au contraire, d'une part sur le degré de certitude acquis par les faits avant qu'elle les accumule et les mette en ordre, et d'autre part sur la fiabilité du travail du savant. Dépendante de l'exactitude des résultats assemblés, la généralisation biogéochimique est largement approximative dans la mesure où il subsiste de nombreuses zones de flou dans la chaîne des données scientifiques réunies pour produire des énoncés globaux. Le livre insiste à de nombreuses reprises sur le manque de connaissances scientifiques disponibles. La biogéochimie est par définition une *science incertaine*. Dépendante de la rigueur des opérations d'abstraction, l'étude de la biosphère tient aussi par conséquent à des qualités strictement humaines. C'est une *estimation*. Ces conclusions sont en parfait accord avec le style du livre. Contrairement à de nombreux récits

scientifiques, l'auteur y est mis en scène explicitement. Il n'est pas rare de voir les énoncés être qualifiés de "mes pensées". À d'autres moments, ils reçoivent un statut d'idées, comme dans le cas du terme d'"enveloppe terrestre thermodynamique". La notion a été inventée par Vernadsky et au lieu de la faire passer du côté des faits naturels objectifs, le livre lui maintient son statut subjectif et note qu'« elle n'a pas encore reçu d'explication, c'est-à-dire n'est liée à aucune des théories de la géogénèse, ni à aucun type de conceptions de l'univers » (p. 112).

Au total, la définition de la généralisation empirique comme abstraction expérimentale consacre un triple déplacement : elle ouvre la voie à l'étude scientifique de phénomènes globaux ; elle modifie les conditions de vérification des énoncés biogéochimiques ; elle transforme le statut du savant dans l'opération scientifique.

STRATÉGIES RÉDACTIONNELLES D'INTÉGRATION DES DONNÉES INTERDISCIPLINAIRES

Vernadsky va mettre en pratique ses thèses épistémologiques dans son propre livre. Ce dernier peut se lire comme un vaste dispositif d'expérimentation sémantique. On le parcourt des yeux comme on démontrerait une expérience de biologie moléculaire. Il sélectionne des informations scientifiques, tente des associations ou opère des passages. La démarche pratiquée fonctionne comme un opérateur actif et central de production du savoir. Le récit de *La biosphère* produit la biogéochimie comme on a pu dire que les historiens produisaient l'histoire (De Certeau, 1975). Cette performance⁴ expérimentale du document a déjà été relevée pour d'autres travaux d'écologie (Taylor et Blum, 1991), voire même pour un ensemble plus large de disciplines non expérimentales qu'Isabelle Stengers a appelé sciences "narratives" (Stengers et Schlanger, 1989, pp. 28-31).

Au niveau rédactionnel, la biosphère soulève essentiellement un problème d'intégration de données interdisciplinaires. Il s'agit de passer entre deux écueils. Il est d'abord

impossible de construire un savoir global si l'on s'en tient à la spécialisation scientifique. À l'inverse, on risque de transformer une science en métalangage philosophique, si on généralise les explications d'une discipline à de nombreuses autres. Pour résoudre cette tension, le texte met en place une série de formules rédactionnelles chargées d'assurer à la fois la communication entre disciplines et leur autonomie. J'en aborderai brièvement deux.

Juxtapositions interdisciplinaires

Les différents procédés de la juxtaposition fournissent un premier moyen de résoudre cette tension. Par moment il s'agit de concurrences de causalité. C'est le cas notamment de la formation de corps carbonazo- teux solides dans les lacs, les étangs ou les marécages (bassins aqueux). Le texte note leur permanence à l'échelle des temps géologiques, bien qu'on ne les trouve pas dans les bassins aqueux de l'océan. Comment expliquer cette concentration géographique étonnante sur un plan de la chimie du milieu ? Le texte évoque alternativement deux disciplines pour résoudre cette énigme : « Est-ce là un effet du caractère chimique du milieu ou de la structure de la nature vivante, on ne saurait le dire, mais dans l'un comme dans l'autre cas, ce phénomène est certainement en relation avec le caractère de la vie » (p. 197).

