

STABILISATION FONCTIONNELLE ET ÉPIGÉNÈSE

Une approche biologique de la genèse de l'identité individuelle

Pour introduire notre discours biologique au niveau anthropologique, nous ferons le lien entre un exposé purement ethnologique (celui qui a précédé) et un exposé d'analyse linguistique (celui qui doit suivre). Cette insertion est d'autant plus cruciale qu'il s'agit de présenter ici une approche de l'identité *perpendiculaire* à l'analyse structurale — comme le temps est orthogonal à l'espace.

Plutôt donc que d'entrer immédiatement dans le vif du sujet, je vais user d'un langage qui peut paraître quelque peu paradoxal ou inadéquat, en décrivant, parmi la mythologie prégnante, quelque chose qui soit symétrique, et non équivalent, de la mort du père : je vais commencer par évoquer les mythes qui concernent la mort de la progéniture.

Ces mythes, nous les connaissons partout dans nos civilisations occidentales, qu'il s'agisse d'Isaac ou de la fille de Jephthé, de Médée ou des Atrides, on les retrouve même dans le fait divers qui donne spontanément des œuvres comme *le Malentendu*. Mais, pour éviter de faire ici de l'ethnocentrisme, je vais choisir une histoire mōsē, à morales multiples, comme le sont souvent les histoires de ce peuple, racontant un cas de la mort de la descendance.

Un jour vers midi, deux voyageurs qui allaient à pied arrivèrent en même temps à un puits où ils comptaient se désaltérer. Ce fut l'occasion d'une rencontre, et ils se mirent à parler d'eux-mêmes. Ils avaient quitté leur village où rien ne leur réussissait et étaient partis à l'aventure, dans l'espoir de se fixer un jour dans un endroit propice. Cette communauté d'histoires leur fut l'occasion de se décider à faire route

ensemble, ils se prirent d'amitié et choisirent de s'associer pour améliorer leur sort. En conséquence, ils firent un seul tas des cauris que contenait leur maigre bagage et les mirent en commun en signe d'union. Ils continuèrent leur route et arrivèrent bientôt en un lieu où se tenaient des marchés. Chacun prit quelques cauris afin de faire du commerce; le soir, ils se retrouvèrent et purent constater qu'ils avaient commercé avec habileté, puisque leur petit capital du jour avait doublé. Ce fut le début d'une prospérité telle qu'ils décidèrent de rester dans le village.

Après un ou deux ans, ils songèrent à rester fixés au village et donc à prendre femme. Ils allèrent voir les vieux et leur dirent : « Nous voudrions fonder ici un lignage et donc prendre femme. » Leurs cadeaux et leurs services furent agréés mais aucune précision ne leur fut donnée quant aux femmes qui leur seraient accordées ni quant au moment du mariage. Cela était conforme à la coutume. Cependant la situation se prolonge. Il se passe un an, deux ans, trois ans et on ne leur propose toujours pas d'épouse. Finalement, l'un des amis se décide à consulter un devin pour connaître les chances de réalisation de la promesse qui leur avait été faite. « Tu ne recevras toi-même une épouse que dans un temps assez éloigné, lui dit le devin après avoir jété les cauris et lu l'avenir dans leur disposition, mais ton ami recevra l'accord des vieux dans les jours qui viennent. Toutefois, je vois qu'un grand malheur se produira au moment où la nouvelle épouse sera conduite au domicile conjugal : à l'entrée de la case, la personne qui ouvrira la marche sera mordue par un serpent et deviendra aveugle. » Et le devin affirme qu'il n'y a malheureusement aucun moyen d'éviter cet accident.

Effectivement, la prédiction se réalise. Peu de temps après cette entrevue, le conseil des vieux convoque l'ami, lui assure que cette attente avait pour intention de le mettre à l'épreuve, lui propose une épouse et fixe la date du mariage. Le jour dit, l'on se rend en cortège vers la maison, mais l'ami qui avait entendu le devin, sous un prétexte fallacieux, prend la tête du cortège, afin que rien n'arrive à son ami. Sur le seuil de la case, il est mordu par un serpent et devient aveugle.

Le couple prend l'aveugle sous sa protection mais se désole de ce malheur. Heureusement naît un garçon qui réjouit le cœur des trois amis, et l'enfant se prend d'une amitié toute particulière pour l'aveugle.

L'ancien associé de l'aveugle ne ménage pas sa peine pour remédier à l'état de son ami, mais rien n'y fait, aussi décide-t-il de consulter l'oracle pour savoir ce qu'il faut faire. Et l'oracle ne veut pas répondre; mais, en insistant beaucoup, l'ami arrive à savoir la chose suivante : « Pour guérir l'aveugle, dit l'oracle, il n'y a qu'un seul moyen, il faut que tu égorges toi-même ton enfant, que tu prennes son sang et que tu le mettes sur les yeux de l'aveugle; il guérira. » Alors, après de longues discussions, le couple décide de tuer l'enfant. Au petit matin, ils tuent l'enfant, ils prennent le sang et vont le mettre sur les yeux de l'aveugle, qui se réveille et qui retrouve la vue. Aussitôt, bien sûr, la première chose qu'il fait, c'est de se précipiter pour chercher l'enfant et le voir enfin, parce qu'il l'aimait beaucoup; il ne le trouve pas et demande alors aux parents ce qu'ils en ont fait et leur dit : « Mais qu'avez-vous fait de cet enfant? Pourquoi a-t-il disparu? » Ils lui expliquent alors qu'ils l'ont tué et que c'était pour lui rendre la vue. L'ancien aveugle est absolument désespéré et reproche vivement à son ami d'avoir agi ainsi, puis il va se précipiter sur la tombe de l'enfant. Il y colle son visage et l'appelle. A la surprise de tous, l'enfant répond. On enlève aussitôt la terre qui le recouvre et le voici vivant.

Et le conteur termine son récit en demandant à l'assemblée laquelle de ces trois personnes — des deux amis et de la mère — fut la plus généreuse, en rappelant la dernière phrase de l'aveugle commentant cette aventure : (il s'agit d'un Yelbundi cf. M. Izard).

Pupélem ya tim

Pupélem ka rib yé, la bé basem yam

ce qui veut dire :

La pureté du cœur est un remède.

La pureté du cœur ne nourrit pas mais laisse l'âme tranquille.

