

1.1 Une conception non darwinienne de l'évolution biologique

Jean-Jacques Ducret

Pour bien comprendre les thèses hétérodoxes proposées par Piaget sur la question de l'évolution des espèces, il convient de partir du terreau dont elles sont issues, à savoir les débats sur l'origine des espèces tels qu'ils se déroulaient en France et en Suisse romande dans les années où le jeune Piaget a développé ses premiers travaux et ses premières idées sur cette question.

CONCEPTIONS DE L'EVOLUTION EN FRANCE ET SUISSE ROMANDE AU DEBUT DU 20^{EME} SIECLE

Les solutions darwiniennes

En Suisse romande comme en France, au début du 20^{ème} siècle, rares sont les auteurs qui soutiennent une conception darwinienne de l'évolution des espèces. Nous mentionnerons par la suite un jeune chercheur auquel le jeune Piaget sera amené à se confronter lors de son apprentissage de base en sciences naturelles, plus précisément en malacologie (branche de la biologie qui a pour objet les mollusques), et dont les travaux s'inscrivent dans le courant darwinien. Mais pour l'instant, contentons-nous de cerner en quoi consiste l'essentiel d'une telle conception. Pour ce faire, nous utiliserons le langage et les concepts que les biologistes du début du 20^{ème} siècle employaient pour débattre de la question de l'évolution des espèces, langage et concepts qui formeront le lit des travaux et des réflexions biologiques de Piaget tout au long de sa vie.

Toute explication darwinienne de l'évolution repose sur les notions de variation et de sélection qui, pour être pleinement entendues, exigent que l'on distingue deux ordres ou deux niveaux de réalité biologique, à savoir le plan du germe et celui du soma, pour emprunter le langage du biologiste Weismann qui les a le premier explicitement opposés, ou le plan de l'espèce et celui de l'individu, ou encore les plans du génotype et du phénotype. Le premier ordre de phénomènes désigne ce qui est héréditairement transmis par les parents à leur progéniture (les gènes). Le second ordre désigne le produit du développement de chaque organisme individuel, ce développement impliquant à la fois les interactions entre les composantes internes de cet organisme et les interactions de celui-ci avec les milieux dans lesquels il vit au cours de son ontogenèse. Les explications darwiniennes de l'évolution reposent sur la thèse selon laquelle l'histoire de ces interactions ne joue en aucun cas un rôle de guidage par rapport aux transformations qui se produisent au niveau du génome et qui, transmises d'une génération

à l'autre, sont seules considérées comme étant d'ordre héréditaire. Cette thèse, qui a été formulée à la suite d'échecs successifs lors d'expériences ayant pour but de transformer le patrimoine héréditaire à partir de transformations somatiques ou phénotypiques, implique que l'on distingue deux sortes de variations : celles, dites héréditaires, qui se produisent au niveau du germen (du système génétique), ou qui sont la conséquence phénotypique de ces variations germinales, et celles, dites individuelles, qui sont la conséquence des interactions des individus avec le milieu dans lequel ils vivent. L'exemple classique est celui qui oppose la variation de la couleur des yeux entre deux individus d'une même espèce, et la variation qui oppose le développement des muscles (qui est tributaire de leur utilisation plus ou moins grande). Il faut noter que des variations héréditaires interviennent forcément au sein des variations phénotypiques (la capacité de développer un muscle plus ou moins puissant ne dépend pas seulement de l'exercice de ce muscle, mais aussi de la capacité héritée de développer plus ou moins un tel muscle). Par contre, et là est le cœur de la thèse darwinienne, à supposer que deux individus, par exemple deux vrais jumeaux, soient dotés d'une capacité innée identique de développer un muscle, le fait que l'un des deux individus aille, en fonction des contraintes du milieu, être amené à développer un muscle plus puissant que l'autre n'agit en aucune façon sur la partie du génome impliquée dans le processus de différenciation musculaire. Cela signifie que, à moins qu'une variation de cette partie se soit fortuitement produite par ailleurs, la progéniture des deux individus sera dotée d'un patrimoine héréditaire rigoureusement identique pour ce qui est de la composante de leur système génétique empruntée à l'un ou l'autre des deux individus. Si variation il y a entre les deux progénitures, comme ce sera pratiquement toujours le cas, cette variation entre leur patrimoine héréditaire sera la conséquence soit d'une mutation encore une fois fortuite du matériel héréditaire, soit, dans le cas des reproductions sexuelles, d'une combinaison génétique impliquée par le fait que les deuxièmes parents n'ont pratiquement aucune chance d'être dotés d'un matériel héréditaire identique en ce qui concerne la propriété phénotypique ou somatique en jeu.

Nous avons maintenant à disposition l'essentiel des éléments qui nous permettent de caractériser l'explication darwinienne de l'évolution des espèces. Si évolution ou transformation des espèces il y a, la raison en est que les innombrables variations héréditaires fortuites provenant des mutations et des recombinaisons du matériel génétique n'ont pas toutes la même conséquence pour la vie des organismes. Certaines sont létales et ne seront pas transmises. D'autres n'ont pas de portée véritable. Elles seront donc transmises, mais ne suffiront généralement pas à faire apparaître de nouvelles espèces. D'autres enfin favoriseront ou au contraire seront défavorables aux individus qui les portent, en permettant ainsi au deuxième grand mécanisme darwinien d'agir, à savoir la sélection naturelle. Auront tendance à être davantage reproduites (c'est-à-dire

transmises) les variations héréditaires qui font que les individus les possédant ont un peu plus de chance de survivre et de se reproduire, ce qui, de génération en génération, et en raison de plusieurs autres facteurs secondaires, aboutit à l'apparition de nouvelles races, puis de nouvelles espèces (en particulier lorsque des barrières apparaissent dans le mécanisme de la reproduction sexuelle).

Nous nous sommes un peu longuement étendus sur la conception darwinienne de l'évolution dans la mesure où c'est elle que Piaget cherchera à dépasser en proposant une solution qui rompt avec le « dogme » central de l'absence d'action autre que fortuite des variations individuelles sur les variations héréditaires. Ce faisant il se rangera, au moins sur ce point, dans le camp des biologistes lamarckiens qui ont dominé la biologie française au début du 20^e siècle et dont le jeune Piaget connaissait très bien les travaux.

Les solutions lamarckiennes

Là encore, nous n'allons pas détailler toute la palette des conceptions lamarckiennes qui étaient proposées au début du 20^{ème} siècle; nous nous en tiendrons à une caractérisation globale de ces solutions directement issue de la *Philosophie zoologique* de Lamarck (1968/1809). De manière générale, les conceptions lamarckiennes de l'évolution ignorent ou écartent le dogme du darwinisme pour admettre au contraire la thèse selon laquelle les variations imposées sur le développement des organes ou de l'organisation globale d'un individu par les contraintes du milieu dans lequel il vit sont la source majeure de la transformation des espèces. Il convient de se souvenir qu'au début du siècle, l'élément principal de l'explication darwinienne - le système génétique et les variations héréditaires qui en dépendent - est encore largement hypothétique, et les biologistes qui évoquent des notions telles que le germen paraissent recourir à des explications largement spéculatives. Les chromosomes et les gènes qui les composent étaient déjà identifiés, mais leur rapport avec les caractères phénotypiques restait alors mal connu. A cette époque, une bonne partie de la biologie de l'évolution se rattachait encore à l'étude des organismes vivants et de leur interaction avec leur milieu et cherchait dans l'étude de ces interactions la source de l'évolution. Face à l'extraordinaire capacité adaptative dont la majorité des organismes font preuve par rapport au milieu dans lequel ils vivent, l'idée semble en effet naturellement s'imposer que, si l'on rejette toute intervention extra-naturelle, cette adaptation est le résultat direct d'une telle interaction, et c'est bien cette idée que Lamarck avait proposée au début du 19^{ème} siècle pour expliquer l'évolution des espèces: « De grands changements dans les circonstances amènent pour les animaux de grands changements dans leurs besoins, et de pareils changements dans les besoins en amènent nécessairement dans les actions » (cité par Y. Delage, pp. 243), et de là, dans les parties de l'organisme qui concourent à cette action. Les modifications adaptatives qui résultent de ces actions pourront de plus se transmettre à une nouvelle génération d'individus « pourvu que les changements acquis soient communs aux deux

sexes, ou à ceux qui ont produit ces nouveaux individus » (*ibid.*, p. 249). Tous les biologistes d'orientation lamarckienne, et ils sont légion en France au tournant des 19^{ème} et 20^{ème} siècles n'auront alors de cesse, face aux explications darwiniennes reposant sur la dyade variation héréditaire fortuite et sélection, de montrer la justesse de l'explication lamarckienne. Pour cela il s'agira d'abord de prouver que des changements de milieu entraînent des changements des organismes individuels, et que ces derniers peuvent sous certaines circonstances devenir héréditaires, c'est-à-dire se transmettre chez les descendants des organismes modifiés, alors même que ceux-ci sont replacés dans le milieu dans lequel se trouvaient les ancêtres de leurs géniteurs. C'est précisément ce que Piaget s'efforcera de démontrer à son tour peu après qu'il aura soutenu, en 1918, son doctorat en sciences naturelles (un doctorat dans lequel les considérations théoriques cèdent la place à un pur travail de taxinomie des mollusques du canton du Valais). Mais pour comprendre la raison pour laquelle il refusera de catégoriser sa solution sous l'étiquette du lamarckisme, il faut encore noter un point en ce qui concerne les différentes formes de solutions lamarckiennes proposées avant lui. Alors que Lamarck voyait dans le changement du milieu la source de l'évolution des espèces, il n'en laissait pas moins une place tout aussi essentielle au besoin des organismes et à leur action sur le milieu. Or, selon l'interprétation que l'on donne de ces notions de besoin et d'action et selon la place qu'on leur attribue dans l'explication des transformations d'un organisme, des thèses opposées pourront naître dont les unes reviennent à concevoir les formes organiques comme un pur et simple reflet de propriétés du milieu (comme l'illustre très bien l'exemple, proposé par Lamarck lui-même, du cou de la girafe dont la longueur serait le reflet de la hauteur des feuilles des arbres dont elle cherche à se nourrir), ou au contraire comme des formes dont la complexité est la conséquence d'une créativité au moins partielle des organismes concernés (comme l'illustre un organe tel que l'œil). Face à cette complexité, certains biologistes, tels que L. Cunéot, en arriveront même à prêter à la vie une puissance plus ou moins mystérieuse de création de formes ou d'organes qu'ils identifieront au moins partiellement au pouvoir créateur d'une intelligence humaine elle-même tout aussi mystérieuse. Mais il est vrai que le biologiste lamarckien, fasciné par la question de l'adaptation d'un organisme à son milieu, aura souvent tendance, dans son explication, à négliger le caractère créatif interne de l'organisme pour assimiler l'adaptation à une pure et simple accommodation. Cela ressort très bien d'une bonne partie de l'œuvre du biologiste français qui a le plus instruit Piaget sur le plan du lamarckisme, à savoir F. le Dantec. Pour celui-ci l'évolution des espèces se laisse largement réduire à une sorte de décalque, d'imitation, par l'organisme des propriétés du milieu dans lequel il est appelé à vivre, ce travail d'accommodation qui serait à la base de l'évolution des espèces étant lui-même expliqué chez cet auteur soit mécaniquement, comme un ressort qui prend la forme qu'on lui donne, soit par un mécanisme de sélection interne des cellules

vivantes qui permet à l'organisme total la meilleure adaptation possible à son milieu. C'est donc d'une manière en partie fondée que Piaget sera amené à rapprocher le lamarckisme de l'empirisme épistémologique, c'est-à-dire de cette thèse peu acceptable qui consiste à dire que la science tout entière, la mathématique et la logique y compris, du moins pour certains empiristes, est le reflet des régularités plus ou moins générales constatées dans le monde extérieur. Pour comprendre comment Piaget va prendre position dans le débat qui oppose les biologistes les uns aux autres face à la grande question de l'évolution, il convient encore de rapporter un épisode de l'histoire de la formation de la pensée biologique de Piaget qui explique peut-être pourquoi celui-ci n'a jamais complètement assimilé l'explication darwinienne constamment rejetée et n'a pas cessé d'adopter des thèses qui s'inscrivent dans la tradition lamarckienne en ce qui concerne le rapport entre transformations héréditaires et transformations individuellement acquises.