Dans d'autres passages, ce sont les fondements théoriques de la biologie qui sont mis en perspective avec ceux de la géochimie. Ainsi à propos du statut du vivant, le texte de *La biosphère*, qui pourrait opter directement pour l'une ou l'autre des explications, s'attache au contraire à mettre en scène leur décalage d'appréhension : « Il semble qu'il y ait incompatibilité entre ces deux aspects de la vie, entre son aspect biologique et son aspect géochimique, et seule une analyse plus approfondie permet de se rendre compte du caractère de cette différence. Elle fait voir en effet qu'il s'agit, en partie, de phénomènes identiques se traduisant diversement, en partie, de phénomènes vitaux, effectivement différents, considérés différemment » (p. 203).

Opérateurs relationnels

Pour tisser une trame narrative effectivement continue entre différentes sciences et entre échelles distinctes, le livre s'appuie sur un petit nombre de navettes, chargées d'aligner les savoirs entre eux. Ces objets sémantiques ont été mis en évidence par Camilles Limoges, Alberto Cambrosio et Denyse Pronovost, sous le terme d'"opérateurs relationnels" (Limoges *et al.*, 1991). Ils représentent des procédés actifs de l'abstraction expérimentale en faisant passer la généralisation par un travail sur les énoncés⁴. Dans *La biosphère*, il s'agit de formules établies après un long commentaire à un endroit du document, et qui reviendront abondamment par la suite pour cimenter le récit. Souvent, ces opérateurs relationnels sont mis en italiques et désignés par un nom spécifique. C'est le cas des termes de "mode de gisement chimiques", de "migration biogènes" ou encore de "matière vivante homogène". Je m'arrêterai plus particulièrement sur ce dernier.

Dans le livre, la "matière vivante homogène" est le nom donné à la quantification du vivant. Son élaboration va résoudre localement la tension entre des mesures différentes selon les disciplines et la nécessité de trouver une unité commune proprement biogéochimique. Le texte commence par souligner le décalage encore inexploré entre la théorie de l'évolution et les sciences géochimiques à propos de la qualification de l'espèce : « Ainsi l'espèce est habituellement considérée dans la biologie du point de vue *géométrique* ; la forme, les caractères *morphologiques*, y occupent la première place. Dans les phénomènes biogéochimiques, au contraire, celle-ci est réservée au nombre et l'espèce est considérée du point de vue *arithmétique*. Différentes espèces d'animaux et de plantes doivent, à l'instar des phénomènes chimiques et physiques, des composés chimiques et des systèmes physico-chimiques, être caractérisés et déterminés en géochimie par des *constantes numériques* » (p. 204).

L'opérateur relationnel "matière vivante homogène" va introduire une médiation active entre morphologie et arithmétique. Les distinctions obtenues par des

mesures arithmétiques doivent pouvoir se superposer exactement au découpages morphologiques⁵. Pour ce faire, la conversion quantitative doit porter sur la forme, puisque c'est la forme qui prime dans les sciences de la vie. Le livre assimile la forme de l'organisme, sa taille et ses indices extérieurs, au résultat de la force énergétique dépensée par ce dernier pour maintenir son autonomie dans le flux incessant d'atomes dans lequel il est plongé. La question de la forme et de la force vitale se trouvent ainsi traduites en problème traitable sur le plan numérique.

Grâce à la médiation de la "matière vivante homogène", l'enveloppe de l'organisme cumule la double qualité de fondement de la classification d'histoire naturelle et de résultat des forces de rétention des atomes. Elle peut se mesurer à la quantité d'atomes retenue : "Cette quantité constitue précisément la propriété caractéristique de chaque organisme, de chaque espèce. Elle indique le nombre d'atomes que l'organisme d'une espèce donnée peut retenir, en raison de la force qui lui est propre, hors du champ de la biosphère et retirer ainsi du milieu ambiant. Le volume de l'organisme et le nombre d'atomes qu'il comporte, exprimés numériquement, donnent la formule la plus abstraite et en même temps la plus réelle de l'espèce dans la mesure où celle-ci se reflète dans les processus géologiques de la planète" (p. 205).

