

Pour une compréhension du vivant : un aperçu sur la biologie théorique au 20^{ème} siècle¹

Franck Varenne – Maître de conférences de philosophie à l'Université de Rouen - fvarenne@wanadoo.fr.

Introduction :

Dans ce court texte de présentation, il ne s'agira pas de faire justice à l'ensemble des travaux qui ont caractérisé les avatars de la biologie théorique au cours du 20^{ème} siècle. Nous nous en tiendrons à ce que l'on peut en dire du point de vue de quelques travaux de la formalisation de la morphogenèse des êtres vivants. Avec cet angle de vue assez spécifique, nous tâcherons toutefois de saisir en quoi différents programmes de biologie théorique se sont tous présentés, à certains égards, comme des tentatives de réaction contre la dissolution du sens et de la compréhension des phénomènes biologiques. A ce titre, la biologie théorique intéresse au plus haut point le thème de ce colloque : qu'a-t-elle à nous apprendre concernant la compréhension du vivant à une époque où les connaissances biologiques comme l'essor des biotechnologies défraient la chronique ? Peut-on tirer des leçons de son histoire récente ? Il faut en effet le reconnaître : cette mise entre parenthèse de la compréhension, au profit d'une approche utilitaire ou pragmatique, a en effet été très accentuée depuis la fin du 19^{ème} siècle par le développement de nouveaux modes de formalisation du vivant : essentiellement l'analyse statistique puis la modélisation. Ce n'est donc pas étonnant que ce soit sur ce terrain même de la formalisation que la biologie théorique va mener son plus dur combat, un combat maintes fois réitéré contre des mathématisations qu'elle considère comme insignifiantes car ne permettant, selon elle, aucun progrès dans la compréhension des phénomènes biologiques, du point de vue de ce qu'elle conçoit en tout cas comme leur particularité essentielle.

Cependant, on doit remarquer d'entrée de jeu qu'en ce qui concerne la biologie, ce « désir de compréhension » est rien moins qu'évident à satisfaire. C'est pourquoi la victoire de la biologie théorique n'est pas encore, nous semble-t-il, à l'ordre du jour². Car, si on y trouve des essais de théorisations partielles, on n'y connaît pas de théorie unifiée, pas même localement et dans le sens où l'on peut dire qu'il en existe dans de grands secteurs relativement unifiés (chacun pris à part) de la physique, comme la mécanique, la physique quantique et la physique relativiste... Au début du 20^{ème} siècle, la génétique formelle, et mathématisée en ce sens, semblait bien donner la voie cependant. Mais dire qu'elle était d'emblée une théorie serait se rendre victime d'une illusion rétrospective. Car, à ses débuts, elle semblait posséder surtout le statut d'une modélisation hypothétique ou fictive dès lors que les « germes » (les futurs « gènes ») qu'elle devait supposer étaient loin de faire l'unanimité. **Notre question centrale sera donc ici la suivante : dans les quelques progrès récents des formalisations du vivant qui nous intéresseront, qu'est-il advenu de ce désir de compréhension ?** Comment s'est-il affronté aux modélisations formelles ? Comment a-t-il pu

¹ Article paru dans *Traces de futurs*, Actes du XVI^{ème} Colloque Interdisciplinaire de Carcassonne organisé par l'Université Paul Sabatier (Toulouse) et l'ADREUC (Association pour le Développement des Rencontres et des Echanges Universitaires et Culturels), Ed. Vogels, Arques, ISBN 2-9521646-1-4, 2005, pp. 34-45.

² Est-ce même un désir encore actuel ? Ne dit-on pas souvent que plus personne ne se soucie du « bios », c'est-à-dire de la définition de la vie, dans l'activité de recherche biologique contemporaine ? Certes, on nous annonce la naissance d'une biologie à nouveau ré-intégrative. Mais à bien y regarder, l'adjectif « théorique » est souvent refusé ou abandonné par les actuels tenants de cette biologie post-génomique : la biologie « épigénomique » dite « intégrative » ou encore, parfois, « systémique ». Loin de promettre un mode d'accès nouveau à la compréhension du vivant, beaucoup de chercheurs préfèrent se reconnaître d'abord pour ancêtres les récents promoteurs de la seule modélisation mathématique ayant œuvré dans les domaines connexes.

évoluer pour persister et devenir chaque fois plus subtil ? Enfin quel avenir prochain est-il possible d'imaginer pour ce « désir de compréhension » ?