Un épisode important de l'histoire de la formation de la pensée biologique de Piaget

Nous avons dit que le point de vue darwinien était peu défendu en France et en Suisse romande au début du 20^{ème} siècle. Cette affirmation doit être nuancée. Elle concerne avant tout les grands ouvrages de biologie que des auteurs, pour la majorité français, rédigeaient alors en exposant faits et thèses relatifs à l'évolution. Sur le plan des recherches de laboratoire, il n'en allait pas forcément de même, comme le suggèrent les travaux d'un jeune chercheur polonais – Waclaw Roszkowski – travaillant à l'Université de Lausanne sur la question de la classification de certains mollusques du lac Léman, alors même que de son côté le jeune Piaget, élève du lycée puis du gymnase de Neuchâtel, était attelé à des tâches de classification similaires. Comme souvent en pareil cas, un travail de recherche pointu ne traite pas directement des grands problèmes qui sont à la base d'une science, et en l'occurrence de la question de l'évolution des mollusques. L'objet du travail de Roszkowski était plus modeste : réaliser une classification respectant les méthodes et les concepts imposés par les progrès de la biologie. En l'occurrence, classer les mollusques en utilisant la distinction « variation héréditaire » « variation individuelle » provenant précisément de la progression de la biologie de l'évolution. Nous n'avons pas à entrer dans le détail du travail de Roszkowski. Notons seulement le point suivant : alors qu'il classait certaines limnées du Léman en tenant compte de cette distinction, Roszkowski n'a pu que s'opposer à la classification que le jeune Piaget venait peu avant de proposer. En effet, celui-ci utilisait pour seul critère les caractères les plus apparents (donc sans souci de l'opposition mendélienne entre variation héréditaire et variation individuelle) pour classer les individus dans telle ou telle race de limnées, à savoir la forme de leur coquille. Cet épisode de la formation de la pensée de notre auteur a dû certainement être quelque peu douloureux pour lui dans la mesure

où, avant le travail de Roszkowski, le jeune Piaget était reconnu comme un spécialiste déjà éminent de la malacologie des lacs et des régions de la Suisse romande et de la France voisine. En un sens, c'est de la pire façon qu'il était appelé à prendre connaissance d'un aspect de la solution darwinienne (cet aspect qui repose sur la redécouverte des lois de Mendel, et donc sur la découverte alors en cours de la génétique et de ses lois). La classification à laquelle il avait abouti reposant sur des critères plus lamarckiens que darwiniens (des caractères phénotypiques plus visibles et modifiables tels que la forme ou la grandeur d'une coquille), celle de Roszkowski étant au contraire basée sur des caractères plus identifiables à des variations héréditaires (la forme de l'appareil sexuel des limnées), il en résultait que la polémique dans laquelle le jeune Piaget était projeté le rangeait implacablement dans le camp des biologistes lamarckiens ignorants ou peu soucieux de la portée explicative de la génétique mendélienne pour la théorie de l'évolution qui allait finalement l'emporter au cours du 20^{ème} siècle, à savoir la théorie synthétique de l'évolution dont l'un des piliers est la thèse darwinienne de la sélection naturelle.

Voyons maintenant quelles étapes successives va franchir Piaget dans la construction d'une théorie pour laquelle les transformations ou les adaptations individuelles des organismes sont le point de départ de l'origine des nouvelles espèces (il faut insister sur cette notion de point de départ, car la théorie darwinienne laisse place, elle aussi, à un rôle relativement central des transformations individuelles dans l'évolution d'une espèce, à la différence près que cette théorie met en avant les variations innées qui, d'un individu à l'autre, peuvent faciliter ou rendre plus difficiles ces transformations individuelles).

LA SOLUTION PIAGETIENNE

Première étape : adoption d'une solution lamarckienne

Cette première étape est liée aux répliques que le jeune Piaget est amené à faire entre 1912 et 1914 à son aîné Roszkowski. Après une phase de résistance qui a consisté à soutenir un point de vue utilitariste dans la classification des formes vivantes (choisir la classification la plus efficace pour le naturaliste), Piaget est amené à reconnaître qu'il ne faut pas se fier aux seules apparences : deux formes animales en apparence très similaires peuvent appartenir à des espèces différentes, et au contraire deux formes en apparence très différentes peuvent être le fait d'individus appartenant à une même espèce. Il admet en particulier la nécessité de tenir compte, en plus des apparences, des résultats d'expériences d'élevage dans lesquelles on modifie les conditions environnementales des descendants de telle ou telle variété de limnées. Une certaine expérience lui montre en particulier que deux variétés de limnées qu'il croyait appartenir à des espèces bien distinctes présentent des rapports de filiation. La question qu'il va alors se poser est celle de savoir dans quelle mesure on a affaire à une même espèce ou à deux espèces différentes. Alors

que, de son côté, Roszkowski tend à recourir à des techniques mendéliennes (croisement d'individus) pour savoir si on a ou non affaire à des variétés héréditaires différentes, ce qui le place du côté du darwinisme, pour le jeune Piaget, qui refuse le critère mendélien, on aura affaire à une véritable nouvelle espèce si la variété considérée habite depuis un nombre suffisant de générations dans un nouveau milieu qui l'isole des individus de la population vivant dans l'ancien milieu et qui oblige les individus ainsi isolés à s'adapter aux conditions de vie du nouveau milieu. Dès lors, même si les « bonnes nouvelles espèces ainsi créées commencent à n'être héréditaires que dans leur milieu », susceptibles qu'elles sont « d'être ramenées à tel type existant, si on les transporte ailleurs », la durée seule est le facteur essentiel, la nouvelle espèce étant à ses débuts caractérisée moins par ses propriétés ou ses caractères acquis, que « par ses tendances » (Piaget, 1914). Un tel point de vue entre tout à fait en résonance avec les thèses soutenues par certains biologistes lamarckiens du début du 20^{ème} siècle.

Deuxième étape : des recherches destinées à prouver la validité d'une solution « néo-lamarckienne »

Une fois reçu son doctorat en sciences naturelles, l'objectif essentiel de Piaget sur le plan biologique sera de résoudre le problème de l'origine des espèces. Le travail qu'il réalise à cette fin comporte deux dimensions. La première, qui relève de l'épistémologie de la biologie, consiste à établir l'ensemble des solutions possibles; la seconde, à mettre au point des expériences permettant de trancher en faveur de l'une ou l'autre de ces solutions. Sur le premier plan, il suffit de dire ici que la progression de ses connaissances en psychologie et en épistémologie génétiques le conduit à assimiler lamarckisme et empirisme, darwinisme et préformisme, et à vouloir rechercher, sur le plan de la biologie comme sur celui de la psychologie, un tertium qui dépasse les limites de ces classes d'explication. Cette double assimilation ne peut plus être considérée comme pleinement satisfaisante aujourd'hui. Mais ce qui nous importe vraiment ici n'est pas cette double assimilation mais bien la recherche d'une solution originale qui, tout en se rapprochant des solutions lamarckiennes par l'acceptation d'une possible action non quelconque des acquisitions individuelles sur les transformations du génome, s'en distingue en fonction des connaissances accumulées en psychologie sur les mécanismes plausibles de construction des structures cognitives sous-jacentes aux différentes étapes du développement de l'intelligence humaine.

Cette deuxième étape est caractérisée par la mise en place d'une première vaste expérience destinée à prouver l'action sur le patrimoine héréditaire des adaptations réalisées par les individus au cours de leurs interactions avec les caractéristiques d'un nouveau milieu (Piaget, 1929). Entreprise dans les années vingt, cette recherche permet à Piaget de découvrir des formes stables de limnées des eaux profondes, et notamment la forme contractée *bodamica*, qui

se conserve lorsqu'elle est transportée en aquarium, où elle donne naissance à des descendants de forme également contractée. Une analyse biométrique montrant que le degré de contraction des coquilles varie en fonction de l'agitation des eaux dans lesquelles les limnées vivent, la première question qui se pose est celle du mécanisme de cette adaptation. Il n'y a pas d'action directe du milieu. Comme Lamarck l'avait déjà reconnu, le facteur clé est la modification des comportements induite par un nouveau milieu. En se cramponnant à son support pour ne pas être emporté par l'agitation de l'eau, le jeune mollusque modifie la forme de sa coquille, qui devient plus contractée. Le degré de contraction des mollusques plongés dans un milieu agité sort des limites de contraction constatées chez leurs anciens congénères vivant en eau non agitée. Mais précisément, la recherche réalisée montre que, transportés dans l'ancien milieu, les descendants de la variété *bodamica* conservent leur forme contractée. D'où la conclusion de Piaget, qui sera ultérieurement reprise par le biologiste Waddington, selon laquelle la vie en eau agitée a conduit à l'apparition de caractères qui peuvent se transmettre héréditairement. Dans les termes de Waddington, l'expérience réalisée par Piaget révèle une « assimilation génétique » de caractères d'abord acquis sur le plan de l'ontogenèse individuelle. Mais Piaget tend à privilégier une thèse qui va au-delà de ce constat : cette assimilation génétique serait la conséquence d'une action non quelconque des adaptations individuelles sur le matériel héréditaire. La raison pour laquelle Piaget tend à privilégier une explication qui s'inscrit dans la filiation lamarckienne du passage de l'acquis à l'inné est qu'il n'a jamais constaté dans les limnées vivant en eau non agitée la présence de formes contractées extrêmes semblables aux formes des *bodamica*. Cet argument est à ses yeux suffisant pour rendre peu plausible une explication darwinienne alors identifiée à l'apparition par mutation d'individus prenant une forme semblable à une *bodamica*. Mais cette identification que fait alors l'auteur est liée à une explication darwinienne particulière qui s'appuie sur la thèse : un caractère – un gène, très vite abandonnée par les darwiniens du 20^{ème} siècle. La génétique des populations n'aura de son côté pas de peine à expliquer comment, en quelques générations, un groupe d'individus isolés dans un nouveau milieu peut induire une modification du pool génétique de cette population aboutissant à l'effet constaté par Piaget (la conservation des caractères *bodamica*, lorsque les descendants des individus transformés sont replacés dans le milieu d'origine). Pour éprouver la supériorité de son hypothèse, il aurait fallu que les descendants des individus modifiés habitent pendant plusieurs générations avec des individus appartenant à la variété qui a donné naissance aux *bodamica* et chez lesquels on ne constate pas le degré de contraction de ces dernières. Mais même à supposer que l'on continue à constater en de telles conditions la présence de *bodamica* après plusieurs générations, une telle constatation n'impliquerait pas le nécessaire rejet d'une explication darwinienne de ce qui serait une vraie assimilation génétique. Le darwinisme pourrait en effet en

pareil cas recourir à une interprétation spéciale du mécanisme de sélection naturelle que le psychologue J.-M. Baldwin a été le premier à proposer dès la fin du 19^{ème} siècle en expliquant comment un patrimoine héréditaire peut progressivement être modifié pour produire de manière innée les modifications initialement produites dans des conditions particulières, au cours du développement des individus confrontés à ces conditions. Quoiqu'il en soit de cette réserve que l'on peut faire à la critique piagétienne du darwinisme basée sur une interprétation trop restrictive de celui-ci, à la suite de cette expérience, Piaget n'en favorise pas moins une explication incompatible avec le dogme darwinien de l'absence d'action « directe » des adaptations individuelles sur les adaptations héréditaires. L'étape suivante de sa quête d'une explication de l'origine des espèces va être alors de préciser par quel mécanisme l'adaptation individuelle liée aux modifications du comportement peut agir sur le patrimoine héréditaire d'un individu de manière à ce que ses descendants puissent bénéficier, sous certaines circonstances, de cet effort adaptatif initial de l'organisme individuel.