Il serait ici possible de s'interroger sur la fonction des morales multiples ou sur celles des yelbuna (que nous avons traduit, de façon tout à fait impropre, par « proverbe »), mais c'est sur l'un des thèmes de l'histoire que je voudrais m'arrêter. Il s'agit là d'une histoire qui ressemble un peu à celle d'Isaac : l'enfant, dans ce cas précis, est le symbole

de la réinsertion sociale, comme Isaac sera la marque d'une alliance avec la divinité. Les voyageurs ne sont vraiment du village qu'au moment où leur descendance y sera assurée, d'où le problème de la quête des femmes et les épreuves quasi orphiques qui se succèdent. La problématique est ici la fondation d'un lignage, mais sans que soient mentionnées les règles habituelles d'exogamie (admises complètement puisque les voyageurs sont des *étrangers* au village) et par conséquent la réapparition du complexe d'Œdipe, toujours invoqué, avec la culpabilité corollaire due à la mort du père, comme trace de la fondation du premier groupe social, n'a pas sa place ici. Or nous nous trouvons en présence d'une mort symétrique, la mort du fils. Mais cette symétrie n'est qu'apparente, car la distinction entre la mort du père et la mort de la progéniture, c'est la distinction entre le père qui détient le pouvoir (incarne la structure sociale rigide) et fait le laïus (détient le langage codifié) et le fils, modelé par ces contraintes mais toujours porteur d'une incertitude quant à sa façon de reproduire la société qui lui est enseignée. Le père représente le programme social (on peut admettre cette analogie dans une hypothèse de (re)production des structures sociales) et l'enfant est une réalisation particulière de ce programme.

La différence essentielle est que la perpétuation du programme est rigide, se transmet de façon tout à fait identique à soi-même, alors que la réalisation peut toujours posséder quelque propriété d'anomalie par rapport au programme qui la spécifie. On peut donc distinguer un rôle totalement dissymétrique de la réalisation par rapport au programme. A chaque individu correspond une réalisation particulière et les classes de réalisations dévient, avec une certaine probabilité, de la réalisation moyenne spécifiée par le programme. Et je vais essayer de développer maintenant, au niveau biologique, le rôle et la façon dont cette fluctuation est indispensable pour la création de l'identité biologique (l'espèce) jusqu'à l'identité du système nerveux (la création post-natale du système nerveux individuel).

Généralités : Phylogénèse, ontogénèse, épigénèse

La vie est l'expression d'un mode de croissance particulier de systèmes matériels. Ces systèmes sont caractérisés

par le fait qu'on peut leur associer un programme, ensemble organisé d'instructions opératoires qui spécifient des exécutions. Ce programme est exprimé au cours du développement temporel du système vivant suivant des règles bien définies à la fois dans l'espace et dans le temps. Si l'on considère la vie sous tous ses aspects depuis le moment où l'on pense pouvoir rencontrer son origine sur la terre, on peut distinguer plusieurs niveaux de son organisation.

Un *premier niveau* correspond à l'évolution diachronique du programme lui-même (ici programme génétique, transmis héréditairement); le signe de cette évolution est l'évolution des espèces ou *phylogénèse*. La multiplication des êtres vivants suppose en effet que le programme se reproduise, et l'identité de la descendance à l'ascendance suppose que cette reproduction se fasse avec le minimum d'erreurs.

Au premier programme a correspondu la première cellule or, au cours de l'évolution prébiotique qui a précédé cette première naissance, les systèmes qui se sont différenciés pour devenir vivants sont passés d'un état où se produisent toutes sortes de réactions plus ou moins équivalentes entre elles jusqu'à un état où la précision devient telle que l'on peut considérer qu'il y a reproduction conforme d'un même édifice complexe, la cellule. Pourtant, la précision n'a pas pu devenir absolue, à cause de la nature même des interactions moléculaires mises en jeu, et une certaine *frange de fluctuation*, dans laquelle apparaissent des « erreurs », existe *nécessairement*. Et il se trouve, comme nous allons le voir, que ces petites fluctuations sont devenues nécessaires au fonctionnement, au point que l'on peut penser que le programme lui-même a été sélectionné de manière à fixer leur nature et leur amplitude.

La nécessité de ces fluctuations, laissant au hasard un rôle primordial, vient de ce que tout système vivant est un système en croissance et que, par conséquent, son environnement (défini comme étant *ce avec quoi il interagit*) est sans cesse modifié. Un système qui serait trop rigide et se reproduirait avec une fidélité absolue ne pourrait s'adapter à un environnement changeant, mais un système qui serait trop flou ne pourrait se reproduire de façon stable. Les fluctuations statistiques du programme génétique sont les *mutations* et sont à l'origine de l'évolution des espèces : au cours de la multiplication des individus d'une espèce donnée, il existe toujours un certain nombre de variants dont le programme

est altéré et, chaque fois que le nouveau programme permet son développement, le mutant constitue une variation stable du type initial; comme ce phénomène se reproduit systématiquement, il arrive un moment où, après une série de mutations, un individu possède un programme qui lui permet des interactions avec le milieu extérieur, franchement différentes de celles du type initial...

Insistons donc sur la constatation que la fluctuation qui produit ici une variété de programmes est d'un intérêt particulier : elle est nécessaire du point de vue de la survie du système vivant puisqu'elle seule permet l'apparition de nouveaux êtres qui pourront interagir différemment avec un environnement qui est sans cesse changeant (non seulement parce qu'un être vivant soustrait au milieu extérieur un certain nombre de molécules et qu'il en rejette d'autres, mais encore tout simplement parce qu'il y fait apparaître un grand nombre d'individus identiques à lui-même), mais elle est aussi une nécessité interne due aux inévitables fluctuations intrinsèques des interactions moléculaires (puisque nous ne sommes pas au zéro absolu).