Avant de poser les quelques jalons d'une enquête historique brossée à grands traits, il nous semble nécessaire d'interpréter ce que nous appelons le « désir de compréhension » en proposant une clarification terminologique préalable. Nous tenterons de montrer qu'en ce qui concerne les sciences de la nature, le désir de « comprendre » s'interprète avant tout comme un désir d'« explication ». Seulement alors, nous restituerons les trois différents types de rapport que, très schématiquement, biologie et mathématiques entretenirent jusqu'aux années 1920. Car c'est comme alternative à l'hégémonie croissante d'un de ces trois types de mathématisation de la forme qu'une première réaction théorico-mathématique est proposée dès les années 1910, donnant ainsi naissance aux premiers essais de biologie théorique mathématisée valant pour la morphogenèse. Par la suite, dans les deux décennies qui ont suivi (1930-1940), un quatrième type de rapport entre biologie et mathématique se développe : le rapport de modélisation. Là encore, ce qui peut sembler un nouveau type de renoncement à la compréhension suscite une réaction théorique riche et diversifiée, au cours des années 1950-1960. Nous terminerons en essayant de comprendre pourquoi, dans les trois dernières décennies, ce front théorique, à l'origine puissant, a finalement lui aussi rencontré l'échec, notamment en ce qui concerne la représentation formelle des plantes et de leur dynamique de croissance : faut-il renoncer à attendre de la biologie formalisée qu'elle nous aide à comprendre le vivant et, peut-être plus généralement, mais sur un autre plan, ce que c'est que vivre ? Ou bien, avec ces nouveaux modes de formalisation dont le philosophe doit désormais s'enquérir, la quête légitime de sens et de compréhension n'est-elle pas simplement repoussée plutôt qu'irréremédiablement annulée ?

I – Un choix terminologique préalable : Comprendre – Expliquer – Décrire

Comme le rappelle le philosophe allemand W. Dilthey, « nous appelons compréhension le processus par lequel nous connaissons quelque chose de psychique à l'aide de signes sensibles qui en sont la manifestation » (in *Le monde de l'esprit*, Tome I, 1894 ; traduction : Paris, Aubier, 1947, p. 322). C'est nous qui soulignons. Comprendre voudrait donc dire ici « rassembler en une vision sensée », saisir un phénomène comme appartenant à un mouvement sensé, c'est-à-dire comme un mouvement porteur de sens, porté vers un idéal, lié à une valeur ou un devoir-être. Chercher à comprendre, c'est donc s'attendre à pouvoir reconnaître un fonctionnement de type intentionnel et psychique dans le moteur même du phénomène en question. De plus, comme le précise Dilthey dans cette même citation, puisqu'il s'agit toujours de postuler un fonctionnement psychique accessible à la seule intentionnalité consciente, comprendre ne peut se faire qu'indirectement : *via* les « signes sensibles ». Chercher à comprendre des phénomènes naturels, c'est donc n'attribuer à leur visibilité qu'un statut second : un statut sémiotique, celui d'un signe. La recherche d'une compréhension est toujours en ce sens le déchiffrement d'une écriture ou d'un texte (le monde étant alors « écrit en langage géométrique » selon Galilée, par exemple, dans *L'Essayeur*). Elle confine à une herméneutique. Ainsi prétendre que la biologie devrait davantage nous faire comprendre le vivant, c'est risquer de plaquer des catégories anthropomorphes sur l'objet de la biologie. C'est postuler que quelque chose de *signifiant pour un sujet* est toujours déjà caché derrière la pure visibilité de l'objet.

En fait, très peu de scientifiques qui théorisent seraient prêts à assumer ce sens extrême du verbe « comprendre » alors même qu'ils l'utilisent couramment. C'est pourquoi il nous semble que « comprendre » dans ce contexte est en fait à entendre en un sens plus faible et

plus neutre mais, on le verra, déjà très exigeant pour la science biologique. Assez schématiquement et pour faire bref, nous dirons qu'il est davantage à entendre comme synonyme d'« expliquer », par opposition à « décrire ». Comme l'étymologie peut l'indiquer, l'explication est de l'ordre du dépliement, du déploiement d'une réalité extérieure (extérieure aux phénomènes psychiques) en une autre réalité extérieure, au besoin de manière analogique et au moyen de symboles. C'est là rejoindre en effet l'objet des sciences de la nature (à la différence des sciences de l'esprit ou de la culture) selon Dilthey : « Les sciences de la nature ont pour objet des faits donnés isolément et de l'extérieur », *ibid.*). Dans cette approche, on suppose que rien n'est caché en droit. Il n'y a pas d'identification/projection anthropomorphe. Ce que l'on recherche en revanche est bien, comme dans la « compréhension », de l'ordre de la synthèse, de la loi synthétique reproductrice. Comprendre, au sens d'expliquer, c'est bien toujours ramener du divers à de l'unité et à du synthétique. C'est déplier, exhiber, puis replier, pour emporter avec soi en la représentant à son esprit seul, la loi *simple* d'un être à la manifestation sensible pourtant *complexe*. Et c'est là que l'on peut saisir pourquoi les mathématiques, sciences de l'ordre et des relations (comme les définissait déjà Descartes, même si cette définition est devenue entre-temps très réductrice) donc sciences des synthèses, ont pu gagner une place absolument centrale.