Troisième étape : une spéculation sur quelques mécanismes hypothétiques pouvant relier adaptations individuelles et transformations du système héréditaire

Disons tout de suite que, rompant avec l'idée, en effet voisine de l'empirisme, d'une pure et simple copie ou intériorisation des adaptations individuelles par le génome, Piaget va envisager une hypothèse qui revient à attribuer à celui-ci des capacités de transformation et d'innovation similaires à celles constatées sur le plan de l'intelligence humaine et de ses inventions. Il y a ici deux thèses plus ou moins provocantes. La première rejoint celles de la deuxième cybernétique sur les processus auto-organiseurs créateurs de formes manifestant une complexité et un ordre croissants¹. La seule chose qui est transmise par les adaptations individuelles au système génétique (ou au patrimoine héréditaire) est l'indice d'un désordre dans les réalisations habituellement adaptées du génome interagissant avec le milieu externe et le milieu interne de l'organisme pour produire celui-ci. En d'autres termes, le caractère peu adapté d'un organisme en développement et obligé pour survivre de se comporter d'une manière qui induit des modifications des caractéristiques phénotypiques propres à son espèce provoque un déséquilibre du génome de cet individu qui tend dès lors à se modifier pour réduire les tensions internes de ce génome, mais sans recevoir aucune information sur la solution que, de son côté, l'adaptation individuelle a trouvée pour permettre à l'individu d'accomplir les tâches qui sont normalement les siennes (alimentation, reproduction, etc.). Cette spéculation ouvre à

¹ Voir par exemple von Foerster (1982). Ce lien entre certaines conceptions de Piaget et les thèses de la deuxième cybernétique sera exploré un peu plus avant dans le chapitre sur les sciences cognitives.

l'évidence une porte à une forme renouvelée de lamarckisme, qui intègre au moins partiellement une facette du darwinisme initialement critiquée par Piaget : l'intervention d'une certaine contingence au sein des transformations créatrices. Le mécanisme de *variation (aléatoire) – sélection* imaginé par Darwin pour expliquer l'origine des espèces est d'une certaine façon transposé du plan des populations d'individus au plan du génome interne à chaque individu.

La deuxième spéculation à laquelle est conduit Piaget tend à restreindre au contraire le rôle du hasard inhérent au tâtonnement à l'aveugle engendrant les modifications du génome qui permettent à celui-ci de produire des caractères phénotypiques plus appropriés au nouveau milieu, ce dernier étant la source indirecte – médiatisée par le comportement et par les adaptations individuelles – des déséquilibres internes. Cette deuxième spéculation est plus osée dans la mesure où elle revient à attribuer au génome des capacités qui ne sont pas sans ressemblance avec celles dont Piaget a pu étudier la genèse dans le développement de l'intelligence de l'enfant. Pour donner un début de confirmation à une telle spéculation, Piaget évoque des observations faites cette fois non plus sur des mollusques, mais sur des végétaux, et plus précisément avec certaines variétés de Sédums (Piaget, 1966). Ce qui retient en particulier son attention est la façon dont ces variétés préparent leur reproduction en facilitant par avance la chute des rameaux qui, une fois tombés sur le sol, « s'y implantent grâce à des racines adventives »². On aurait là affaire à un exemple de cette sorte d'anticipation génétique (et non pas cognitive) déjà reconnue par les biologistes dans le passé. Cet exemple est toutefois précieux en ce que les variétés examinées par Piaget semblent montrer comment cette anticipation est progressivement préparée et renforcée en passant de certaines variétés de Sedum à d'autres variétés, et comment au sein même d'une variété, la préparation à la chute peut être plus ou moins forte selon les conditions du milieu, de la même façon que, pour les limnées, l'indice de contraction des coquilles pouvait varier selon les conditions du milieu dans lequel ils vivent. Plus précisément, ces observations conduisent Piaget à reconnaître sept sortes d'anticipation organique de la chute des rameaux, qui se distinguent par le caractère plus ou moins tranché et spectaculaire des anticipations constatées. Le plus remarquable à ses yeux est le fait que, chez certains individus, selon le milieu dans lequel ils se développent, la préparation de la chute apparaît comme un transfert progressif, des racines jusqu'aux rameaux aériens, de la préparation à la séparation. Ce processus de transfert se produit en cinq étapes³. La première concerne ce qui se passe au niveau souterrain. Elle ne

² J. Piaget, Logique et connaissance scientifique, p. 915.

³ J. Piaget, Observations sur le mode d'insertion et la chute des rameaux secondaires chez les Sedum : essai sur un cas d'anticipation morphogénétique explicable par des processus de transfert. Candollea, Genève, 21, 1966, pp. 218-219.

fait intervenir que des processus de causalité immédiate, mais déjà circulaires. Les étapes suivantes se caractérisent par le transfert progressif de la préparation à la séparation vers les parties aériennes de la plante. Cette transmission se manifeste par un accroissement de plus en plus sensible, en fréquence et en points de rupture possibles, des anticipations de chute qui ne peuvent dès lors plus s'expliquer par les mêmes processus causaux, puisque ce pourquoi les rétrécissements et autres rainures se produisent est un événement futur. Le fait que les différentes étapes puissent ou non se produire chez des *Sedum* d'une même variété selon les milieux dans lesquels ils se développent suggère que le système génétique a la capacité de répondre différemment, de manière non forcément prédéterminée, en fonction des contraintes extérieures. Sa capacité de prévoir en quelque sorte la future chute d'un rameau aérien serait le résultat d'une différenciation d'un système ou d'un *schème de réaction* fonctionnel déjà présent dans la production et la séparation des racines devenant rameaux souterrains, et qui est un système cybernétique dans lequel la production d'une racine renforce la croissance d'un rameau souterrain, dont l'indépendance alors croissante renforcerait à son tour le développement de la racine. L'anticipation de la chute des rameaux aériens s'expliquerait ainsi par le fait que, les éléments du « schème de réaction » transféré étant interdépendants et formant un système à boucle, il suffira « que le premier d'entre eux apparaisse, c'est-à-dire le début de croissance du rameau (...) pour que l'ébauche de séparation se trouve déclenchée en fonction de l'ensemble »⁴.

Même sommairement exposé, cet exemple illustre bien la façon dont Piaget tend à interpréter, à la lumière de sa théorie de la construction de l'intelligence, la façon dont le système génétique pourrait de son côté créer des réponses originales à de nouvelles circonstances découlant d'un changement de milieu interne et externe. Ce faisant on voit comment il tend à reprendre dans une certaine mesure à son compte, mais en la débarrassant de tout ce qu'elle pouvait comporter de mystérieux, la conception suggérée dans la première moitié du 20^{ème} siècle par le biologiste et généticien L. Cuénot, conception selon laquelle l'origine des formes vivantes, et en particulier une forme aussi complexe que celle de l'œil, ne peut s'expliquer que par l'attribution au génome d'une faculté d'invention ou d'une « sorte d'intelligence combinatoire »⁵ plus puissante que le seul jeu des variations héréditaires aléatoires et des sélections après coup des phénotypes issus de ces variations. D'ailleurs dans son dernier ouvrage sur cette question, Piaget tendra de la même façon à attribuer au système génétique non seulement la capacité à recréer les adaptations d'abord acquises sur le plan du développement individuel, mais des « mécanismes combinatoires, compensateurs et

⁴ id. p. 235.

⁵ L. Cuénot, *Invention et finalité en biologie*, Flammarion, 1941, p. 153.

constructifs »⁶, ou encore une « combinatoire génique »⁷ permettant la création de nouveaux organes, ou encore des instincts complexes, en particulier ceux dont le déroulement implique la coordination des actions de plusieurs individus. Ces mécanismes seront alors très directement inspirés de ceux que Piaget a découverts dans la dernière décennie de ses recherches sur les mécanismes de construction des structures cognitives⁸.

⁶ Piaget, *Le comportement, moteur de l'évolution*, 1976a, p. 123.

⁷ *id.*, p. 181.

⁸ Ducret, ... SRED, 2000.

1.2 Les relations entre les plans organiques et psychologiques

Jean-Jacques Ducret

Lorsque, prenant un peu de recul, on considère la totalité de l'œuvre piagétienne, à la fois dans ses étapes de formation et dans les différents domaines et directions dans lesquels elle s'est déployée, il est difficile de ne pas être frappé par l'unité de l'œuvre et par la continuité que Piaget ne cesse d'entrevoir entre les phénomènes biologiques, psychologiques et même sociaux qu'il n'a cessé d'étudier, certes de manière plus ou moins soutenue, tout au long de sa vie. Cette unité se laisse en partie comprendre par l'état des idées philosophiques et scientifiques qui ont servi de point de départ à la construction de cette œuvre.

LES PREMIERES PRISES DE POSITION DE PIAGET SUR LES RAPPORTS ENTRE L'ORGANIQUE ET LE PSYCHOLOGIQUE

L'environnement intellectuel de départ

L'étude de la formation de la pensée de Piaget montre comment, alors même que l'adolescent apprenait son métier de naturaliste auprès du conservateur du Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel, il découvrait et s'intéressait progressivement aux domaines de la philosophie et des sciences humaines. Très tôt chez lui les interrogations sur la vie et celles sur la pensée et sur la société se sont mêlées au point que les sciences psychologiques et sociales lui paraissaient être, à l'instar de beaucoup de savants du 19^{ème} siècle, comme un sous-continent des sciences de la vie. Presque tous les auteurs auprès desquels le jeune Piaget a découvert les problèmes scientifiques et épistémologiques posés par les réalités psychologiques et sociales ne voyaient pas de discontinuité radicale entre celles-ci et la réalité biologique. Le système de philosophie scientifique élaboré par Herbert Spencer et dans lequel celui-ci considère successivement l'évolution de l'univers physique, puis l'évolution des réalités biologiques, psychologiques et sociales est la meilleure illustration de cette continuité. Cet auteur était d'ailleurs l'un des premiers à mettre en place un ensemble de notions couvrant les trois ordres d'évolution, en utilisant ainsi bien avant Piaget les concepts d'équilibration, de différenciation, d'intégration et de coordination pour expliquer comment des réalités de plus en plus complexes pouvaient naître de réalités plus élémentaires. Mais malgré cette continuité souvent envisagée de la psychologie et de la biologie, du moins chez les savants nourris du positivisme ou du scientisme ambiant, la naissance au 19^{ème} siècle de la psychologie scientifique ne pouvait manquer de soulever l'une des questions philosophiques les plus difficiles : qu'en est-il des rapports entre la

réalité psychologique et la réalité physico-chimique ? Cette question est d'autant plus épineuse que l'on admet parmi les faits psychologiques la propriété de pouvoir être conscients. Le psychologue étudie les perceptions, les images mentales, les raisonnements, les comportements intentionnels. Quel rapport peut-il y avoir entre ces objets et ceux, inertes, étudiés par le physicien, ou même vivants étudiés par le neurophysiologue ? Ce type de question soulève les mêmes interrogations que celles soulevées depuis longtemps en philosophie sur les rapports entre la matière et l'esprit, ou sur *L'âme et le corps*, pour reprendre le titre d'un ouvrage publié par le psychologue expérimentaliste Binet dans la première décennie du 20^{ème} siècle. On peut donc retrouver chez les psychologues qui acceptent de s'y confronter la même pluralité de conceptions que celle qui, en philosophie, a opposé, par exemple, matérialisme et idéalisme. Etant entendu que l'être qui perçoit, conçoit, etc., n'a jamais affaire qu'à des sensations, des perceptions, des idées, le métaphysicien spiritualiste en conclut à la seule existence de l'esprit. De son côté, le métaphysicien matérialiste s'appuie sur l'extraordinaire réussite des sciences physico-chimiques dans leur étude des phénomènes pour en déduire que la matière, le mouvement et l'énergie physiques sont la base de toute chose, y compris du fonctionnement du cerveau. La seule question un peu délicate qu'il lui faut trancher est, précisément, celle du rapport entre la pensée, la perception, l'image mentale, le comportement intentionnel, etc., et le cerveau. Pourtant, sa certitude ou son espoir est que les progrès des neurosciences lui permettent déjà ou lui permettront de faire l'économie de l'ancienne interprétation de ces concepts, cela grâce à la réduction qu'il croit entrevoir des faits ainsi désignés (les raisonnements, etc.) avec ce qu'accomplit le cerveau lorsque ces faits se produisent. Il est vrai que les psychologues, qui à la fin du 19^{ème} siècle luttent pour faire de leur discipline une science au sens strict, se gardent généralement de se ranger sous la bannière idéaliste (et lorsque W. James s'y risquera, en flirtant avec le spiritisme, c'est qu'il aura déjà rejeté ou réduit à une portion congrue cette psychologie expérimentale et de laboratoire qu'il a contribué à faire naître à la fin du 19^{ème} siècle). Sont-ils contraints dès lors de se plier au réductionnisme matérialiste ? Non, car d'autres conceptions ont été développées ou peuvent être posées qui permettent d'échapper au dilemme entre matérialisme et idéalisme.