Avec la naissance des organismes pluricellulaires, nous arrivons à un *deuxième niveau* de l'organisation biologique. Le programme s'exprimant au cours de la croissance par division, il apparaît toujours une variation brusque au moment où la cellule fille se sépare de la cellule mère. L'environnement de la cellule initiale contient, à ce moment précis, une interaction d'un type particulier, représentant le *contact* intime entre deux cellules. C'est lorsque cette interaction de contact sera *prise en compte dans le programme* qu'apparaîtront les premiers organismes pluricellulaires. Les programmes vont alors se diversifier et spécifier un certain nombre d'interactions à courte distance entre les cellules, au sein d'un organisme où il existe des classes de cellules différenciées. Il convient donc que le programme de ces nouveaux êtres vivants, plus complexes, contienne des instructions correspondant au développement diachronique de l'individu suivant ce que l'on appelle l'*ontogénèse*¹.

Au cours du développement individuel, le rôle des fluctuations stochastiques ne se trouve pas enfermé dans la modi-

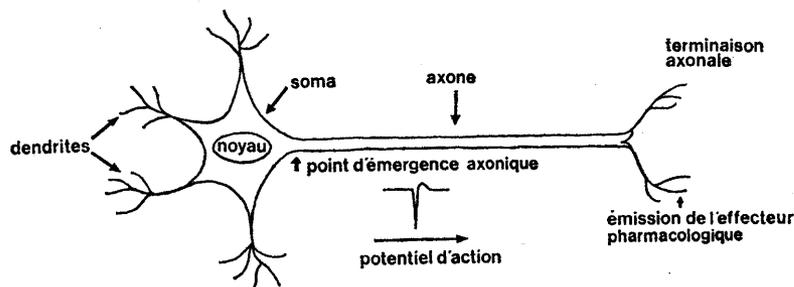
1. Cette différenciation cellulaire est ici nommée ontogénèse dans un sens plus restrictif que celui qui est parfois employé pour nommer les étapes du développement individuel postérieures à la fin de la différenciation.

fication du programme comme c'était le cas pour la phylogénèse, mais dans son déroulement temporel : le lieu rigoureusement exact ou le temps rigoureusement prévu d'une différenciation ne peuvent être absolument présents dans le programme. Les instructions correspondent à une position moyenne ainsi qu'à un temps moyen et c'est le contexte extérieur à la cellule qui, en dernier ressort, déterminera la fonction et le temps exact de la différenciation; ainsi deux programmes identiques, mais soumis à des milieux extérieurs différents, donneront naissance à des organismes certainement très voisins, mais légèrement modifiés dans leur développement, pour tenir compte des conditions environnantes. Ce type d'utilisation de fluctuations, qui correspond à une représentation particulière d'un environnement intégrée dans le programme génétique, sera encore mieux visible dans la suite de notre exposé. Nous serons alors concernés par la manière dont se façonne un individu, de sa naissance à sa mort, même après la fin de sa différenciation en cellules de classes particulières, de façon à conserver au mieux son homéostasie dans un environnement changeant.

Au niveau ontogénétique, nous venons de voir une première limitation du programme : sa finitude ne lui permet pas — loin de là — de tout spécifier et il devient rapidement impossible que tout soit *directement* programmé. Or, au cours de la phylogénèse, on observe des rameaux, correspondant à des organismes pluricellulaires, qui semblent de plus en plus complexes, quant à la multiplicité des interactions qu'ils peuvent prendre en compte. Il doit donc apparaître, à partir d'un certain niveau de complexité, un processus permettant à chaque individu d'intégrer le plus grand nombre possible d'interactions avec l'extérieur et cela de façon stable. C'est à ce phénomène de modification, reliée toujours à un comportement homéostatique, que nous réservons ici le nom d'*épigénèse*.

Parmi les systèmes cellulaires différenciés capables de maintenir au mieux l'homéostasie d'un individu, le système nerveux est privilégié, en ce sens qu'il s'agit d'un système purement régulateur dont la fonction est d'intégrer les données recueillies par des séries de systèmes récepteurs spécialisés (les organes sensoriels et divers systèmes de mesure du métabolisme) et de les transformer en actions appropriées (organes moteurs, commandes hormonales du métabolisme). Ce système, apparu très tôt au cours de l'évolution, est le

Phénomène	Système	Enveloppe génétique
Phylogénèse Ontogénèse	Cellules Organes	Programme génétique Programme morphogénétique
Épigénèse	Système nerveux; musculaire...	Programme neuronique
Évolution prébiotique	Macromolécules	Autocatalyse



Neurone : Un neurone est une cellule qui possède les caractéristiques suivantes : il y a un corps contenant un noyau où se trouve l'information génétique; arrivent à ce corps des filaments très fins, les dendrites; le neurone se continue par un axone où se propage l'influx nerveux et se termine par une arborescence terminale qui le connecte, soit à d'autres neurones soit à des cellules effectrices.

lieu des transformations les plus importantes parallèles à l'apprentissage. Pour cette raison, nous allons étudier, dans ce qui suit, un certain nombre de mécanismes permettant la mise en place du développement épigénétique concomitant de l'apprentissage dans le système nerveux.

Le système nerveux : description sommaire

Le système nerveux des organismes les plus primitifs est une suite organisée de cellules spécialisées, les *neurones*, qui servent à connecter les cellules réceptrices et les cellules effectrices, au travers d'un chemin compliqué dont la structure est *rigoureusement* définie par le développement du programme au cours de l'ontogénèse. Cependant, au fur et à mesure que l'on s'élève dans la complexité des organismes, apparaît une certaine variabilité dans la connectivité, trop importante pour rester entièrement spécifiée par le programme génétique.

En ce qui concerne le fonctionnement du système, on sait que ce sont les cellules nerveuses, et plus particulièrement les contacts que ces cellules forment entre elles, les *synapses*, qui ont pour fonction de traiter l'information qui, sous forme d'impulsions électrochimiques, parcourt le réseau nerveux. Les neurones sont des cellules tout à fait dissymétriques, composées d'un corps cellulaire (contenant le noyau où sont conservées, comme dans toute cellule de l'organisme, les instructions du programme génétique) où parviennent des familles d'arborisations très ramifiées, les dendrites (qui constituent les entrées du neurone) et qui se prolongent en un long filament, l'axone terminé par une arborisation servant à relier le neurone aux dendrites des neurones qui le suivent. L'influx nerveux est essentiellement constitué d'une onde électrochimique qui parcourt l'axone, sous forme d'impulsions très brèves. Cette onde pourrait en principe, se déplacer le long de l'axone dans les deux sens, mais les neurones sont construits de manière dissymétrique, ce qui introduit en fait une orientation. En effet, arrivé à la terminaison, l'impulsion libère des molécules contenues dans la terminaison axonale; ces *effecteurs pharmacologiques* se propagent alors par diffusion jusqu'au neurone suivant où ils provoquent une perturbation qui pourra, composée avec les milliers d'autres entrées de ce neurone, donner

naissance à une impulsion électrique, et ainsi de suite.