A un tel effort de synthèse s'oppose cette sorte de renoncement à « expliquer » qu'est « décrire ». Décrire, dirions-nous, c'est rapporter ou relater une coexistence ou une succession de faits d'expérience complexes comme étant elle-même un fait contingent de l'expérience. C'est renoncer à montrer comment ces faits divers pourraient procéder les uns des autres, comment ils pourraient s'impliquer pour, à la fin, s'expliquer et procéder les uns des autres. C'est renoncer à la représentation de ces faits sous la forme, même hypothétique, d'un processus, d'un procédé ou d'une procession nécessaire. La compréhension scientifique des faits semble être totalement absente de cette dernière approche.

Finalement donc, alors que, d'un côté, l'approche par la compréhension stricte menace l'entreprise scientifique par ses relents d'anthropomorphisme, de l'autre, l'approche platement descriptive semble aussi renoncer à toute scientificité du fait de son abandon de la synthèse et de la représentation abrégative. Il n'est donc pas étonnant, *a posteriori*, que lorsque la science biologique moderne développe ses trois premiers types de rapport avec les mathématiques dont nous allons maintenant parler, cela en vue d'expliquer les phénomènes du vivant, elle ne le fasse toujours qu'en prenant garde de tâcher de synthétiser (ce qui est la raison première de son recours aux mathématiques) sans pour autant projeter des catégories anthropomorphes.

II- Les 3 premiers types de rapport entre biologie et mathématiques : Réduire – Résumer - Axiomatiser

Les 3 premiers types de rapport que la biologie entretient assidûment avec les mathématiques vont en effet toujours se tenir sur ce fil du rasoir, repoussant à la fois la description pure et la reconnaissance/projection de catégories humaines dans le vivant, en particulier dans la représentation formalisée des phénomènes de morphogenèse.

Réduire, d'abord. C'est, en quelque sorte, expliquer en recourant à des moyens mathématiques et en s'appuyant le plus souvent sur un référent physique ou chimique au titre de substrat fondamental. On peut citer ici les modèles mécaniques du vivant tels qu'ils sont proposés dès l'Antiquité (comme de nombreux travaux d'histoire des sciences et d'épistémologie l'ont montré³). C'est la physique statique qui est alors la discipline cible (et réductrice) de référence. Dans la même mouvance, on peut évoquer les automates-modèles

³ Voir, par exemple, ceux de Georges Canguilhem et de Jean-Claude Beaune, parmi beaucoup d'autres.

(17^{ème}-18^{ème} siècles) pour lesquels c'est la communication mécanique des mouvements et des forces, puis, dans les travaux de Poiseuille (1799-1869), la dynamique simple des fluides incompressibles, comme le sang, qui seront les domaines physiques de référence. Ce sera enfin l'électricité (Galvani, Du Bois-Reymond), l'énergie (Helmholtz), puis la concentration chimique dans le milieu intérieur (Bernard) qui amèneront des horizons de réduction physico-chimiques nouveaux pour l'essor de la physiologie expérimentale, à la fin du 19^{ème} siècle.

Ici, dans ces dernières décennies du 19^{ème} siècle, le fait de « réduire » à la physique par le biais des mathématiques se développe essentiellement parce que la réduction est au service de l'essor de l'expérimentation. Pour expérimenter de manière efficace, il faut en effet quantifier, donc instrumenter. Or, il faut recourir à des instruments qui, à l'époque, font des mesures de variables de nature essentiellement physique. Le terme de « biophysique » commence d'ailleurs à être employé assez largement à ce moment-là, mais dans un contexte plutôt médical. Pour le dire très succinctement et très schématiquement là encore (il faudrait fortement nuancer ce propos), ces approches de réduction sont donc souvent des « mécanicisms » ou des « énergétismes ». On explique le vivant et on le comprend en le faisant procéder du niveau physico-chimique inférieur. La réduction reste donc bien la représentation d'une procession, d'un processus. C'est la procession du vivant à partir du physico-chimique.