À ces deux familles de conceptions qui tendent l'une et l'autre à réduire tous les phénomènes, soit à la réalité physico-chimique, soit à une réalité spirituelle ou psychique, deux autres familles plus « œcuméniques » viennent en effet s'ajouter. La première est celle des divers interactionnismes, dont un des plus illustres représentants est bien sûr Descartes; la seconde, celle des parallélismes. La thèse de Descartes est connue : indépendant du corps, l'esprit peut agir sur celui-ci en intervenant sur les « esprits animaux », autrement dit en termes plus modernes, en agissant sur les flux électriques qui s'agitent et circulent à l'intérieur du cerveau, en y traçant des canaux

entraînant l'automatisation des conduites et des enchaînements d'idées. La thèse, beaucoup plus récente, du démon de Maxwell (capable de trier des particules physiques et de contrer en partie l'homogénéisation croissante de leur distribution dans l'espace) ne semble pas très éloignée de cette idée, qui a le grand mérite de suggérer comment les activités mentales, la pensée, le raisonnement, etc., peuvent intervenir dans la marche des phénomènes physiques sans forcément contredire les principes de conservation de la matière et du mouvement, de la force, de l'énergie, ou du couple matière-énergie, qui sont la base de la physique scientifique.

Tout en contestant cette idée – qui soulève en effet un problème sur lequel nous reviendrons, en examinant plus loin la prise de position de Piaget à ce sujet –, la thèse originelle du parallélisme revient à admettre que le phénomène étudié par le psychologue comprend nécessairement deux aspects, dont l'un est mental et l'autre matériel. Des thèses plus particulières pourront alors être posées, par exemple celles qui identifient ces deux aspects à deux réalités qui se déroulent chacune de leur côté, mais de manière rigoureusement corrélée; ou celles qui ne voient là qu'une seule réalité observée à travers deux appareils d'observation et décrite avec deux langages différents, ceux du psychologue d'un côté, ceux du neurophysiologue de l'autre (chacune des deux séries d'observations comportant d'ailleurs elle-même ces deux aspects, objets possibles de psychologie et de neurosciences qu'ils sont en effet à leur tour). Cette deuxième forme de parallélisme ajoute ainsi une nouvelle sorte de monisme aux côtés des deux monismes réductionnistes que sont le matérialisme et l'idéalisme métaphysiques.

Premières réflexions piagésiennes

Lorsque le jeune Piaget s'est à son tour confronté au problème, les auteurs sur lesquels il pouvait s'appuyer adoptaient l'une ou l'autre des thèses ci-dessus. Bergson, par exemple, voyait en la matière le résidu que laisse derrière lui l'esprit créateur (l'élan vital). La matière est comme de l'esprit épuisé, inerte. A l'opposé, le biologiste Le Dantec, comme d'autres biologistes, ne considérait la conscience attachée aux faits psychologiques que comme un épiphénomène. Que ces faits psychologiques soient ou non conscients, ils se dérouleraient de la même manière et prendraient place de la même manière dans le devenir du monde, dans la mesure où ils sont la conséquence des lois de la matière et plus particulièrement des lois de ces totalités matérielles spéciales que sont les êtres vivants et leurs cerveaux. Un troisième auteur, Fouillée, se rapprochera d'une explication qui tend à une sorte de monisme idéaliste teinté de parallélisme : il y a une dynamique, une appétition des idées qui tendent à se conserver et à se reproduire, et les cellules nerveuses, voire même toutes les entités physiques (les atomes, etc.), obéissent à cette dynamique.

Pour le jeune Piaget, la continuité de la vie et de l'esprit ne fait aucun doute, et, comme Bergson, il tend à identifier vie et esprit. De

plus, s'appuyant certainement sur les très fines descriptions bergsoniennes des données de la conscience, il est, comme les psychologues de la Gestalt, dont il ignore alors les travaux, sensible à l'irréductibilité des totalités de conscience aux totalités physiques. Mais, comme Fouillée ou Le Dantec, et comme Spencer avant ceux-ci, il veut rendre compte des faits de conscience avec des notions et dans des termes similaires à ceux utilisés par les physiciens dans leur explication du devenir des réalités physiques, ou à ceux utilisés plus spécialement par les biologistes pour rendre compte des phénomènes vivants. Ainsi, rejoignant Spencer et Le Dantec, il considère que le progrès de la vie de l'esprit résulte d'une loi d'équilibre : les totalités de conscience, comme les organismes et comme les totalités physiques tendent vers un équilibre. Seulement, cet équilibre offre, sur le plan de la conscience, la particularité d'être non pas un équilibre entre forces, entre quantités, mais entre qualités. De plus, contrairement à ce qui se passe sur le plan physique, les parties de la totalité en équilibre conservent plus ou moins leur être propre, leurs qualités, alors qu'elles tendent à agir les unes sur les autres, ainsi qu'à subir l'action de la totalité que toutes ensembles elles constituent. Inversement, cette totalité ne se réduit pas à la somme des qualités des parties. Elle a sa qualité propre qui tend à se conserver alors même que les parties agissent sur elle. L'équilibre idéal, source des normes rationnelles, n'est donc pas autre chose que la conservation mutuelle de la totalité vivante-consciente et des parties qui la composent, ainsi que de celles-ci les unes par rapport aux autres. De même, sur le plan des rapports entre réalité biologique et réalité psychologique, Piaget se rangera en partie à l'idée de Le Dantec qui voyait dans les processus d'assimilation et d'accommodation biologiques l'explication non seulement des faits biologiques, mais des faits psychologiques. Seulement, la fine intuition psychologique acquise à la lecture de Bergson le conduira à admettre que, à l'opposé des faits biologiques mis en évidence par Le Dantec chez les protozoaires et qui paraissent soutenir l'identification de l'assimilation à une activité destructrice de la réalité assimilée (identification qui, généralisée à l'extrême par le biologiste français, le conduit à considérer la guerre comme la conséquence directe de la loi fondamentale du vivant), l'assimilation psychologique est enrichissement, dans la mesure où assimiler les idées d'autrui revient à s'enrichir soi-même, à devenir d'une certaine manière autrui.

Cette première vision de la vie biologique et de la vie de l'esprit, plus métaphysique que scientifique, que le jeune Piaget expose dans *Recherche* (1918) – sorte d'écrit autobiographique dans lequel l'auteur fait la synthèse des idées acquises et des réflexions personnelles conduites sur le terrain des faits biologiques, psychologiques et sociaux – servira en partie de soubassement aux conceptions, plus prudemment proposées dans la suite lorsque, recueillant les résultats des très nombreuses observations et expériences réalisées en psychologie du développement, il cherchera

à expliquer les traits de la psychologie de l'enfant et de l'adolescent, ou plus profondément le développement des structures de la perception et de l'intelligence chez ceux-ci. Ce sera encore d'équilibre et d'équilibration, d'assimilation et d'accommodation qu'il s'agira; mais ces notions seront enrichies de toutes les connaissances empiriques, de tout le prodigieux catalogue raisonné de données que l'auteur va acquérir en étudiant, avec cette forme d'esprit héritée de sa formation en sciences naturelles, les progrès de l'intelligence chez l'enfant et l'adolescent, mais aussi dans certains chapitres d'histoire des sciences physiques et mathématiques.

PARENTE EPISTEMOLOGIQUE ET RAPPORT DE FILIATION ENTRE LE BIOLOGIQUE ET LE PSYCHOLOGIQUE

L'approche épistémologique commune et le rapport de filiation entre biologie et psychologie sont explicitement formulés à la fois dans les premiers textes théoriques qui accompagnent les débuts de la psychologie génétique piagétienne et dans la première tentative sérieuse de prouver, dans les années vingt, comment l'évolution biologique résulterait d'un processus d'adaptation des organismes à leur milieu similaire à celui que Piaget découvre dans le développement de l'intelligence infantine. Mais c'est surtout dans ses deux ouvrages fondamentaux sur *La naissance de l'intelligence* (1936) et sur *La construction du réel chez l'enfant* (1937), puis une quinzaine d'années plus tard, dans son *Introduction à l'épistémologie génétique*, et enfin dans les deux décennies suivantes, dans *Biologie et connaissance* (1967a) et dans ses essais de biologie, ainsi que dans ses travaux sur les mécanismes de construction cognitive, que ce rapport de filiation, de même que la parenté des problèmes et des solutions entre le biologique et le psychologique, apparaissent dans toute leur ampleur et dans toute leur signification.

Sans nous arrêter sur la parenté épistémologique, dont il suffit de dire qu'elle découle du rapprochement des deux grands problèmes que sont l'adaptation des organismes à leur milieu et du sujet par rapport aux objets sur lesquels et avec lesquels il agit, rappelons comment Piaget conçoit le rapport de continuité entre le biologique et le psychologique. L'un des arguments majeurs en faveur de ce rapport est celui, précisément, du parallélisme étroit des problèmes et des solutions qui sont propres d'un côté à la biologie et de l'autre à la psychologie. La continuité entre ces deux plans découle tout entière du fait que, comme le révèle la psychologie génétique, les activités psychologiques supérieures des êtres humains (le raisonnement, l'imagination, etc.) s'inscrivent dans le prolongement des actions matérielles des enfants sur la réalité extérieure, actions qui dans leurs caractéristiques les plus générales prolongent elles-mêmes, comme le montrent les études de psychologie animale ou d'éthologie, les comportements des organismes vivants recherchant dans leur milieu les aliments permettant leur survie, et par delà, la survie de l'espèce à laquelle ils appartiennent. A remonter à la source même de ces rapports « fonctionnels » que les organismes entretiennent avec leur

milieu, on tombe tôt ou tard sur le cas de figure des organismes les plus élémentaires et de leur comportement qui leur permet également de trouver dans leur milieu les conditions matérielles de leur survie. Or en ces étapes initiales du comportement, il n'y a pas de franche séparation entre ce qui bien plus tard sera, d'un côté, l'adaptation biologique (permettant l'accomplissement des besoins biologiques des organismes) et de l'autre une adaptation cognitive, c'est-à-dire le développement d'une fonction cognitive dont le but, la connaissance vraie, pourrait très bien contrevenir à l'adaptation biologique.