Une synapse est constituée de trois parties : la partie *présynaptique* de la terminaison axonale, qui contient le dispositif de libération de l'effecteur pharmacologique et le contrôle de sa synthèse, la *fente synaptique* que doit traverser l'effecteur pour parvenir à la *membrane postsynaptique* du neurone suivant. C'est donc la synapse qui introduit la dissymétrie dans le fonctionnement du neurone. La forme géométrique du neurone et la fonction des diverses synapses, sur les dendrites et sur le corps cellulaire, sont plus ou moins déterminées par le programme génétique. Cette répartition est d'une grande importance, car elle décide, en fonction du multimessage afférent (c'est-à-dire de l'ensemble des arrivées d'effecteurs pharmacologiques à chacune des entrées, à chaque instant), si un influx nerveux va ou non être créé au point d'émergence axonique. Ce sont les propriétés d'*intégration* du neurone. Pour donner un ordre de grandeur, voici quelques valeurs : un neurone moyen du cerveau humain reçoit environ 10 000 afférences. Par conséquent, le pouvoir d'intégration de chaque neurone représente la règle de composition qui permet, en fonction des entrées sur chacune des 10 000 synapses (entrées que l'on peut, grossièrement, représenter par 1 ou 0 suivant qu'elles reçoivent ou non une impulsion), de créer ou non un influx nerveux (1 ou 0), qui va se transmettre à la terminaison axonale et donc aux neurones qui suivent. La connectivité du réseau nerveux est donc gigantesque et l'on compte probablement plus de 10^{14} synapses dans le cerveau humain : il est bien clair qu'une telle connectivité, dans un réseau dont on sait par ailleurs que l'anatomie n'est pas simple, ne peut pas être totalement spécifiée dans le programme génétique. Il doit donc exister une certaine variabilité, une frange de fluctuation, dans l'organisation fine des réseaux nerveux d'un individu à l'autre.

Ce qui frappe pourtant l'observation attentive, c'est la grande similitude dans l'organisation anatomique et même dans sa mise en place, d'un individu à l'autre. D'ailleurs, l'existence de nombreux mutants (variants héréditaires) du système nerveux confirme l'importance fondamentale de la contrainte génétique. Les descriptions relevant essentiellement les analogies, les invariances d'un individu à l'autre, ont longtemps prévalu; elles donnent une image rigide de la structure et du fonctionnement du système nerveux,

image qui n'apparaissait pourtant pas lors des premières études de son anatomie fine.

On peut rappeler à ce propos que Freud, en 1895, dans son *Esquisse d'une Psychologie Scientifique*, s'était longuement interrogé sur le rôle dynamique des neurones dans leur rapport à la mémoire et à l'apprentissage. Son idée, qui n'était pas claire du point de vue de l'anatomie fine, a été reprise dans tous les concepts de *frayage* et de *géographie* topique de l'inconscient. Freud supposait, outre le rôle de la connectivité générale et de l'intégration, qu'il existait une possibilité de modification des synapses, entraînant que certains chemins, à l'intérieur d'un réseau organisé de neurones, pouvaient être préférentiellement utilisés, par rapport à d'autres, après que l'individu eut été soumis à telle ou telle expérience (éventuellement répétée). Cette idée, très concrètement biologique au départ, est certainement l'une des clefs fondamentales qui ont permis à Freud d'élaborer sa théorie de l'inconscient.

Prémises biologiques : déprivation sensorielle et temps critique

L'importance potentielle de la modification des synapses est peu à peu tombée dans l'oubli entre 1920 et 1960 pour réapparaître avec beaucoup de force à la suite d'une famille d'expériences vers les années 1955-1965 qui ont montré une modification décelable du réseau nerveux, parallèle au changement de l'environnement, chez les vertébrés supérieurs.

Le principe de ces expériences repose sur une observation épistémologique tout à fait élémentaire : pendant très longtemps, et aujourd'hui encore, les expérimentateurs se sont intéressés au système nerveux central de l'*adulte*, négligeant ainsi une observation de tous les jours qui indique que la majeure partie de l'apprentissage se fait entre la naissance et la maturité. Le bon sens veut que l'on expérimente sur de jeunes animaux, au cours de leur croissance.

On sait, d'autre part, que le système nerveux de l'adulte est organisé comme un système cybernétique classique (auquel il a servi, en partie, de modèle) et Wiener, von Neumann et quelques autres ont montré, après avoir inventé ces objets d'une commodité tout à fait extraordinaire que sont les calculateurs électroniques, que ces instruments ne sont jamais vraiment capables de refléter les propriétés essentielles de

l'apprentissage et donc de la genèse de l'identité individuelle des vertébrés supérieurs. Là encore, c'est que l'on est en face d'une image rigide du réseau nerveux, celle du cerveau définitif de l'adulte, et que l'on néglige par conséquent l'essentiel, c'est-à-dire ce qui lui arrive durant sa mise en place.

Le schéma expérimental est donc simple : on va tenter de voir si, lorsque l'on modifie de façon importante l'environnement d'un individu, à *partir de sa naissance* (ou peu après), l'on est en mesure d'observer, au niveau de l'anatomie ou du fonctionnement de son système nerveux, des différences appréciables par rapport à un individu élevé dans des conditions normales. Beaucoup d'expériences de ce genre ont été effectuées, mais les plus spectaculaires sont sans doute celles de Hübner et Wiesel (poursuivies par M. Imbert, ici même, au Collège de France) et ces expériences donnent une description de la mise en place de la vision chez le chat. Elles consistent à étudier, au niveau anatomique, au niveau du fonctionnement électrophysiologique et au niveau du comportement, l'évolution du cortex visuel de chatons élevés dans des contextes visuels très différents.