Résumer, ensuite. C'est surtout devant le volume croissant des données expérimentales issues de l'agronomie scientifique que la mathématique descriptive, à savoir la statistique va être convoquée assez largement au tournant du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle. Comme l'ont montré de nombreux travaux d'histoire et de sociologie (ceux de Ian Hacking, Donald A. Mackenzie ou, plus récemment, Alain Desrosières, par exemple), la statistique prend sa source dans quelques ébauches d'études démographiques rationnelles dans les pays allemands du 17^{ème} siècle, dans l'anthropométrie du 19^{ème} siècle (Quételet : 1796-1874), mais aussi et surtout dans la théorie darwinienne de *L'origine des espèces* (1859) et enfin dans la biométrie anglaise (Francis Galton : 1822-1911). Fondée par Galton, la biométrie ambitionne de rendre compte formellement de la variabilité du vivant tout en la réduisant à des nombres et des procédés mathématiques (moyenne, variance, écarts-types, régression, corrélation, réduction de variance...) qui en condensent l'information empirique. Même si elle s'apparente fortement à une description, il s'agit donc bien d'une mathématisation en ce qu'elle formule, rend formel, reformule et condense les données. C'est pourtant une pratique nouvelle dont on ne croyait pas les mathématiques capables : la statistique résume mathématiquement ; elle abrège, mais sans pour autant expliquer. C'est pourquoi un certain nombre de mathématiciens n'y veulent voir encore qu'un ensemble de recettes pour décrire et condenser les choses sans en expliquer réellement les processus car les données ne procèdent pas du niveau inférieur physico-chimique, comme c'est le cas en revanche dans la réduction. Ces mathématiciens ne considèrent pas les statistiques comme un secteur véritable et véritablement noble des mathématiques. De fait, la statistique exhibe des corrélations sans reproduire mimétiquement les processus supposés sous-jacents. Elle désigne et met en évidence des relations de surface. C'est en ce sens qu'elle renonce à faire comprendre et à expliquer. Avec elle, et c'est nouveau, on peut résumer sans expliquer. Ne fait-on pour autant que décrire ? Non, parce que l'on synthétise tout de même encore. Avec la biométrie, va-t-on renoncer aux entreprises de théorisation recherchant les causes ? Certains biométriciens, comme Karl Pearson, vont aller jusqu'à cette extrémité en refusant de recourir à la notion de « cause » pour lui préférer définitivement celle de simple « corrélation » (in *La grammaire de la science*, 1892).

Avec la statistique, le statut des mathématiques change donc : résumer, synthétiser n'est pas toujours expliquer. On comprend pourquoi une réaction, fidèle en cela au rôle conféré jusque là aux mathématiques dans les formalisations (depuis la mécanique rationnelle

tout au moins), va tenter de se dresser contre cet essor considérable de ces techniques formelles de condensation de l'information empirique.

Axiomatiser, enfin. Avec l'essor de la génétique formelle (Mendel - 1865, De Vries - 1900) et de la dynamique des populations (Lotka - 1924, Volterra - 1931, Kostitzin - 1935), on n'assiste pas au même type de mathématisation qu'en statistique. Car une sorte de réduction fictive y est opérée (qui prépare d'ailleurs ce qu'on appellera la modélisation mathématique après les années 1950). Les mathématiques classiques peuvent continuer à être employées (équations différentielles) ou de nouvelles mathématiques (les probabilités) pour servir à synthétiser mimétiquement les processus d'élaboration des phénomènes à partir d'un niveau inférieur (comme dans la réduction authentique). Les mathématiques restent donc un outil de synthèse reproductrice. Mais cette synthèse mimétique idéalise fortement le niveau inférieur supposé (cf. l'idéalisation radicale des comportements des proies et des prédateurs en dynamique des populations), ou bien même elle en conçoit la nature de manière d'abord totalement hypothétique pour les besoins du calcul et de la prédiction (cf. la fiction des « germes » héréditaires en génétique formelle). A ces éléments idéalisés, l'axiomatisation fait correspondre des symboles. Dans une axiomatisation de ce type, mathématiser consiste donc bien à expliquer. Mais c'est une explication du vivant produite à partir d'entités élémentaires fortement idéalisées. Ce n'est pas l'absence d'une explication, c'est une explication à partir de choses rendues fortement symboliques. L'accent est mis sur les relations formelles et non sur la nature des éléments en interaction. Ce n'est certes pas une plate description. Est-ce pour autant une « véritable » explication ?