Cette continuité qui s'impose à la lecture des nombreux faits biologiques et psychologiques, ou plus généralement comportementaux, décrits ou connus par Piaget justifie l'utilisation d'un vocabulaire en partie commun pour rendre compte de ce qui se passe sur le plan du vivant, sur le plan du comportement et sur le plan de la connaissance. De ce point de vue, il est clair que l'emploi de termes comme ceux d'assimilation et d'accommodation n'est jamais métaphorique chez Piaget, mais se justifie en raison même de la continuité révélée par les méthodes de l'histoire naturelle et de la psychologie génétique. D'un autre côté, il est tout aussi clair que Piaget ne confond jamais les niveaux de description et donc la signification particulière que prennent ces termes lorsqu'ils sont employés sur les différents plans d'évolution des espèces, des comportements et des connaissances. Pour prendre un exemple, l'enquête psychogénétique montre que la connaissance pratique (toujours liée à des savoir-faire) des objets spatiaux-temporels que le jeune enfant acquiert de son milieu dans les deux premières années de sa vie est le résultat de différenciations et de coordinations progressives de schèmes qui sont, d'une certaine façon, des organes d'échanges fonctionnels de l'organisme avec son milieu. Si ce travail de différenciation et de coordination des schèmes s'inscrit en prolongement du travail de différenciation et de coordination des organes qui, au sein des organismes, permettent à ceux-ci d'atteindre plus efficacement, en certaines situations, les buts qui sont les leurs, il n'en reste pas moins que les mécanismes de différenciation et de coordination qui interviennent sur ces deux plans ne sont pas identiques, mêmes s'ils peuvent à un certain niveau d'abstraction (celui par exemple des modèles cybernétiques) présenter des similitudes. Au demeurant Piaget, qui tout au long de son œuvre a accumulé les connaissances lui permettant d'éviter les pièges de l'identification réductionniste auxquels les auteurs qui l'ont influencé n'ont souvent pas pu échapper (que ce soit dans le sens de la réduction du supérieur à l'inférieur ou l'inverse), n'a pas manqué, dans sa conceptualisation de la continuité entre le biologique et le psychologique, d'introduire – au moins dès son *Introduction à l'épistémologie génétique* – l'étage supplémentaire des comportements instinctifs. Ceux-ci ont en effet l'intérêt de révéler le lien encore indissociable entre l'adaptation des organes biologiques (instruments des schèmes instinctifs) et celle des comportements eux-mêmes, alors que l'adaptation des schèmes réalisée par l'enfant

pour agir efficacement sur son milieu physique (pour déplacer les objets, les retrouver, etc.) n'implique plus une différenciation des organes en jeu, à l'exception bien sûr des modifications cérébrales qui accompagnent et permettent la genèse de l'intelligence sensori-motrice.

Il n'est bien sûr pas possible de résumer en quelques pages le nombre assez impressionnant de parallèles et de liens de filiation que Piaget a mis en évidence dans ses recherches de psychologie génétique, de biologie et d'épistémologie. Nous ne pouvons ici que renvoyer à cette somme qu'est *Biologie et connaissance*. Mais il convient de rappeler le sens profond de cette recherche de la continuité. Elle permet à l'auteur, sinon de vérifier, du moins de renforcer progressivement le pouvoir explicatif de sa thèse épistémologique la plus centrale par laquelle il répond à la grande question kantienne sur les conditions de possibilité d'une connaissance objective (et intersubjective) du monde, ou, en d'autres termes, d'un accord entre les mathématiques et la réalité physique. C'est parce que les connaissances logico-mathématiques s'inscrivent en continuité, ou sont construites par abstraction réfléchissante et généralisation constructive, à partir des formes les plus générales d'organisation de l'action, que celles-ci sont à leur tour attachées aux formes les plus générales d'organisation, et par delà aux lois ou aux mécanismes les plus généraux de fonctionnement du vivant, et enfin que ces mécanismes et les organisations vivantes sont le prolongement d'une nature physique dont ils sont issus, que, à l'autre extrémité, les sciences de la nature, et en particulier la physique, en recourant aux formes d'organisation et d'explication que leur fournissent les sciences logiques et mathématiques, parviennent à une connaissance au moins partiellement objective et intersubjective, ou encore rationnelle, du monde. Cette intuition là n'est pas complètement sans rapport avec l'ancienne distinction que Lamarck concevait entre le plan d'organisation des êtres vivants et leur adaptation au milieu. L'intérêt d'un tel rapprochement est qu'il nous permet non seulement de rappeler le lien de toute l'œuvre de Piaget avec la biologie de l'évolution, mais aussi, et peut-être surtout, de mesurer l'extraordinaire apport de cette œuvre dans notre connaissance des rapports du psychologique, et plus particulièrement du cognitif, avec le biologique, ou en bref de la vie et de l'esprit. Mais cet apport extraordinaire, qui tient dans la description systématique très riche des différentes étapes ou des différents niveaux qui s'étendent d'un des deux pôles à l'autre, s'il montre à l'évidence les rapports de filiation entre biologie et connaissance, les similitudes de formes et de mécanismes, ne résout pas l'énigme du rapport entre cerveau et esprit, ou plus précisément entre cerveau et conscience. Dans toute cette description des rapports de filiation, Piaget a en effet soigneusement mis de côté, avec un art consommé de l'esquive, cette question la plus délicate. Il a pu le faire dans la mesure où il a très tôt adopté la thèse du parallélisme psychophysique, avec la liberté qu'elle offre au neurophysiologiste et

au psychologue de conduire leurs recherches sans trop se soucier de cette question.

LE PARALLELISME PSYCHO-PHYSIOLOGIQUE

Si Piaget a adopté cette position heuristiquement utile au psychologue, c'est d'abord en raison de la distinction très claire que sa double formation en biologie et en épistémologie lui a permis de saisir entre, d'un côté, ce qui relève des rapports de causalité que la conscience attribue aux réalités qu'elle observe, et de l'autre, ce qui relève des rapports d'implication établis par la conscience entre idées ou significations. La base de cette distinction est donc foncièrement épistémologique. Comme psychologue, et comme épistémologiste de la psychologie, Piaget constate que l'observation qu'il peut faire des conduites des individus comporte à la fois des aspects qui relèvent des rapports de causalité (les comportements sont le fait d'organismes physico-chimiques) et des aspects qui relèvent des implications entre idées ou significations (l'action d'atteindre un objet peut impliquer pour le sujet l'action de se déplacer de telle ou telle manière). Pour lui, il n'est pas pensable que les idées ou les significations puissent intervenir comme cause dans le déroulement des processus physico-chimiques (y compris les processus qui se déroulent à l'intérieur du cerveau). Pour cela, il faudrait qu'elles aient elles-mêmes des propriétés physiques (masse, étendue spatiale, etc.), puisque seuls peuvent agir sur la réalité physico-chimique des objets dotés de telles propriétés. Inversement, les rapports d'implication ne peuvent être expliqués par des lois physiques. L'étude du cerveau, l'explicitation des rapports de causalité qui lient les uns aux autres les phénomènes qui s'y produisent, ne peut pas permettre de rendre compte de la raison pour laquelle, pour une conscience parvenue à un certain niveau de développement, prendre un objet dans une collection pour le mettre dans une deuxième collection implique que la différence numérique entre les deux collections croît de deux et non pas de un. Mais bien sûr, Piaget ne nie pas que, lorsque le sujet relie implicativement une telle opération et sa conséquence arithmétique, son cerveau agit de son côté (et aussi son corps, lorsque l'opération est matériellement réalisée). On a ainsi d'un côté le cerveau et les phénomènes qui s'y passent, et de l'autre la conscience et les significations et idées qui s'enchaînent implicativement les unes aux autres de manière plus ou moins logique (pour le sujet, telle idée peut impliquer, faussement, telle autre idée), sans que ce qui se passe sur un côté puisse être réduit à ce qui se passe de l'autre côté. C'est ce constat qui explique que, de toutes les thèses en présence, Piaget ne puisse retenir que celle du parallélisme. Les conceptions matérialistes et spiritualistes doivent être rejetées, dans la mesure où elles impliquent la négation aveugle des propriétés contradictoires à leur postulat de base. Et l'interactionnisme doit l'être également dans la mesure où il introduit une confusion entre les deux catégories de l'explication physique (ou de la causalité) et de l'implication.

Reste à se pencher sur la nature des rapports qu'il peut y avoir entre, d'un côté, la série des phénomènes physico-chimiques, et de l'autre, celle des implications. Piaget continue à utiliser la notion de parallélisme, mais celle-ci ne doit pas être prise trop strictement. Deux constats viennent limiter son usage. Le premier concerne le rapport entre les idéalités d'un côté, et le monde physico-chimique de l'autre. L'examen montre un double dépassement. L'univers des possibles (en particulier) mathématiques dépasse infiniment celui de la réalité existante. Mais inversement, la réalité physico-chimique englobe le sujet qui la pense et la met en rapport d'implication avec cet univers des possibles. Le deuxième constat découle directement des recherches psychogénétiques. Alors que dans les premiers stades de la construction des comportements, les rapports d'implication produits par le sujet sont peu nombreux, et que, inversement, l'organisme est fortement dépendant des rapports de causalité avec son milieu, plus la conscience progresse, plus au contraire les rapports d'implication se multiplient et prennent leur autonomie par rapport aux mouvements de l'organisme (les premières implications significatives sont toujours liées aux actions matérielles des organismes et à leurs effets sur le milieu). Le parallélisme est ainsi incomplet aussi bien dans un sens que dans l'autre (puisque'il y a un dépassement mutuel des deux séries). Mais les progrès de la psychologie génétique et de la neurophysiologie, complétés par l'apparition de la cybernétique puis de cette science étonnante qu'est l'intelligence artificielle (dont Piaget prend connaissance grâce à ses collaborateurs, et notamment grâce à S. Papert) l'incitent à formuler une hypothèse audacieuse. Les rapports que l'on peut établir entre les deux séries en jeu sont des rapports d'isomorphismes. Ce que l'auteur envisage, et même appelle de ses vœux, c'est un progrès de la neurophysiologie qui l'amènera à développer des modèles mathématiques du fonctionnement nerveux identiques à ceux que lui-même, comme psychologue généticien, a été amené à construire pour rendre compte des différentes étapes de structuration des activités comportementales et des rapports d'implication qui les accompagnent pour le sujet qui les considère. Alors se réaliseraient l'isomorphisme et la complémentarité la plus complète entre le cerveau du neurophysiologue, agissant selon des principes ou des formes opératives que lui attribue celui-ci, et ce même neurophysiologue concevant ce modèle attribué à son cerveau. De plus, si l'identité des modèles du psychologue et du neurophysiologue se vérifie un jour, alors sera du même coup renforcé, au moins localement, le postulat moniste posant l'existence d'une seule et unique réalité comportant deux aspects, mental et physique, dont les manifestations corrélées révéleraient une complète identité de structure, du moins à un certain niveau d'abstraction physico-chimique et psychologique.