La méthode la plus brutale, et qui donne les résultats phénoménologiquement les mieux observables, est la suivante : un chat est mis dès sa naissance dans le noir complet, par exemple par la suture d'une paupière. Après quelques semaines, la suture est retirée et il est clair alors que le chat se comporte comme un animal borgne. D'ailleurs, l'anatomie et le fonctionnement de son cortex visuel du côté opposé à la suture sont profondément altérés. Cette infirmité apparaît comme tout à fait irréversible. Au contraire, la même expérience faite sur un animal adulte, même pendant un temps beaucoup plus long, entraîne, bien sûr, quelques difficultés de réadaptation au moment du retour à une vision normale, mais bientôt l'animal recouvre une vision indistinguable de sa vision antérieure. On observe donc qu'il existe un *temps critique*, après lequel la mise en place d'un système visuel correct n'est plus possible.

Toutes les expériences de *déprivations sensorielles* analogues à celles que nous venons de décrire conduisent à la même observation de dégénérescence durant une période critique lorsqu'un environnement approprié n'est pas fourni au jeune animal. D'autres expériences, moins grossières, permettent de découvrir quelles sont les caractéristiques de

l'environnement qui sont pertinentes pour la mise en place correcte de la vision. Il est, aussi, possible de faire une analyse détaillée de la façon dont se fait l'intégration des différents influx nerveux au niveau des cellules du cortex visuel, au cours de la spécification, modifiée par l'environnement, de la connectivité du cortex visuel. Dans le cerveau du chaton à la paupière suturée, l'anatomie du cortex visuel est très fortement changée, les dendrites des neurones sont largement dégénérées et il manque un nombre considérable de synapses. La connectivité est devenue très faible, quasi nulle et très dissymétrique : la zone corticale correspondant à l'œil suturé est dégénérée et cette dégénérescence affecte aussi, mais dans une moindre mesure, la zone corticale correspondant à l'autre œil.

Dans un tout autre domaine, on sait qu'il existe un temps critique, correspondant à une dégénérescence, tout à fait semblable chez l'homme. D'après les cas exceptionnels d'« enfants-loups », il semble qu'on soit incapable d'apprendre un langage quelconque si on n'a pas déjà appris une langue avant l'âge de six-sept ans. Nous retrouvons ici encore la notion fondamentale de temps critique. La dégénérescence s'observe, quant à elle, dans la *perte* des capacités auditives chez les enfants qui, élevés dans un certain contexte linguistique, perdent peu à peu l'aptitude à reconnaître certains sons qu'ils pouvaient discerner petits.

Deux caractéristiques paraissent ainsi devoir être retenues : d'une part la connectivité du réseau nerveux, d'autre part son évolution au cours du temps, si l'on veut décrire formellement la genèse de l'identité au niveau du cerveau de l'homme.

*Description formelle schématique*¹

Notre idée directrice est que le patrimoine héréditaire fournit un *programme neuronique* permettant la mise en place d'un système nerveux individuel. Qu'allons-nous retenir de ce programme?

D'abord, son état initial qui est, nous l'avons vu, le réseau lui-même. Le réseau maximum possible provient du déve-

1. Un premier formalisme mathématique en a été donné par J.-P. Changeux, P. Courrège et A. Danchin (1973) PNAS 70 2974-2979. Les idées présentées ici, sur l'épigénèse des réseaux nerveux, sont le fruit du travail collectif des auteurs.

loppement du programme ontogénétique qui contient les règles de formation des grandes lignes de l'anatomie nerveuse. Cela représente adéquatement l'observation expérimentale, où l'on reconnaît effectivement une grande similitude dans l'anatomie générale du système nerveux pour des individus de la même espèce. Cela rend compte, de même, de l'existence de *mutants* dont tel ou tel trait anatomique est modifié, par rapport au type habituellement rencontré.

Une autre contrainte génétique existe certainement dans les *propriétés d'intégration* de chaque classe de neurones, puisque leur forme générale est bien différenciée et, elle aussi sujette à varier de façon héréditairement stable chez des mutants.

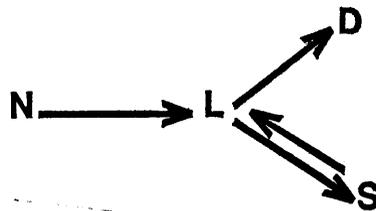
Mais la caractéristique qui nous paraît être la plus importante concerne la façon dont les synapses vont évoluer, en fonction de leur fonctionnement propre et du fonctionnement du neurone postérieur. Cela encore est inclus dans le programme neuronique et déterminé par le patrimoine héréditaire.

En résumé, le programme neuronique se déroule à partir d'un réseau de neurones grâce à :

- (I) leurs propriétés d'intégration;
- (II) la fonction d'évolution — locale — des synapses, sous la dépendance de leur activité, sous l'influence du milieu environnant.

Le dernier point sera plus spécialement développé dans la suite, en particulier parce qu'il peut éventuellement, et par analogie, avoir un intérêt du point de vue des sciences sociales. Cela paraîtra particulièrement clair si l'on considère les systèmes sociaux comme reproduisant, formellement, leurs structures, grâce à un système d'interactions locales, instables, mais stabilisées dans la mesure où elles sont opératoires.

C'est donc le *fonctionnement* des synapses qui, dans notre hypothèse, sert à coupler le programme neuronique et l'environnement. Et, puisque les expériences de déprivation sensorielle indiquent une dégénérescence, nous schématisons l'évolution d'une synapse de la façon suivante :



où N, L, S, D représentent quatre *états* extrêmes possibles. N est l'état « néant » qui représente la synapse avant sa première formation, cet état permet de prendre en compte la croissance du système nerveux et la synthèse de nouvelles connexions. L est l'état intermédiaire, labile, de la synapse dès qu'elle commence à fonctionner; elle évolue alors vers S, état stable, ou elle dégénère (D) suivant son fonctionnement, selon les règles prescrites par le programme. Le fonctionnement dérive évidemment des stimuli qui arrivent aux systèmes périphériques du système nerveux central. Cependant, comme il est bien clair que les propriétés *globales* ne peuvent être reconnues partout à la fois, la règle d'évolution est strictement *locale*.

Les neurones fonctionnent donc comme des automates locaux qui se connectent et se déconnectent en fonction de la façon dont ils reçoivent de l'information de leurs voisins immédiats. La dégénérescence introduit un processus *irréversible* — comme le fait d'ailleurs la croissance — qui permet donc de *fixer* une *empreinte* de la façon dont s'est passée l'évolution du fonctionnement de telle ou telle connexion jusqu'au moment de la dégénérescence. Dans certains cas, la stabilisation est, elle aussi, irréversible, dans d'autres elle ne l'est pas, et nécessite un fonctionnement minimum pour subsister.