III- Première réaction théorique : la mécanique des formes du vivant de d'Arcy-Thompson (1917)

Comme l'ont montré plusieurs biologistes et historiens des sciences (Scott Gilbert, Richard Burian, Jean Gayon ou Michel Morange par exemple), au cours des années 1920-1930, dans les pays anglo-saxons, la génétique formelle se sépare de plus en plus de la physiologie. Tout pont immédiat entre les problématiques de transmission génétique et celles d'embryogenèse ou de morphogenèse, ces dernières touchant donc à la construction de l'individu organique, semble rompu pour longtemps. Avec les probabilités, la biologie formalisée a investi la génétique, mais la mathématisation de la biologie semble plus difficile en revanche en ce qui concerne les questions de mise en forme et de croissance. D'une part, la forme parfois complexe des êtres vivants semble difficile à représenter mathématiquement. D'autre part, pendant la construction d'un être vivant, les « briques » qui le constituent changent de nature (de par l'effet de la différenciation cellulaire) ainsi donc que leurs relations réciproques : on ne peut donc pas synthétiser mathématiquement la morphogenèse des êtres pluricellulaires puisqu'on ne peut formaliser de manière relativement stable (même de façon idéalisée) ces relations entre éléments participant à la croissance. C'est donc la forte hétérogénéité interne et évolutive des êtres vivants en croissance qui fait la difficulté de leur formalisation et de leur théorisation mathématique. Comment dès lors persister à comprendre ou à s'expliquer la morphogenèse des êtres vivants ? C'est bien pour contrer les seules formalisations probabilistes de la génétique qu'en 1917 (*On Growth and Form*), le naturaliste anglais d'Arcy-Thompson propose d'expliquer les formes des animaux ou des plantes non pas, de loin en loin par leur hérédité et les effets du hasard, mais par les forces mécaniques les ayant mises en place. Revenant aux équations différentielles classiques de la mécanique et développant une « théorie des transformations » continues, il propose de renoncer aux formalisations du hasard en décomposant/recomposant mathématiquement les forces

présidant à la morphogenèse individuelle (ontogenèse) dans une perspective mécaniciste (en fait, sa position est plus subtile : il s'agit plutôt d'un mathématisme idéaliste). Cette approche peut être considérée comme une réaction (un peu comme on parle de « réactionnaires » en politique) car elle propose un retour à une réduction à la mécanique et à l'ambition d'une explication causale monoformalisée, à l'heure où le résumé statistique et l'axiomatisation probabiliste se développent considérablement dans les sciences du vivant.

Ces travaux impressionneront des générations de biomathématiciens mais, restant à la marge des recherches en morphogenèse, ils seront très peu relayés tels quels, en partie parce que les formalisations qu'ils proposent ne sont pas susceptibles d'être précisément calibrées sur des mesures de terrain : ce sont des représentations théoriques suggestives, à valeur heuristique, mais non opérationnelles le plus souvent.

IV- Un quatrième rapport entre biologie et mathématiques : Modéliser (1932-1948)

C'est de la physique que le sens moderne du terme « modèle » vient. A partir des années 1860, ces nouveaux secteurs de la physique que sont l'électromagnétisme (Faraday, Hertz, Maxwell) puis la théorie des gaz (Boltzmann) souffrent d'un défaut de figurabilité des processus en cause. On ne peut reconstituer intégralement et formellement (même schématiquement) la mécanique des mouvements élémentaires supposés être en cause dans les phénomènes électromagnétiques ou thermodynamiques. La réduction à la mécanique n'y est pas abandonnée certes, mais elle y devient clairement fictive. Là est la nouveauté. C'est ce fictionalisme qui est assumé par ces chercheurs qui avouent rechercher seulement des « analogies mathématiques » et non pas même « physiques » entre les dynamiques qu'ils formalisent. Ainsi, comme représentation mathématique directe, la modélisation prolonge et pousse à l'extrême le caractère arbitraire des axiomatisations précédentes : les entités élémentaires peuvent désormais être considérées comme purement fictives voire impossibles ou contradictoires⁴. Mais le modèle est conservé pour cause de commodité pour l'action sur l'inerte ou sur le vivant et parce qu'il permet de « faire comprendre » comment procède une représentation mathématique sinon très abstraite à se figurer (comme c'est le cas pour les équations de Maxwell qui semblent alors flotter en l'air, sans théorie). Le modèle synthétise mais n'explique donc pas ; il représente de manière figurée et pour qu'on la comprenne (ou qu'on se l'explique en son esprit) une interprétation plausible d'un formalisme mathématique par ailleurs abstrait (« abstrait » parce que chacun de ses symboles ne renvoie pas directement à quelque chose d'imaginable ou de figurable et qui « existerait » dans le phénomène qui nous intéresse). Le modèle n'est pourtant pas un pur résumé comme la représentation statistique antérieure, car il est bien le récit formel d'un processus, d'une procession à partir d'un niveau autre. Mais ce niveau « autre » peut y être conçu comme entièrement fictif ou choisi selon nos objectifs de maîtrise. C'est le niveau des finalités. D'où la philosophie des modèles pragmatistes et passablement anthropomorphes de la cybernétique (Wiener – 1948). On y modélise à partir d'un niveau autre, certes. On y réduit non plus de haut en bas mais du bas vers le haut, en représentant des flux d'informations et de commande, ceux-ci rendant compte de comportements analogues à des comportements humains « *purposeful* » (« doués de but ») dans le vivant. Ce n'est donc plus un niveau inférieur mais un niveau supérieur qui commande. Ce qui permet de réhabiliter la cause finale sans pour autant professer un finalisme car on peut en même temps continuer à dire que ce niveau est fictif et simplement commode pour l'action. Toujours est-il qu'ainsi on met de plain-pied et on conçoit sur les mêmes modèles les sciences de la conception (sciences de l'ingénieur) et les sciences du vivant (voir les travaux d'Herbert A. Simon). Un des intérêts de faire dépendre ces modèles