Notons pourtant un problème posé par l'adoption, par Piaget, d'un principe qui est à la fois utile au psychologue (il lui permet de ne pas trop se soucier de la question des rapports entre le conscient et

l'organique) et qui reflète les résultats de ses nombreuses enquêtes psychologiques et épistémologiques. Piaget admet que les systèmes physico-chimiques peuvent présenter des enchaînements causaux dont la forme est, dans le cas de la pensée la plus élaborée, à savoir la pensée rationnelle, formellement isomorphe aux systèmes implicatifs conscients. C'est ce qui lui permet de reconnaître l'importance des machines logiques modernes dont le mécanisme peut présenter un isomorphisme complet avec le programme tel que le conçoit (ou peut le concevoir) l'ingénieur en intelligence artificielle. De même, il s'attend à ce que la neurophysiologie du futur parvienne à une explication du fonctionnement nerveux qui attribue à celui-ci une causalité opératoire strictement isomorphe aux systèmes d'implications d'idées produites par la conscience. Mais alors ne retombe-t-on pas ainsi sur une forme, certes renouvelée, d'épiphénoménisme ? Si le système nerveux réalise de son côté des opérations causales qui lui permettent, comme les machines logiques simulant les résolutions de problème et dont Piaget semble supposer qu'elles ne seront jamais conscientes, de résoudre les problèmes soulevés lors des échanges entre les organismes et leur milieu, non seulement on ne voit pas pourquoi la conscience est apparue, mais on ne voit pas ce qu'elle apporte à l'évolution des espèces et de l'intelligence. Le fait que, comme le reconnaît Piaget, la conscience a la capacité de dépasser l'univers des enchaînements réels pour penser simultanément une opération directe et son inverse, ou pour concevoir un ensemble de possibles, et qu'elle peut ce faisant accéder à la nécessité logico-mathématique, ou comprendre une loi mathématique ou expliquer opératoirement un phénomène physique, est certes prodigieux. Mais, s'il est vrai que, ce faisant, le cerveau ou l'ordinateur réalisent une activité isomorphe sur le plan purement matériel, ce fait prodigieux n'en reste-t-il pas moins superflu ? L'hypothèse moniste suggérée par Piaget implique, il est vrai, que la conscience ne pouvait pas ne pas apparaître en tant que l'une des deux faces de cette réalité (le système nerveux ou la partie la plus évoluée de ce système) qui obéit à la fois à la causalité physique et à l'implication logique (ou prélogique). Mais pourquoi ou comment un tel système biface est-il, selon cette hypothèse, apparu ? Cette question nous fait peut-être buter sur ce caractère « irréductible » de la conscience, dont l'origine, contrairement à celle de la vie, ne peut être causalement expliquée et dont la capacité croissante de mise en rapport des idées n'explique en rien, ni n'est expliquée, par l'évolution du cerveau. Comme les lignes précédentes le suggèrent, si en définitive on comprend bien l'intérêt pratique du postulat du parallélisme du double point de vue des recherches en psychologie et en neurophysiologie, la thèse formulée par Piaget sur les rapports réels entre le cerveau et la conscience ne paraît pas avoir plus de raison scientifique de s'imposer qu'une thèse interactionniste qui, elle, pourrait avoir l'avantage de fournir des réponses à la question de l'évolution de la conscience, à supposer qu'une fonction puisse être attribuée à celle-ci, en tant que conscience, dans l'évolution des formes organiques. Mais à supposer qu'une telle voie soit à son tour

explorée, elle ne pourrait pas ne pas tenir compte de l'argument de départ qui, chez Piaget, l'a empêché d'adopter une thèse non paralléliste : l'irréductibilité des rapports d'implication et de causalité. Il faudrait comprendre comment les rapports d'implication pourraient avoir une efficacité sur l'organisation matérielle sans agir causalement sur cette organisation. En tous les cas, face à la difficulté d'un choix d'une solution paralléliste ou interactionniste par rapport à la question des rapports « réels » entre la conscience et le cerveau, on peut considérer que le principe simplement heuristique du parallélisme soit aujourd'hui encore la solution la plus utile aux sciences concernées, encore qu'un débat de fond pourrait suggérer de nouvelles et également fécondes directions de recherche.

1.3 Le nouveau parallélisme

Guy Cellérier

INTRODUCTION

Le problème des interactions causales entre l'esprit et le cerveau, dont le parallélisme ajournait à juste titre l'examen, est un artefact engendré par la conception spiritualiste de l'âme et du corps comme deux entités extensionnelles indépendantes, l'une physique, l'autre de nature indéterminée mais non physique. Cet artefact conceptuel se dissout aujourd'hui dans un tertium épistémologique, selon lequel c'est une seule et même « entité extensionnelle » qui donne lieu à deux conceptualisations (l'une en tant que machine formelle, l'autre en tant que sa mécanisation matérielle) par ailleurs théoriquement co-définissantes. Le monisme extensionnel de ce tertium ne réduit pas l'esprit au cerveau car son dualisme épistémologique leur attribue des propriétés différentes et irréductibles. En outre, du fait qu'il ne crée pas deux objets extensionnels différents, la question de leurs interactions causales ne peut même pas y être formulée, pas plus que la question d'interactions causales entre les descriptions en compréhension des objets, et non entre les objets extensionnels eux-mêmes.

Le parallélisme ne s'est cependant que déplacé vers les niveaux signalétiques plus élevés, pour se rétablir aujourd'hui entre la suite des réécritures de symboles matérielles du fonctionnement neurophysiologique du cerveau et la suite concomitante des transformations des signifiés conscients de l'esprit.

MÉCANISATION FORMELLE ET MÉCANISATION MATÉRIELLE

Les quintuples suivants définissent une machine formelle dans la notation de Turing.

{état initial = q_d , ($i q_d o \bullet q_d$), ($i_1 q_d o \bullet q_g$), ($i q_g o \bullet q_g$), ($i_1 q_g o_1 \bullet q_d$)}

Nonobstant leur origine dans la théorie de la calculabilité, ces quintuples formels permettent d'exprimer la « structure processuelle » du fonctionnement de n'importe quelle machine, aussi bien celle de machines à fonction de transformation d'information, ordinateurs, réseaux neuroniques, etc. que de celles à transformation d'énergie, machines à vapeur, treuils, etc.

L'exemple suivant, qui illustre cette généralité, servira à introduire les notions de commande matérielle et formelle, et à montrer comment elles permettent d'engendrer ces deux types. Un mécanisme stylisé est constitué d'une roue excentrique entraînée par un axe que l'enfoncement d'un poussoir fait tourner d'un demi-tour. Il est monté dans une boîte de manière à ce que le poussoir se trouve sur sa paroi droite, et que la roue dans sa position excentrée gauche

viennne dépasser sa paroi gauche (appelons q_g cette position). La roue est placée de telle façon qu'elle pourra venir enfoncer le poussoir d'une seconde machine identique à la première située à sa gauche. Si dans sa position q_g l'on enfonce le poussoir (appelons i_1 cette action) la roue rentre dans sa boîte (appelons q_d cette nouvelle position). Si l'on enfonce à nouveau le poussoir, la roue ressort de sa boîte (appelons o_1 ce mouvement), et en ressortant enfonce le poussoir de la boîte voisine. Cette machine constitue une des mécanisations matérielles possibles de la machine formelle définie par les quintuples. Le fonctionnement qui vient d'être décrit correspond à l'exécution des commandes du quintuple $(i_1, q_g, o_1 \bullet q_d)$. Cette mécanisation est effectuée par la réalisation matérielle de deux types de commandes.

Commandes inter- et intra-machines

Les commandes inter-machines

Lorsque nous enfonçons le poussoir (l'action i_1 ci-dessus), l'impulsion mécanique que notre main lui transmet réalise l'émission d'un signal (au sens indifférencié de la théorie de l'information) matériel de commande mécanique. Ce type de commande est celui qu'utilise le conducteur, le pilote, le machiniste, l'opérateur etc. d'une machine pour sélectionner l'un de ses schèmes d'activité mécanique spécialisés (accélérer, freiner, tourner, inverser la marche, etc.) et le mettre en fonctionnement.

Lorsque c'est l'excentrique de la première machine qui sort de sa paroi (l'action o_1) pour enfoncer (i_1) le poussoir de sa voisine, la commande manuelle i_1 a été mécanisée, elle constitue une commande inter-machines, et la notion de commande a été étendue des activités du sujet humain aux activités de la machine elle-même.

Les commandes intra-machine

La commande externe, inter-machines i_1 met en fonctionnement un schème d'activité intra-machine qui est celui des transitions mécaniques entre les deux états internes q_g et q_d . Ce schème offre un exemple de la commande intra-machine dont la commande et le schème d'activité sont réalisés dans la forme et l'organisation interne même des composantes matérielles. C'est ici la conformation du poussoir et de son encliquetage qui réalise la commande inter-machine, et la combinaison de la forme circulaire de la roue et de sa position par rapport à son arbre de transmission qui réalise la commande intra-machine que spécifie le schème de la transition d'une position excentrée à une autre. Il faut relever à ce sujet que même une pièce mécanique aussi simple qu'un levier ou une roue effectue des transformations de mouvement selon des courbes mécaniques (une cycloïde par exemple) commandées par sa structure.

Commandes formelles et commandes matérielles

Appelons commandes formelles les commandes définies dans les quintuples de la machine formelle, et commandes matérielles leurs réalisations par la machine matérielle.

Cette distinction permet de décrire la même extension de deux manières différentes. La première description est formelle et porte sur i) la définition des activités de transformations de commandes que réalisent les commandes intra-machine des états ($i_1 q_g \rightarrow o_1$ et $i_1 q_d \rightarrow o$, par exemple ainsi que les transitions entre q_g et q_d) et ii) la coordination (par les commandes inter-machines $i_1 q_d \rightarrow q_g$ ou $i q_d \rightarrow q_d$ par exemple) des activités individuelles des états de manière à obtenir le fonctionnement désiré de la machine en tant que tout. La seconde description est matérielle et porte sur le fonctionnement causal des composantes et de leurs interactions (ici les transmissions physiques de mouvement) qui réalisent les commandes formelles¹. Le même événement extensionnel peut ainsi être décrit comme une transformation formelle due à l'exécution d'une commande formelle, et comme une transformation matérielle due à un phénomène causal.

La lecture et l'écriture nous offrent un exemple plus familier de ces doubles descriptions de la même extension, dont elles constituent par ailleurs les précurseurs pré-mécaniques. L'écriture engendre par exemple des « traces de graphite sur des supports celluloseux » qui sont décrites par elle comme la réalisation matérielle de symboles, tandis que la lecture interprète et décrit ces mêmes traces comme des instances particulières de symboles formels. La géométrie fait la même distinction entre le tracé matériel du triangle par exemple, et la figure formelle abstraite (constituée de droites sans épaisseur etc.) qu'il réalise. Pour schématiser ces deux situations : on présente une collection de trois objets à deux sujets placés face à face. L'un la décrit comme un triangle isocèle, l'autre comme un objet situé devant deux autres, et entre eux. On déplace l'un des objets, pour un sujet le triangle est devenu équilatéral, pour l'autre un des objets s'est rapproché de lui. Est-ce le changement de forme du triangle qui a causé le rapprochement de cet objet, ou l'inverse ? Cette question est mal formée, car un changement dans la perception d'un sujet ne saurait causer un changement dans la perception d'un autre sujet, sinon par voie extra-sensorielle. Cette question est pourtant celle des interactions causales entre l'esprit et le corps. Or ce n'est pas une action causale d'une description sur l'autre mais la même transformation extensionnelle qui a produit « de manière

¹ Il est à noter que les phénomènes et propriétés physiques qui ne contribuent pas à cette réalisation ne font pas partie de cette description matérielle. Le mécanisme matériel d'une machine est un sous-ensemble strict (déterminé par le mécanisme formel) de sa physico-chimie. Cela a pour conséquence sur le parallélisme que le fonctionnement causal de la neurophysiologie a déjà un caractère implicatif de nature fonctionnelle: les transformations matérielles sont des transformations causales choisies et agencées par le réalisateur comme moyens pratiques de la réalisation du fonctionnement de la machine formelle.

concomitante » les modifications dans les deux descriptions. C'est aussi la réponse à la question des interactions entre la phénoménologie de la conscience et les phénomènes neurophysiologiques que nous allons retrouver au niveau des commandes formelles et matérielles.

Le parallélisme matério-formel

Dans l'état q_g , la machine reçoit la commande i_1 , elle exécute la commande de transition d'états $q_g \rightarrow q_d$, et exécute la commande o_1 .