Nous voyons ainsi qu'il s'agit d'une spécification du réseau par un mécanisme *sélectif* qui va façonner, pour chaque environnement, une réalisation particulière à l'image de celui-ci.

Pendant la période de maturation individuelle, le milieu extérieur sculpte peu à peu la masse cérébrale jusqu'à ce qu'une réponse stable et adaptée soit obtenue. A chaque fois qu'une certaine classe de stimuli sera présente, le système réagira, adulte, de la même façon.

Il est possible d'étudier l'évolution de la performance d'un système ayant des propriétés du type décrit. Initialement, le système contient un ensemble de connexions fonctionnelles mais instables.

Imaginons que l'on soumette le système à des multi-messages d'un type T déterminé : dans le réseau, l'influx nerveux va se répartir suivant une loi dépendant de la structure anatomique, des règles d'intégration, et bien sûr, du *type de message d'entrée*. Ainsi, *localement*, chaque synapse sera-t-elle en relation — très indirecte — avec l'entrée et pourra donc retenir une caractéristique de ce message. A la sortie du réseau, les messages seront d'un type T' (t), fonction

du temps, mais on peut aisément imaginer que, si le programme neuronique s'y prête, T' (t) devienne, à partir d'un certain moment, indépendant du temps. Cela signifie que le réseau est alors spécifié de telle sorte qu'il se comporte comme un automate associant un message de sortie de type T' à un message d'entrée de type T. Le système est alors stationnaire et ne peut plus se modifier que dans le sens d'une plus grande dégénérescence. Nous retrouvons donc à la fois le temps critique et une certaine forme d'apprentissage puisque l'on peut considérer cette T-T' compétence comme l'acquisition d'une propriété associative stable.

Nous remarquons aussi que le temps critique est tout simplement, lorsque l'on se donne un programme neuronique avec son réseau initial et ses règles d'intégration et d'évolution locales, le temps à partir duquel le système est spécifié, et ne donne plus lieu qu'à des messages de type stationnaire. *Le temps critique n'est donc pas une donnée génétique primaire* (ce n'est pas donné *a priori* dans le programme), c'est une donnée génétique secondaire qui apparaît *nécessairement* (avec d'ailleurs une certaine variabilité individuelle) au cours de l'évolution globale, de la *réalisation* du programme neuronique.

L'inné et l'acquis

Ainsi, pour chaque réseau, pour chaque programme neuronique, a-t-on une réalisation particulière, pour chaque individu. Le programme est la partie innée du système (définie par le programme génétique et son déroulement ontogénétique) et la réalisation individuelle est un compromis particulier entre l'inné et l'acquis, obtenu grâce à l'interaction avec l'environnement, et donc non transmissible héréditairement.

Cette description sommaire (et outrancièrement simplifiée) réconcilie en fait deux extrêmes sur lesquels on insiste particulièrement, non seulement à propos du système nerveux, mais encore à propos de n'importe quelle théorie biologique. Grossièrement, on imagine soit que le programme est strict et spécifie sans fluctuations son propre déroulement temporel, ce qui donne lieu à des théories strictement innéistes. Au contraire, il existe des théories qui nient toute possibilité de programme et réduisent l'inné au simple état initial en sup-

posant que le résultat individuel n'est rien d'autre qu'une empreinte de l'environnement, sans commune mesure (théorique) d'un individu à l'autre, l'analogie ne provenant que du fait que les milieux extérieurs sont presque toujours semblables.

Nous avons ici supposé l'existence d'un programme neuronique inné (qui spécifie en particulier la dynamique de l'évolution du système nerveux), ce qui implique d'ailleurs une variabilité génétique (héréditaire) importante, parfaitement confirmée, en particulier chez les animaux, par l'existence de nombreux mutants du système nerveux. L'acquis est l'image de l'environnement qui a conduit à la réalisation d'un programme individuel.

Il est possible de mentionner ici que l'on retrouve facilement l'origine des discussions passionnées entre la psychanalyse et la psychiatrie : nul doute que la contrainte génétique innée puisse conduire peut-être sans recours, à des réalisations aliénées, mais nul doute aussi que certaines formes d'environnement puissent conduire — comme dans le cas de la déprivation sensorielle par exemple — à des réalisations tout aussi aliénées. Devant un cas pathologique, il peut donc être difficile de savoir si la pathologie vient seulement du programme, comme certains l'affirment ou uniquement de l'acquis, comme d'autres le veulent. En tout état de cause, *on peut toujours imaginer que deux programmes différents aient deux réalisations identiques.*

Conséquences pratiques : rêve et pédagogie

Nous avons vu que la compétence acquise à l'âge adulte pourrait n'être — elle-même — pas stable, si les connexions pouvaient retourner à l'état labile (S → L). Or, si ces événements locaux, susceptibles de conduire à une dégénérescence, ne sont pas nuisibles durant la croissance parce qu'ils sont sans cesse compensés par le plan de construction du système, dérivé des règles ontogénétiques (N → L), ils sont en revanche très graves, et irréversibles, dans l'état adulte où le nombre des nouvelles synapses devient très faible (mais non nul cependant, de l'ordre du millionième de ce qui se produit peu après la naissance). On conçoit donc qu'il puisse exister un mécanisme spécialisé dans le maintien d'un fonctionnement minimum.

Chacun connaît bien ce retour à un état labile : l'immobili-

sation prolongée d'un muscle par exemple rend ce muscle incapable d'un fonctionnement correct sans un réapprentissage. Dans ce cas cependant, le système est programmé de telle manière que l'apparition de nouvelles synapses puisse se produire tout au long de la vie de l'individu. Et chacun peut réapprendre à marcher, même après une très longue immobilisation.