⁴ Dans *La philosophie du comme si*, le philosophe allemand Hans Vaihinger va jusque là.

du niveau supérieur (celui de l'information) est que l'on peut aussi continuer à dire que ces formalisations mathématiques promettent une « compréhension » puisque les éléments de base (les informations élémentaires), à partir de quoi ces modèles (mécanistes en fait) donnent lieu à des synthèses reproductrices, semblent être homogènes à un fait psychique, à un état de conscience : une information humaine. Cette modélisation, lorsqu'elle oublie son caractère purement fictif, peut donc passer pour une réduction à l'information. Elle semble ainsi promettre une « compréhension » définitive et unitaire dès lors qu'elle pratique un anthropomorphisme dont les formalisations ont pourtant pour fonction de nous préserver. Sur l'abus des confusions sémantiques touchant au concept d'information dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, nous renvoyons au travail récent de Jérôme Segal (2003).

En fait, la modélisation mathématique est rarement interprétée en ce sens extrême, concurrent de la « compréhension » de naguère. Le plus souvent, ses praticiens ont conscience qu'ils prolongent plutôt par là les différentes techniques de formalisation antérieures en poursuivant une dérive vers un pragmatisme technique. C'est cette dérive que certains théoriciens de la biologie vont, une fois de plus, tâcher de contrer, mais avec des moyens nouveaux.

V- Rashevsky et la deuxième réaction théorique : du physicalisme au mathématisme (1933-1954)

Nous ne dirons ici que quelques mots sur un personnage qui, à lui seul, rassemble bien des traits de cette deuxième génération de réactions théoriques telle qu'elle vit le jour, après les années 1930, pour combattre l'hégémonie des formalisations commodes, à visée utilitaire, et semblant délaisser de plus en plus en cela l'explication.

Ce n'est pas ici le lieu de rappeler les détails de la carrière de Nicholas Rashevsky (1899-1972). Nous renvoyons pour cela à nos autres publications (2004, 2005). Cet ukrainien, expatrié aux Etats-Unis après la révolution de 1917, est formé au départ en physique. Lorsqu'il arrive sur le sol américain, il a pour ambition de prolonger le travail de Lotka et Volterra en proposant une biophysique mathématique qui irait jusqu'à expliquer de manière mécanique la division et la mise en forme des cellules individuelles, puis, en passant au niveau supérieur par des moyens mathématiques, la morphogenèse des pluricellulaires. Il se distingue de d'Arcy en ce qu'il fait justice au niveau biologique de la cellule ainsi qu'aux phénomènes de flux métaboliques alors que, chez ce dernier, seules les forces mécaniques intervenaient. Dans les années 1930 et 1940, ayant à faire face à de nombreux écueils (aucune de ses formalisations n'est véritablement confirmée par les expériences de terrain), Rashevsky est admirable d'inventivité. Il utilise de nombreux formalismes mathématiques, sans en trouver un qui soit réellement convaincant, au cours de cette première période que nous qualifierions de « physicaliste ». En fait, Rashevsky va se croire sorti de l'impasse en 1944, lorsqu'il se propose de partir de principes d'optimalité (à formalisation finaliste) du genre de ceux que la physique parfois emploie lorsqu'elle n'est pas encore à même de se donner une formalisation réductionniste de haut en bas (c'est le cas de la loi d'Ohm en électricité avant que l'on ne dispose d'interprétations moléculaires). Ce faisant, on observe qu'il renonce à expliquer totalement et mécaniquement la mise en forme des vivants et qu'il cède du terrain aux modélisateurs en construisant une bio-physique d'ingénieur fondée sur un « principe de simplicité maximale » (1944) puis de « configuration optimale » (1954). La configuration (ou forme) est jugée optimale pour la ou les fonctions que remplit cet être vivant.