• Est-ce l'exécution de ces commandes formelles qui cause le fonctionnement physique de la machine, ou est-ce à l'inverse ce fonctionnement physique qui cause l'exécution des commandes ? Et plus précisément : comment un phénomène physique extérieur, l'enfoncement du poussoir, peut-il produire un phénomène formel (non physique) interne, la transition $q_g \rightarrow q_d$, et comment ce phénomène formel peut-il produire un phénomène physique externe, la sortie de l'excentrique et son action sur le poussoir de la machine voisine ? En reformulant ces deux questions dans les termes du parallélisme psychophysique on obtient ses questions insolubles : est-ce le fonctionnement de la pensée qui cause le fonctionnement neurophysiologique du cerveau, ou l'inverse ? Et plus précisément : comment un phénomène physique extérieur peut-il produire un phénomène non physique interne, sa perception consciente, et comment un phénomène non physique interne, une intention et une décision conscientes, peut-il produire un phénomène physique externe, un comportement ? La distinction entre l'exécution de commandes matérielles et celle de commandes formelles permet d'apercevoir que le problème de la perception est engendré par le passage indu en cours de route du cadre descriptif de la machine matérielle à celui de la machine formelle. Le mouvement matériel du poussoir est la réalisation mécanique de la commande formelle i_1 qui met en fonctionnement la transition formelle $q_g \rightarrow q_d$; l'interaction entre le phénomène physique et le phénomène non physique est un artefact dû au changement de cadre descriptif. Il en va de même pour la production de l'action. Il existe deux « causalités » (au sens de « mode de production du phénomène ») différentes, chacune est spécifique et intra-série : c'est l'exécution de la commande formelle précédente qui cause formellement celle de la suivante (parce que chaque quintuple définit la transition vers l'état suivant), il en va de même dans la série des causes matérielles en raison de l'agencement des transmissions des impulsions mécaniques, et les deux séries descriptives sont concomitantes parce qu'elles ont pour objet la même série extensionnelle. Les questions du parallélisme se dissolvent à ce niveau pour se reformer à un niveau plus élevé.

DES COMMANDES MECANIKES AUX SYMBOLES

Toute machine est ainsi une « machine à flux de commandes » formelles ou matérielles, le mécanisme d'horlogerie de notre exemple constitue en outre une machine à transformation d'énergie et de mouvement tout à fait ordinaire qui n'a rien de symbolique ou

de digital etc. Ce n'est en effet du point de vue mécanique qu'une simple transmission, dont le fonctionnement transmet un mouvement de translation au moyen d'une transformation en rotation. Les systèmes nerveux n'échappent pas à cette nature mécanique. Dans la mesure où les signaux nerveux sélectionnent et mettent en fonctionnement les schèmes d'activité spécifiques des neurones qui les reçoivent, ils constituent des commandes au sens défini plus haut, et le fonctionnement neurophysiologique n'est rien de plus que celui d'une machine à flux de commandes, ou il n'est rien du tout – faut-il ajouter tout au moins dans les cadres théoriques non métaphysiques.

Comment alors de telles machines peuvent-elles réaliser des machines à flux de « calculs symboliques » tels que ceux d'un ordinateur ou d'un système nerveux ? Nous en connaissons aujourd'hui un mode de réalisation informatique qui met en jeu un principe de formation signalétique généralisable à d'autres systèmes. En effet notre machine à flux de commandes :

{état initial = $q_d, (i_1 q_d o \bullet q_d), (i_1 q_d o \bullet q_g), (i_1 q_g o \bullet q_g), (i_1 q_g o_1 \bullet q_d)$ }

réalise de manière invisible au moyen de commandes, les commandements des règles de réécriture d'un système formel. De telles règles, telles que celles de l'addition binaire par exemple

{ $(0 + 0 \rightarrow 0) (0 + 1 \rightarrow 1) (1 + 0 \rightarrow 1) (1 + 1 \rightarrow 10)$ }

sont en effet des commandements adressés au lecteur humain qui lui enjoignent de les suivre sous peine d'engendrer des expressions non valides. La réinterprétation suivante :

{état initial = $o, (0_0 o \bullet o) (1_0 o \bullet 1) (0_1 o \bullet 1) (1_1 1 \bullet o)$ }

fait apparaître cette structure invisible. On aperçoit par exemple que lorsque dans son état q_g la machine reçoit une commande i_1 elle se comporte comme si elle exécutait le schème de réécriture d'un « addeur binaire » et plus précisément d'un compteur binaire qui contiendrait un total de 1 binaire (ce qui nous permet de remplacer « q_g » par « 1 » dans le quintuple correspondant), et recevrait pour input un 1 binaire (qui remplace ainsi i_1). Il compte ce 1 en l'ajoutant à son total, cela en passant à l'état correspondant au total 0 (qui remplace q_d), et émet un output 1 correspondant au 1 de la retenue (qui remplace o_1). De même le schème de l'état q_d est agencé pour réaliser le comportement $o \xrightarrow{1/0} o$ réalisant le $0 + 1 = 1$ binaire.

Cette mécanisation des règles de réécriture formelles de l'addition binaire dans les commandes internes de la machine a pour effet et pour but de réaliser, au moyen de ses commandes élémentaires, des commandes composées nouvelles qui ont pour effet de surimposer aux commandes i, i_1 ou o_1 originelles les propriétés formelles nouvelles des symboles 0 et 1.

Ces symboles et leurs règles de réécriture demeurent des commandes, mais constituent des formes et formats d'organisation supérieurs de la commande.

Le choix de l'addition binaire pour cette mécanisation dans la structure même du matériel de l'ordinateur a une raison formelle et deux raisons historiques et pratiques. La première est qu'un alphabet à deux symboles est minimal, formellement et mécaniquement. La seconde est liée à la première et à l'origine de l'ordinateur comme machine à calcul numérique. La troisième résulte d'une propriété structurale de tout compteur qui peut être exploitée pour lui faire réaliser la fonction d'unité de mémoire, c'est-à-dire comme contenant formel dans lequel il écrit, conserve puis lit des symboles formels. En effet le symbole 1 de la retenue qu'émet un compteur lorsqu'il reçoit une suite de symboles 1 révèle son contenu initial. Si un compteur décimal émet un 1 après trois entrées, cela révèle qu'il contenait une somme de 7, c'est le 1 de « $7 + 3 = 10$, je pose 0 et je retiens 1 ». La transmission du symbole 1 au compteur binaire permet ainsi de « lire » son état, ce comportement est ainsi utilisé pour réaliser le schème de la lecture de la mémoire. La transmission du symbole 1 à un compteur dans l'état initial 0 commande sa transition à l'état 1 , et permet la réalisation du schème complémentaire de la lecture. Ces deux schèmes permettent ainsi en assignant un symbole non binaire à un groupe de compteurs binaires d'engendrer des formats de symboles supérieurs, tels que ceux des symboles alphanumériques, sur lesquels à leur tour de nouvelles règles de réécriture formelles, telles que celles des langages de programmation, peuvent être définies pour engendrer la hiérarchie potentielle des machines virtuelles.

C'est cette voie formaliste qu'a suivie l'informatique et qu'a prolongée le cognitivisme.

Des symboles des systèmes formels aux signifiants des systèmes cognitifs

La simulation des signifiés par les calculs symboliques

On a pu observer déjà sur cet exemple banal mais fondamental l'effet du principe général de l'engendrement de formats de commande supérieurs par la mécanisation de formalismes. Ces formes supérieures sont dotées des propriétés « émergentes » nouvelles des symboles atomiques du formalisme lui-même.

La transformation d'une expression bien formée telle que « $999 + 1 \supseteq$ » (nous employons volontairement des caractères quelconques) en l'expression valide (selon une règle de réécriture formelle) suivante « 1000 » donne l'image de ce que produit dès lors l'exécution des commandes de l'ordinateur sur ces formats supérieurs. Cet exemple illustre en outre la propriété des formalismes qui est fondamentale aussi bien pour les axiomaticiens que pour les informaticiens : les réécritures valides des formalisations produisent des expressions qui, interprétées par le lecteur humain comme des signifiants usuels, sont comprises par lui comme des énoncés sémantiquement corrects dans le système de ses signifiés correspondants. L'affichage à l'écran de la réécriture « $999 + 1 \supseteq$ » →

« 1000 » en caractères usuels (« 999 + 1 » → « 1000 ») illustre cette propriété magique du système cognitif humain qui incarne à la fois l'échec fondamental du cognitivisme.

En effet c'est la voie de la mécanisation formelle ouverte par l'informatique qu'a suivie la psychologie cognitive pour la simulation des processus cognitifs. Ses succès tiennent ainsi tout entiers dans l'analyse et la réduction de la structure processuelle des processus cognitifs humains (résolution de problèmes, raisonnement, démonstration géométrique, perception, compréhension du langage, etc.) à des règles de réécriture formelles dont l'effet est (à l'image exacte de l'exemple « 999 + 1 → 1000 ») de produire, du côté du lecteur humain de leur affichage, « un résultat sémantiquement correct du point de vue des signifiés chez le lecteur humain ».

La face cachée du puzzle

Mais les succès des simulations sont eux-mêmes des simulations car ils reposent sur la propriété magique de l'interprétation signifiante de l'observateur humain, qui transforme les symboles affichés en signifiants. Cette situation est illustrée par l'allégorie du puzzle sémantique. Si par exemple l'on observe sur l'écran l'assemblage progressif de l'image signifiante portée par le recto des pièces d'un puzzle, de l'autre côté de l'écran, ce sur quoi opère la simulation ce sont sur leur verso les seules contraintes d'emboîtement qu'imposent les formes des pièces. Lorsque ces contraintes de forme permettent plusieurs assemblages du puzzle dont un seul engendre une image bien formée, l'art du simulateur consiste à les « désambiguer » en abstrayant l'une ou l'autre des contraintes sémantiques imposées par l'image et en la transformant en une contrainte formelle supplémentaire.

Les méthodes de conditionnement opérant automatique des « réseaux de neurones formels » du connexionisme détectent et incorporent indifféremment ces contraintes formelles et sémantiques, qui ne nécessitent ainsi plus leur abstraction par un programmeur humain. Ce sont inévitablement des méthodes de détection de contraintes de ce type qui ont permis aux systèmes génétiques des espèces (qui ne disposaient pas encore de programmeurs) d'engendrer et de « pré informer » en les préconnectant, les systèmes nerveux animaux. Les simulations informatiques nous éclairent en retour sur l'extraordinaire variété et complexité des performances que peuvent engendrer des systèmes symboliques purement instinctifs non-conscients. Sans doute si l'évolution n'avait jamais rencontré l'avantage sélectif de la post-connexion par apprentissage par rapport à la pré-connexion par les gènes, nos simulations insectoïdes présentes seraient-elles des modèles adéquats de notre système cognitif, mais en tant qu'automates inconscients n'aurions-nous alors pas la capacité de les construire.

C'est ainsi la méthode même de reconstruction théorique des processus cognitifs qu'a suivie la psychologie cognitive qui ré engendre aujourd'hui dans son propre cadre théorique un nouveau

parallélisme, non plus entre les séries causales et implicatives du parallélisme original, mais situé tout entier entre séries formelles, celle des « calculs symboliques » et celle des « calculs signifiants » conscients.

Ce nouveau parallélisme résulte en effet de ce que les simulations n'ont pas reconstruit et incorporé les signifiés des symboles affichés, ces signifiés sont demeurés « dans la tête » du lecteur humain au lieu d'être synthétisés par le fonctionnement de la mécanique formelle du programme de simulation ou d'intelligence artificielle. Les transformations de symboles qu'opèrent les calculs symboliques ne deviennent ainsi des transformations de signifiants que de notre côté de l'affichage, celui où la conscience a été laissée. Le nouveau problème n'est pas celui de former les signifiants formels des signifiés conscients humains à partir de symboles formels, car les symboles sont déjà utilisés pour signifier des réécritures (l'opération d'addition a un « nom de code » binaire par exemple, ce nom a ainsi une « signification procédurale ») et il suffit de noter ou nommer un signifié par un symbole pour en faire un signifiant formel. Il s'agit de reconstituer ce qui se passe centralement chez le lecteur humain en amont des symboles présentés sur la feuille ou l'écran entre les formats symboliques de leurs « représentations rétiniennes et post-rétiniennes » et le système de calculs symboliques non-conscients des réseaux neuroniques qui en les interprétant comme des signifiants formels engendre la phénoménologie subjective des signifiés conscients. Ce ne peut être alors qu'une architecture fonctionnelle particulière de ces systèmes de réécritures formels non-conscients qui forme l'infra-structure processuelle de « l'activité inconsciente de l'esprit » qui synthétise cette phénoménologie. Cette architecture est en outre de nature nécessairement instinctive car ses contraintes organisatrices sont elles-mêmes engendrées progressivement au cours de sa phylogenèse par les réécritures génétiques. Cette conception du libre arbitre comme génétiquement prédisposé a tout au moins la vertu de rendre la conscience efficiente, car du fait qu'elle est réalisée par un système de réécritures symboliques, ce système engendrera sans difficulté les expressions symboliques bien formées des commandes motrices !