Que se passe-t-il alors au niveau du système nerveux central de l'adulte? Dans le cas schématisé de l'acquisition d'une T-T' compétence, que se produit-il après l'arrêt complet de l'introduction de messages de type T? Intuitivement, on remarque que, si la possibilité de retour vers l'état labile existe, un grand nombre de synapses qui fonctionnent en présence du message de type T vont dégénérer, et la compétence va régresser puis disparaître. Nous pouvons alors imaginer que la fonction du rêve est précisément de produire un balayage systématique des lieux du cerveau modifiés au cours du développement épigénétique. Alors, même si les messages de type T ne sont plus jamais présents dans l'environnement, le rêve permettra de conserver, grâce à un mécanisme approprié, les synapses qui correspondent à ce message.

Plus précisément, un système de ce genre (possédant la propriété du retour $S \rightarrow L$) suppose évidemment un *fonctionnement périodique* : il est clair que parmi les événements engrangés dans la mémoire, ceux qui correspondent à une trace très ancienne peuvent avoir un intérêt très tard dans la vie individuelle, sans cependant qu'ils aient été rencontrés à nouveau entre-temps, et leur disparition serait alors préjudiciable au maintien de l'homéostasie individuelle.

On peut donc imaginer qu'au cours de l'évolution est apparu un système de stimulation autonome de certaines zones du cerveau. Ce système interne serait d'une part périodique — c'est d'ailleurs ce que l'on observe pour le rêve, sous contrainte génétique stricte, l'organisation de la périodicité étant *héréditaire* — et d'autre part associé à un ensemble de blocage des effecteurs de manière à empêcher l'expression extérieure des zones stimulées. Les propriétés attendues de ce système ressemblent bien aux propriétés connues du rêve : les souvenirs qui apparaissent sont souvent les plus anciens, ce qui correspond au fait que l'établissement de la majeure partie de la connectivité se fait dans l'enfance; ces souvenirs procèdent d'associations d'idées, ce qui vient de ce que leur trace a été formée dans des contextes particuliers qui n'ont aucune

raison d'être *logiquement* organisés, mais ces associations sont — et pour cause — chargées de sens; enfin, comme le système décrit procède uniquement de conjonctions et de disjonctions, il est aisé de comprendre l'aspect *juxtaposé* des associations d'idées. Le rêve est donc capable de balayer la géographie de l'inconscient et ainsi de la conserver dans son état historique, dans la mesure où de nouveaux événements ne viennent pas, par la création de sutures et de coupures (réelles!), en troubler le paysage.

Après cette brève incursion qui retourne au sens original de l'inconscient, nous allons faire quelques remarques pédagogiques. Une première constatation s'impose : vers six ans, près de 90 % de la masse totale du cerveau de l'adulte est déjà formée et le nombre des synapses en croissance commence à diminuer fortement, pour n'être plus qu'une fraction infime après quinze ans. Les quinze premières années et surtout les six premières sont donc, dans notre hypothèse, absolument déterminantes pour la formation du système nerveux de l'adulte, avec toutes ses caractéristiques individuelles. D'autre part, ce qui est retenu de l'environnement ne peut être n'importe quoi. Il en résulte deux constatations dans l'ordre de la pédagogie.

Tout d'abord, s'il y a une variabilité dans les programmes, il n'y a aucune raison qu'un environnement d'un certain type, établi par exemple comme un modèle universel, national, gratuit, laïc et obligatoire, ait la même valeur pour tous. Il est absolument certain que ce type d'enseignement va favoriser une classe de programmes neuroniques, par rapport aux autres, et cela de façon systématique. *A priori* il y aurait donc certainement beaucoup plus de raisons de proposer un certain nombre de systèmes scolaires différents, dans lesquels existerait une grande liberté permettant aux individus de choisir tel ou tel type d'enseignement; et l'on a de bonnes raisons de croire qu'ils choisiraient de préférence le mode le mieux adapté à leur propre programme neuronique (simplement parce que c'est celui qui fournirait le plus de possibilités d'interactions stables avec le milieu extérieur). Cela serait très certainement infiniment plus profitable que l'imposition systématique d'un moule qui convient peut-être à certains mais pas à tous. Nous sommes loin, convenons-en, de ce qui existe en France. Jules Ferry est l'auteur de deux remarquables erreurs : la colonisation et l'enseignement centralisé.

Ensuite, nous avons remarqué que le temps est crucial, les

possibilités de réalisation optimale du programme neuro-nique étant limitées dans le *temps*. Au-delà d'un certain temps critique, la structure cérébrale étant spécifiée, on ne peut plus qu'apprendre par dégénérescence de ce système. Au contraire, la majeure partie de l'apprentissage se fait dans un réseau de croissance où de nouvelles connexions viennent sans cesse remplacer celles qui ont dégénéré : pendant ce temps, la sélection ne peut être qu'au bénéfice d'une spécification plus grande du réseau. Après l'âge de quinze ans, le nombre des nouvelles connexions devient très faible et laisse une possibilité certaine mais étroite de nouveaux apprentissages. On se rend alors compte que l'on devrait, par exemple, apprendre les langues *avant* douze ans et non *après*, comme cela est l'usage malheureux.

Cela me semble montrer qu'un certain nombre de données biologiques incontestables devraient être prises en considération pour l'établissement d'une pédagogie appropriée.

Retour au fils : la complexité

On nous objectera évidemment que l'adulte est encore capable d'apprendre et même, apparemment, d'apprendre beaucoup. Revenons donc sur la genèse de l'identité individuelle de l'adulte.

Très schématiquement, on peut se représenter le système nerveux central comme un immense réseau dans lequel l'environnement sculpte, par sélection appropriée, une image. Ce réseau est absolument gigantesque : dix milliards de neurones, chacun recevant une moyenne de dix mille afférences et formant dix mille contacts. C'est une espèce de filet à dix milliards de nœuds, reliés chacun à dix mille autres. Dans cet immense filet, l'environnement donne des coups de ciseaux. Il se réalise, pendant l'enfance, une sculpture, résultat de l'apprentissage (essentiellement retenu comme l'acquisition, *passive*, de propriétés associatives stables et qui constitue l'identité psychologique individuelle). En suivant la structure du milieu extérieur, si celui-ci a une structure, cette sculpture reflètera plus ou moins les particularités de l'environnement et la nature du programme neuronique individuel.