En précisant que la formule de la matière vivante homogène est à la fois "réelle et abstraite", le texte de *La Biosphère* fixe précisément l'efficacité attendue de l'opérateur relationnel "matière vivante homogène". Il permet, dans l'espace blanc des feuilles du livre, de faire converger des séries d'informations recueillies à des sources disparates. Illustrant le travail d'expérimentation d'où va sortir la synthèse biogéochimique, il agit à l'intérieur du document. La "matière vivante homogène" est bien ancrée dans le réel par les comptes rendus d'expérience et l'ensemble des données scientifiques qu'elle concentre, mais abstraite des épreuves directes avec les choses parce que le moment de l'expérimentation est purement documentaire et intellectuel.

4. Je reprends ici la notion de la théorie des énoncés performatifs en linguistique. Elle montre comment l'énoncé, outre sa capacité à représenter quelque chose, agit aussi de manière instrumentale. Il produit des effets en retour sur ce qu'il représente. Pour une présentation synthétique de la "performativité", voir Récanati F. (1979) *La transparence et l'énonciation*, Paris, Seuil. (chap. 5).

5. D'autres scénarios de généralisation sont tout à fait possibles, que ce soit l'incorporation de savoirs pluridisciplinaires dans un instrument unique, la mise en place d'une expérimentation commune, etc. On peut citer notamment les satellites d'observation de la terre comme exemples de synthèses interdisciplinaires déléguées à la technique. Cervelle. (1989) *Spot : les yeux braqués sur la Terre*. Paris, Presse du CNRS.

6. Le texte écarte ainsi la quantification usuelle, jugée réductionniste, qui se limite à trois chiffres : "le poids moyen de l'organisme, sa composition chimique élémentaire moyenne et l'énergie géochimique moyenne qui lui est propre" (p. 204). Cette quantification ne rend pas justice de la diversité des formes et des structures d'organisation du vivant. Autrement dit elle ne traduit pas ces spécificités biologiques dans un autre langage mais les remplace complètement par une grille de mesure différente.

Elle a pour effet principal de lever un obstacle sémantique à la comparaison et à l'intégration des informations provenant de la géologie, de la chimie et de la biologie. Le vivant en tant que catalogue d'espèces différentes distribuées sur toute la planète, s'ouvre sur les flux d'atomes extérieurs qui le traversent et le créent, et qu'il redistribue en retour. D'autres opérateurs relationnels vont être enchaînés par le texte de *La Biosphère*, pour conforter et étendre le rapprochement interdisciplinaire. C'est ainsi, par exemple, que le développement et la multiplication des organismes vivants vont pouvoir être assimilés à une migration d'atomes sous le terme de "migration biogène". La "migration biogène" instaure une continuité du récit entre le vivant et des forces telles que le rayonnement solaire ou la force des volcans.

CONCLUSION : DES ÉPISTÉMOLOGIES DIFFÉRENTES ?

L'analyse du texte de *La Biosphère* peut suggérer deux réflexions à l'observateur actuel des changements globaux. La première invite à relativiser la portée des arguments du livre. Si l'on délaisse la perspective sémiotique pour s'intéresser à la destinée sociale et disciplinaire de l'ouvrage de Vernadsky, on constate en effet que sa portée est faible dans la science européenne du XX^e siècle. Jacques Grinevald a tracé avec précision les oublis et les emprunts qui jalonnent la trajectoire de l'œuvre jusqu'à nous (Grinevald, 1987)⁷. Il montre que jusqu'aux années 70, *La Biosphère* n'a pas été un instrument de mobilisation majeur de la communauté scientifique traitant des problèmes globaux. Tout au plus a-t-on assisté à une certaine généralisation de l'usage du terme avec la conférence de l'Unesco à Paris en 1968 ou le numéro du *Scientific American* de septembre 1970.