Nous n'en dirons pas plus sur le détail de cette formalisation un peu compliquée. Ce qu'il faut retenir, c'est qu'au final, la référence pour cette biologie mathématique spéculative en physique n'est plus la mécanique mais la théorie de la relativité avec son espace abstrait et son géométrisme de principe. Face à la dispersion des modèles mathématiques et

pragmatiques, Rashevsky dresse donc une théorie mathématisée et unitaire fondée sur un principe abstrait, comme la physique théorique semble lui en donner le droit. Contre vents et marées, contre tous les modèles dispersés (et souvent mutuellement contradictoires), il cherche donc à comprendre le vivant, sa croissance et sa mise en forme de manière théorique et monoformalisée. Indiquons simplement ici que cette approche par l'optimalité a eu peu d'écho et a même été pour un temps abandonnée (voir les récents travaux de Evelyn-Fox Keller – 2002) avant d'être réactivée par la génération de René Thom sans beaucoup plus de succès⁵.

Conclusion :

Finalement, on a compris que ce qui caractérise une approche théorique en biologie de la forme, c'est le souci de résister : 1) à l'absence d'explication causale (d'Arcy Thompson) ; 2) à la dispersion, à la fragmentation des formalisations, porteuse d'insignifiance c'est-à-dire de perte de sens (Rashevsky). Car comprendre ou plutôt expliquer, cela reste toujours rassembler du divers sous un même concept, sous une même idée génératrice, un même point de vue unitaire. On ne comprend quelque chose que si on comprend quelqueS choseS sous UNE même chose.

A regarder de près l'état de la formalisation de la croissance des plantes, par exemple (voir Varenne – 2004), force est de constater que c'est la modélisation fragmentée et dispersée dans ses formalismes qui tient actuellement le haut du pavé et non la théorisation mathématique compréhensive. Comme ailleurs dans les sciences du complexe, il y a là un net conflit entre le paradigme classique de la mathématisation (monoaxiomatisée et donc monoformalisée) et le paradigme récent du calcul ou de la computation pas à pas et pluriformalisée telle qu'elle est aujourd'hui possible grâce aux simulations informatiques. Cela ne veut pas dire que le souci théorique a disparu, mais cela veut dire que mathématiser ou plutôt formaliser aujourd'hui ne permet plus forcément d'expliquer. La foi en la synthétisabilité formelle de phénomènes complexes (comme l'est la morphogenèse du vivant) est aujourd'hui face à des difficultés d'ordre logique et mathématique (sur ce point technique, nous nous permettons de renvoyer à Varenne – 2001 et 2003a). Les scientifiques ont de plus en plus recours à des simulations réalistes comme terrain d'expérimentation virtuelle préalable de manière à tester de nouvelles formalisations du vivant dont l'évidence immédiate n'est plus aussi souvent proclamée que par le passé. Dans l'appréhension des problématiques de morphogenèse, s'il y a encore régulièrement des suggestions théoriques diverses issues de secteurs nouveaux de la chimie et de la physique (voir Fleury *et al.*, 1999), aucune n'est hégémonique et nous sommes plutôt dans l'ère des modèles pragmatiques variées et des simulations pluriformalisées (voir Reffye (de) – 1979).

Cela veut-il dire que le « désir de compréhension » doit s'éteindre ? Nous risquons cet avis : nous ne le croyons pas. Comme le désir de métaphysique censé être inhérent à l'homme selon Kant, ce « désir », s'il ne peut être aujourd'hui assouvi, ne devrait pas s'éteindre de si tôt. Nous avons plutôt montré qu'on le voyait périodiquement renaître sous des formes plus ou moins inventives. Or, cette inventivité est une ressource majeure de l'histoire des sciences. Mais la ruse de l'histoire de la science est telle que les théoriciens et autres spéculatifs des formalisations ont rarement les effets directs qu'ils escomptent avoir : comme le montre l'histoire récente des avatars des fractales ou de la théorie des catastrophes dans les sciences de la morphogenèse (voir Varenne – 2004), par exemple, les nouveaux formalismes qu'ils proposent sont rarement l'occasion d'applications réellement immédiates

⁵ Pour être tout à fait juste, d'autres travaux de Rashevsky ont eu, quant à eux, une incidence importante, notamment sa théorie des deux facteurs (activation/inhibition) dans le secteur des modèles de neurones formels.

mais plutôt celle d'un long travail de fond, d'une réflexion qui, à la longue, a pour effet bénéfique de lever des blocages philosophiques, psychologiques ou techniques chez celui qui modélise réellement et sur le terrain.