Lors du déroulement de la croissance individuelle, à chaque fois qu'une connexion est détruite par dégénérescence, le programme ontogénétique supplée à cette perte par une pos-

sibilité de formation de connexions nouvelles et le réseau évolue sans arrêt entre une formation ontogénétique et une **sélection** épigénétique. Avec les valeurs numériques indiquées, on se rend bien compte que le nombre de combinaisons possibles peut être considéré comme infiniment grand et que l'information qui peut être engrangée dans le système est pratiquement infinie. Les limites proviennent des possibilités d'accéder à l'intérieur du système nerveux. Les récepteurs visuels, auditifs, sensoriels en général, ne permettent qu'un flux assez lent d'informations. Les limites ne proviennent donc pas de la capacité du système à engranger de l'information mais de la façon dont cette information peut pénétrer. Là, à nouveau, l'organisation éventuelle de l'extérieur sera **cruciale**.

Lorsque le système parvient à l'état adulte, il est donc hautement organisé et c'est dans un système qui n'a plus rien de l'apparent foisonnement anarchique du premier âge que la croissance s'arrête. En fait, elle ne descend pas à zéro. Il reste, nous l'avons dit, une petite frange encore capable de fournir de nouvelles connexions. Or, ces nouvelles connexions relie des zones qui ont une structure très complexe, très organisée, possédant déjà des propriétés de réponses tout à fait spécialisées et très riches. Et c'est là qu'apparaissent les très grandes possibilités d'apprentissage de l'adulte.

Imaginons en effet deux structures identiques S_1 (on pourrait bien sûr considérer des structures différentes, mais l'image est particulièrement frappante avec des structures identiques) et comparons les situations suivantes. D'abord, les structures non connectées entre elles : l'ensemble se comporte comme la somme de ces structures, sans différence qualitative. Si on introduit alors des connexions appropriées, on produit une nouvelle structure S_2 qui peut avoir des propriétés totalement irréductibles à celles de la structure de départ. Dans le premier cas, la redondance apporte une certaine stabilité par rapport à l'existence d'une seule structure, dans le second il s'agit de la création d'un ordre de complexité différent. On peut en voir une analogie par exemple en électronique courante : une ou deux connexions astucieusement formées entre deux transistors ou deux circuits intégrés permet d'obtenir un amplificateur, par exemple, dont les propriétés qualitatives sont irréductibles à celles de la somme des composants non connectés de façon appropriée.

Les propriétés de l'apprentissage de l'adulte sont dues à

ce phénomène : le cerveau de l'adulte est déjà hautement organisé en structures très riches, et le fait d'établir des connexions entre celles-ci pourra suffire à chaque formation nouvelle à accroître qualitativement la complexité du système et par conséquent à devenir apte à des tâches infiniment plus compliquées. Cela repose cependant, bien entendu et de façon essentielle, sur la préorganisation acquise pendant l'enfance : les limitations de ce côté sont cruciales.

Notons que le processus d'élaboration de structures complexes par formation de liaisons appropriées entre des structures plus simples explique l'apparition d'une *orientation* dans l'évolution des systèmes suivants : les fils peuvent avoir des aptitudes *qualitatives* qui diffèrent de celles de leurs pères. Cependant, dans la mesure où rien ne permet de *prévoir* cette orientation, elle n'est que le résultat d'une sélection, parmi un grand nombre de liaisons en général sans effet, de celles qui ont effectivement accru les propriétés de complexité du nouveau système.

Remarques linguistiques

Pour conclure et faire la transition avec l'exposé suivant, qui relève de la poésie, nous allons considérer quelques aspects de la relation entre le langage et les systèmes décrits précédemment.

L'usage veut que l'on sépare syntaxe et sémantique et cette séparation formelle, qui révèle une structure sous-jacente de la langue, se relie bien aux notions que nous avons brièvement développées. Le programme neuronique, nous l'avons vu, est un cas particulier du programme génétique, qui permet la formation d'une identité individuelle par un développement épigénétique. On remarque un certain nombre de propriétés de ce programme et, entre autres, celle de l'existence de contraintes anatomiques ainsi que de contraintes de développement comme l'existence du temps critique. On sait que ce temps existe, après lequel l'apprentissage des structures linguistiques devient impossible. On sait aussi localiser un bon nombre des structures anatomiques liées au langage (acquisition et expression).

Et tout concourt à mettre l'accent sur l'importance fondamentale de l'inné dans le développement des structures syntaxiques. Ce n'est cependant que dans un domaine restreint,

celui de la phonologie, et plus particulièrement des relations entre les sons phonétiques et l'ouïe que les contraintes génétiques sont le mieux connues et répertoriées.

Actuellement, les écoles linguistiques dérivées des descriptions formelles de N. Chomsky insistent sur l'innéité des compétences syntaxiques et proposent, à un niveau formel, une famille de règles de transformations qui représentent de façon adéquate la genèse des phrases dans toutes les langues, du moins jusqu'à preuve du contraire. Le rôle de la sémantique était jusqu'à très récemment plus ou moins négligé. Il est encore possible, dans ce domaine, de trouver des règles transformationnelles et de conjecturer, par là, une importance primordiale de l'inné. Cependant, la sémantique est le reflet privilégié de l'histoire culturelle et de l'histoire individuelle, elle retrace donc la mémoire d'un apprentissage, celui du milieu extérieur qui concourt à la formation épigénétique de l'identité individuelle. Tout ici est *contexte*.

Suivant le niveau d'analyse, on peut trouver une langue, la plus pauvre et commune à tous dans un pays, par exemple; on peut, à un niveau un peu plus riche sémantiquement, reconnaître un dialecte; si l'on continue d'accroître le sens (et donc de restreindre son lieu d'application), on trouve des particularités d'expressions et d'intonations qui sont le fait d'une petite communauté, ensuite apparaît un langage familial, avec ses astuces et ses allusions, enfin apparaît le pur sens pour celui qui parle, individuel, incommunicable, qui pourra conduire, employé comme tel, à l'effort poétique, où l'incommunicable devient le terme d'échange.

Ainsi le poète pourra jouer sur le niveau purement sémantique de la langue comme l'un des matériaux de sa tentative pour rejoindre l'autre. La mise en relation de ces structures emboîtées que nous venons brièvement de rappeler permet, par le jeu automatique qui crée, nous l'avons vu, la complexité, de produire un tout qui dialogue, parfois, par chance, *qualitativement* supérieur (en complexité) à ses éléments. Ce qui faisait dire à Rimbaud : « Je est un Autre. »