En revanche l'ouvrage peut contribuer à comprendre les raisons de la controverse actuelle sur l'interdisciplinarité des sciences du global. La notion d'abstraction expérimentale aide en effet à saisir combien la possibilité même de produire des connaissances biogéochimiques est suspendue à un positionnement

particulier de la science par rapport à d'autres formes de jugements. En replaçant le texte au sein de la tradition d'histoire naturelle dans laquelle il s'inscrit, on peut se demander, à la suite de Michel Foucault (Foucault, 1966)⁸, si ce ne sont pas en fait des épistémologies différentes qui s'affrontent derrière les conflits sur le degré de scientificité des connaissances des phénomènes globaux.

(Reçu le 1^{er} juin 1993)

Références

- Dagognet F. (1970). *Le catalogue de la vie*, Paris, PUF.
- De Certeau M. (1975). *L'écriture de l'histoire*, Paris, Gallimard.
- Deléage F. (1991). *Histoire de l'écologie*, Paris, La Découverte.
- Drouin J.-M. (1991). *Réinventer la nature : l'écologie et son histoire*, Paris, Desclée et De Brouwer.
- Foucault M. (1966). *Les mots et les choses*, Paris, Gallimard.
- Grinevald J. (1987). On a holistic concept for deep and global ecology : The Biosphere, *Fundamenta Scientiae*, 8 (2), 197-226.
- Latour B., Fabbri P. (1977). La rhétorique de la science, *Actes de la Recherche en Science Sociale*, 13, 81-95.
- Latour B. (1985). Les vues de l'esprit, *Culture technique*, 14, 5-29.
- Latour B. (1989). *La science en action*, Paris, La Découverte.
- Limoges C., Cambrosio A., Pronovost D. (1991). La politique scientifique comme représentation construite en contexte bureaucratique : le cas de "À l'heure des biotechnologies", *Recherches sociographiques*, 32 (1), 69-82.
- Stengers I. et Schlanger J. (1989). *Les concepts scientifiques : invention et pouvoir*, Paris, La Découverte.
- Taylor P. et Blum A. (1991). Ecosystems as circuits : Diagrams and the Limits of Physical analogies, *Biology and Philosophy*, 6, 275-294.
- Vernadsky V. (1929). *La Biosphère*, Paris, Alcan.

RÉSUMÉ : L'invention de la Biosphère : les fondements d'une méthode

Dans *La Biosphère*, ouvrage publié en France en 1929, Vladimir Vernadsky, propose une nouvelle approche de la vie sur Terre qui anticipe les développements actuels de l'écologie globale. Pour construire une théorie de la science "biogéochimique", l'auteur relie en particulier deux questions : le problème de la synthèse interdisciplinaire des connaissances (géologie, biochimie, etc.) et une réflexion sur la légitimité du savoir et le rôle du savant. À partir d'une analyse interne des arguments du livre, l'article propose la notion d'abstraction expérimentale pour rendre compte du travail spécifique de réduction du réel nécessaire à une telle globalisation scientifique. L'abstraction expérimentale se caractérise par la réunion des phases d'expérience et de compte rendu scientifiques dans une activité unique de gestion de l'information et d'abstraction. Elle débouche sur une configuration épistémologique distincte des sciences expérimentales, qui rend possible la convergence de champs disciplinaires traditionnellement segmentés.

7. Les travaux de Vernadsky recevront plus d'écho aux États-Unis avec Hutchinson ou Lindeman (Grinevald 1987).

8. Une récente étude de sociologie des sciences à mis en lumière des processus similaires à propos de la diffusion de la cybernétique. Bowker G. (1993). How to be Universal : Some Cybernetic Strategies, 1943-70, *Social Studies of Science*, 23, 107-27.