Bibliographie sommaire :

- [Bruter, C. P., 1993], Les architectures du feu – Considérations sur les modèles, Paris, Flammarion, 1982, 235p.
- [Canguilhem, G., 1963, 1968, 1994], « Modèles et analogies dans la découverte en biologie », conférence de 1963, publiée en français en 1968 in Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie, réimpression : Paris, Vrin, 1994, pp. 305-318.
- [Gayon, J. 1992], Darwin et l'après-Darwin – Une histoire de l'hypothèse de sélection naturelle, Paris, Kimè, 1992, 457p.
- [Fleury, V., Gouyet, J.-F. et Leonetti, M., 1999], Branching in Nature, Berlin - New York, Springer, 1999, 476p.
- [Keller, E. F., 2002, 2003], Making Sense of Life. Explaining Biological Development with Models, Metaphors and Machines, Cambridge Mass., Harvard University Press, 2002, 2nd édition : 2003, 388p.
- [Kingsland, S. E., 1985, 1995], Modeling Nature – Episodes in the History of Population Ecology, Chicago and London, The University of Chicago Press, 1985, 2nd édition : 1995, 306p.
- [Kostitzin, V. A., 1937], Biologie mathématique, Paris, Armand Colin, 1937.
- [Legay, J.-M., 1997], L'expérience et le modèle, Paris, INRA-Editions, 1997, 111p.
- [Lotka, A. J., 1924, 1956], Elements of Physical Biology, 1924, 2nd édition : Elements of Mathematical Biology, New York, Dover publication, 1956, 465p.
- [Morange, M., 1994], Histoire de la biologie moléculaire, Paris, La Découverte, 1994, 357p.
- [Pearson, K., 1892, 1937, 1949], The Grammar of Science, London, The Temple Press, 1892, réédition modifiée : London, J. M. Dent & Sons Ltd., 1937, réimpression : 1949, 357p.
- [Rashevsky, N., 1938, 1948], Mathematical Biophysics (1 vol.), Chicago, University of Chicago Press, 1938, 2nd édition : 1948.
- [Rashevsky, N., 1960], Mathematical Biophysics – Physico-mathematical Foundations of Biology (2vol.), Chicago, University of Chicago Press, 1960.
- [Reffye (de), Ph., 1979], Modélisation de l'architecture des arbres par des processus stochastiques. Simulation spatiale des modèles tropicaux sous l'effet de la pesanteur – Application au Coffea Robusta, Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris-Sud, 1979, 195p.
- [Segal, J., 2003], Le zéro et le un – Histoire de la notion scientifique d'information au 20^{ème} siècle, Paris, Syllepse, 2003, 890p.
- [Thom, R., 1972, 1977], Stabilité structurelle et morphogénèse, Paris, W. A. Benjamin Inc., 1972, réimpression : Paris, InterEditions, 1977, 351p.
- [Thompson, d'Arcy (Sir), 1917, 1942, 1961, 1994], On Growth and Form, Cambridge University Press, 1917, nouvelle édition : 1942 abrégée en 1961 par J. T. Bonner, traduction : Forme et croissance, Paris, Seuil, 1994, 336p.
- [Vaihinger, H., 1911, 1935], Die Philosophie des « als ob », 1ère édition : Berlin, 1911, traduction de la 6^{ème} édition : The Philosophy of 'as if', London, Paul Kegan, 1935, 370p.
- [Varenne, F., 2001], "What does a computer simulation prove? The case of plant modeling at CIRAD (France)", in Simulation in Industry, Proc. of the 13th European Simulation Symposium, ed. By N. Gimbiassi and C. Frydman, SCS Europe Bvba, Ghent, 2001, pp. 549-554.
- [Varenne, F., 2003a], « La simulation conçue comme expérience concrète », Actes des 10^{ème} journées de rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels (Rochebrune, janvier 2003), portant sur Le statut épistémologique de la simulation, Paris, éditions de l'Ecole Nationale des Télécommunications (ENST), pp. 299-313.
- [Varenne, F., 2003b], « La simulation face à la méthode des modèles », Natures Sciences Sociétés, vol. 11, 2003, n°1, pp. 16-28.
- [Varenne, F., 2004], Le destin des formalismes : à propos de la forme des plantes – Pratiques et épistémologies des modèles face à l'ordinateur, Thèse de l'Université de Lyon 2 (histoire des sciences), soutenue à Lyon le 29 novembre 2004, préparée sous la direction de Girolamo Ramunni, 840p.
- [Varenne, F., 2005], « Nicholas Rashevsky (1899-1972) : de la biophysique à la biotopologie », Actes du Congrès National de la Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques, Poitiers – mai 2004, à paraître début 2005.
- [Volterra, V., 1931, 1990], Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie, Paris, Gauthier-Villars, 1931, réimpression : Editions Jacques Gabay, 1990, 214p.
- [Wiener, N., 1948, 1961], Cybernetics, or Control and Communications in, the Animal and the Machine, 1ère édition : Paris, 1948, réédition : New York, John Wiley, 1961.