1.4 Piaget, phenocopy and the innate-acquired dichotomy

John Stewart

INTRODUCTION

The conventional neo-Darwinian theory of evolution, which is still dominant today, is based on a triple synthesis between the Darwinian theory of natural selection, Mendelian genetics, and the Weismannian separation between *germen* and *soma* which prohibits the inheritance of acquired characteristics. As Pichot (1999) has perceptively pointed out, this theory basically reduces evolution to a series of changes in DNA structure, and indeed « collapses » the whole of evolutionary history into the « information » contained in contemporary DNA sequences. As a constructivist, Piaget was highly sensitive to the developmental dimension of living organisms, and to history in the fullest sense of the term, and it is therefore perfectly logical and coherent that he should have been reticent with respect to the neo-Darwinian view. Now as Ducret explains most clearly in his target article, in French-speaking scientific culture the major alternative to the neo-Darwinian view has been the Lamarckian theory of evolution, which implies an acceptance of the inheritance of acquired characteristics. It is therefore quite understandable that Piaget should have been attracted to Lamarckism, and that he should attempt to elaborate a more or less sophisticated version of the inheritance of acquired characteristics. However, this cultural bias had an unfortunate effect in that it led Piaget to persistently misunderstand the concept, originally put forward by Waddington, of the « phenocopy ». This was doubly unfortunate because Waddington's concept of phenocopy, particularly as deployed to generate the phenomenon that he called « genetic assimilation », actually provides an alternative to the conventional neo-Darwinian view, an alternative that is scientifically far more tenable than the rather vague neo-Lamarckism espoused by Piaget. The aim of this article is to examine some of the scientific issues involved.

PHENOCOPY AND GENETIC ASSIMILATION

As defined by Waddington, a « phenocopy » refers to the fact that an aberrant phenotype (for example, « bi-thorax » in *Drosophila*) that is known as being produced by a specific genetic mutation, can also be « mimicked » by an appropriate environmental perturbation. In the 1940's, the British geneticist Goldschmidt actually succeeded in producing environmentally-induced phenocopies of virtually all the genetic mutations then known in *Drosophila* laboratories. It is important to emphasize that this phenomenon, in itself, in no way

controverts neo-Darwinian orthodoxy; the phenocopy is an environmentally-induced acquired character, and as such is not transmitted genetically to offspring.

The next step is Waddington's «genetic assimilation» experiment. The particular phenocopy that he used was «veinless», an abnormality in the wing structure of *Drosophila* that was produced by a heat shock administered at a rather precise period of embryonic development, but the result is quite general. The experiment proceeded as follows. In a normal population, the heat-shock only produced the «veinless» phenocopy in a small proportion, less than 10%, of the flies. Waddington selected these flies as the parents for the next generation; over 20 generations of selection, the proportion of flies exhibiting the phenocopy rose to over 90%. At this stage, the flies were raised without the heat-shock; and Waddington observed that a small proportion of the flies now exhibited the «veinless» phenotype even without the environmental perturbation. He then selected these flies for 20 more generations; and arrived at a final situation where nearly all the flies in the population were «veinless».

The overall result is thus that a character, «veinless», which was originally «acquired» has been transformed into a «hereditary» character in the full sense of the term. At a global level, the evolutionary process over 40 generations is apparently Lamarckian; but the actual mechanism involved is rather subtle. The cleverness of Waddington's experiment resides in the fact that this result has been achieved without ever frontally opposing the Weismannian dogma¹ prohibiting the «inheritance of acquired characters». In particular, at no point does he invoke a direct, specific effect of the environment on the genes. Conceptually, the key is to focus on the developmental system as a *process*; what Waddington showed is that it is possible to shape this system by actually quite conventional genetic selection. The take-home message is that at a global level, the evolutionary process may very well be Lamarckian. Waddington concluded the presentation of his genetic assimilation experiments by remarking that «Darwin may have been more nearly right than many have thought him, when he considered that there was something - he was never quite sure what - in Lamarck's views» (Waddington, 1957).

Piaget, although he was well acquainted with Waddington's work, persistently used the term «phenocopy» in his own idiosyncratic way to imply that an environmental perturbation can, over a certain number of generations, exert a specific causal influence on the genome itself. This is precisely what Waddington would have denied, and amounts to a direct *contre-sens*. How can we account for what appears, on the face of it, to be a wilfully obstinate

¹ In modern terms, this takes the form of Crick's «Central dogma» of molecular biology, according to which information flows from DNA to mRNA to proteins, but never in the reverse direction.

misunderstanding on the part of Piaget? I wish to put forward the hypothesis that the answer lies in Piaget's failure, ultimately, to be sufficiently radical in following through his own most basic intuitions.

THE INNATE VS ACQUIRED DICHOTOMY

The focal point of this discussion is a deep-seated dichotomy which permeates virtually the whole of Western science and philosophy; generically, I propose to call this the « innate vs acquired » dichotomy. In philosophy, and more precisely in the theory of knowledge, this takes the form of the opposition between idealism² and empiricism. In modern biology, as Ducret points out, the dichotomy takes root in Weismann's opposition between the *germen* and the *soma*; it gives rise to the never-ending debates as to whether « genetic » or « environmental » causes are the more important « determinants » of biological phenomena. I take it as Piaget's most important insight, with which I profoundly agree, that there is something fundamentally wrong with the very structure of this dichotomy; as Ducret says, he was looking for a « tertium », a third way which would radically circumvent the very principle of the opposition. In his work on human intelligence, Piaget was largely successful in this endeavour : by giving a rigorously constructive account of the developmental process via which, stage by stage, children regularly and reliably come to possess the « universal » concepts of logic and mathematics, he managed to avoid almost any reference to genetic or environmental « factors »; so that the question of their « opposition » simply never arose (which in my view is as it should be). In his work in biology, however, he made what I would diagnose as the fatal mistake of accepting the terms « genetic » and « environmental », epistemologically constituted as being in opposition; and then trying to overcome the opposition by postulating « Lamarckian » effects of the environment on the genome.

This characterization may seem to be unfair, since Piaget certainly made a sustained and valiant attempt to employ the term « genetic » in a sense quite distinct from that of « Mendelian genetics ». Piaget's usage, as in the phrase « genetic epistemology », is etymologically more correct in that it derives from « genesis », i.e. it refers to the (ontogenetic or phylogenetic) *process* by which a phenomenon develops over time. The two senses of the term « genetic » are indeed radically different. In order to emphasize this crucial point, it is useful to note that, contrary to what is generally taken for granted by scientists and laymen alike, « Mendelian

² I am simplifying here; idealism has taken various forms, including Platonism, Cartesianism, and Kantian a prioriism, which are not trivially identical. More recently, in cognitive science, the opposition appears in the guise of the computational theory of mind (Fodor and Chomsky are avowedly « Cartesian ») vs behaviourism or associantist neo-connexionsim.

genetics » is *not* a science of heredity. The reason for this is worth spelling out in detail.

Epistemologically, Mendelian genetics is essentially a differential science. Mendelian « factors » (they only subsequently came to be called « genes ») are, in the first instance, purely theoretical entities that cannot be observed directly as such; they are *postulated* to exist such that, other things being sufficiently equal, a *difference* in a Mendelian factor will cause a *difference* in an observable phenotypic character. On this basis, the behaviour of the Mendelian factors can be inferred from observations of the proportions of the *different* phenotypes in the offspring from appropriate crosses. It follows that if there are no observable phenotypic differences, Mendelian genetics never gets off the ground; or to put it another way, Mendelian genetics is constitutionally blind to any feature that is invariant in the species. Now « heredity », as a biological phenomenon, is not primarily concerned with differences, but with *similarities*; what the biologist who is interested in living organisms wants to understand, is how a given form of life can reproduce, so that *similar* organisms recur from generation to generation. How is it that the offspring of a pair of cats are kittens that grow up to *resemble* their parents? But this is precisely the question that Mendelian genetics does *not* answer.

Oyama (1985), who has provided a most penetrating analysis of this situation, emphasizes that what is hereditarily transmitted from generation to generation is not just the genes, but the developmental system as a whole, including its dynamic relation to an ecological niche. Scientifically, this is the literally vital condition for the developmental process, from fertilized egg-cell to adult, to reliably recur. Now it was subsequently discovered that the Mendelian « factors » are discrete entities, the genes, which are situated in the chromosomes in cell nuclei and are chemically composed of DNA. Defined as DNA sequences, genes are essentially static objects. Heredity, as a biological phenomenon, is a recurrent dynamical process. It is a crass mistake to reify this process, and to reduce it to a determination by « genes »³. To talk of a « genetic programme » as though this could « explain » the robust regularity of developmental processes is a fallacious sophism of the worst sort. As I have argued elsewhere (Stewart 1993), to the extent that there is a « programme » of any sort, it is not localized specifically in the genes but is distributed over all the material processes that occur during development; and it does not even pre-exist the very processes that it is supposed to be « directing ».

Piaget, with his sensitivity to the dynamic nature of developmental processes, should have been among the first to understand these issues. Unfortunately, however, he seems to have

³ This can be construed as an example of what Whitehead (1926) meant by « the fallacy of misplaced concreteness ».

fallen a victim to the terminological confusion that he himself generated, and to have conflated the two senses of the term « genetic ». To try and sort out the resultant mess, it may be useful to reiterate the distinction and to propose a terminology that avoids the confusion. In Piaget's sense, « genetic » is an adjective that qualifies a dynamic process. When this is meant, I propose to replace the terms « genetic » or « genome » by « developmental system ». In the neo-Darwinian sense, « genetic » is an adjective that refers to an object, the gene as DNA sequence. When this really is what is meant, I propose to replace the ambiguous adjective « genetic » by a circumlocution using only the nouns « gene » or « genome ». As an exercise, it is instructive to take the final section of Ducret's text (*Troisième étape*), and to systematically replace « génome » (and a fortiori, « système génétique » and « système héréditaire ») by « système développemental ». Almost magically, the malaise engendered by this portion of the text is largely dissipated. In particular, once it is realised that the « hereditary system » is not reducible to the genes, a Lamarckian view of evolution is no longer saddled with the dubious implication that the environment can have specific causal effects on genes. Of course, genes are important *elements* of developmental systems; but little or nothing is lost by conceding that at the DNA level, genes only change over evolutionary time by the neo-Darwinian mechanisms of random mutation, natural selection and « natural drift » (Maturana & Varela 1987). The point is that genes only produce phenotypic effects in the context of a developmental system, which not only includes many other material elements but is largely self-organized and autonomous. Consequently, as Waddington energetically emphasized, although genetic mutations may be « random » at the DNA level, their *effects* are anything but random, and can only be understood in terms of the global dynamics of the developmental system.

Pichot (1999) has remarked that, contrary to the common stereotype, the « inheritance of acquired characters » was not really a primary concern for Lamarck. His main idea was, rather, that living organisms can only be properly understood as *historical* entities, as moments in an ongoing evolutionary process. His concern, therefore, was with the transgenerational *continuity* of living forms; in the precise technical sense that I have defined in this text, he was concerned with heredity. The inheritance of acquired characteristics was a subsidiary corollary, which Lamarck did not actively seek to deny but which was not, for him, a particularly big issue. It may therefore be more faithful to the spirit of Lamarck's life-work - and in his wake, to the seminal contribution of Piaget - to downplay this issue by accepting the Waddingtonian compromise, and to focus instead on the positive constructivist task of understanding life - and cognition - as dynamical processes (Whitehead, 1929).