

J.-P. BENZÉCRI

Système de la nature et flèche du temps

Les cahiers de l'analyse des données, tome 18, n° 1 (1993),
p. 97-118

<http://www.numdam.org/item?id=CAD_1993__18_1_97_0>

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1993, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

SYSTÈME DE LA NATURE ET FLÈCHE DU TEMPS

[FLÈCHE]

J.-P. BENZÉCRI

En 1988, la *Revue Internationale de Systémique* a publié un numéro spécial intitulé "Biologie et Systémique". Sous ce titre, les auteurs considèrent le rôle de méthodes mathématiques, notamment de l'analyse des données; et, plus particulièrement, de la classification automatique. Même s'il s'étonne de retrouver "la même topologie des branchements dans les graphes avec des métriques aussi différentes que des distances euclidiennes et des dénombrements d'événements", un naturaliste marque sa préférence pour les "graphes de longueur minimale", essentiellement parce que, sur ceux-ci, les divergences au niveau d'un nœud peuvent s'interpréter comme des innovations survenant dans la transmission d'un patrimoine génétique.

Ainsi, une thèse statistique est fondée sur une conception d'ensemble de ce que, traduisant le titre de l'ouvrage monumental de LINNÉ, on peut appeler "le Système de la Nature". Même si le statisticien n'a, en cette matière, que des connaissances extérieures, c'est sur ces connaissances qu'il doit, à son tour, se fonder pour distinguer, dans les hypothèses implicites du naturaliste, ce que l'on peut admettre de ce qui n'est aucunement prouvé, voire absurde. Voilà donc ce que nous tenterons de faire ci-après, avant de rappeler pourquoi, en général, notre préférence va aux représentations euclidiennes plutôt qu'à l'arbre de longueur minima qui n'offre, en l'espèce, qu'une présentation des résultats de l'agrégation suivant le saut minimum.

1 Les thèses du néo-darwinisme

On enseigne aujourd'hui communément sous le nom de darwinisme, ou plus loyalement de néo-darwinisme, une théorie qui, avec les vues originales de DARWIN sur le rôle de la sélection dans l'apparition d'espèces nouvelles, agglomère, d'une part, des conceptions globales reçues par DARWIN de certains de ses prédécesseurs, principalement de LAMARCK; et, d'autre part, la notion de caractère génétique, découverte par MENDEL avec des lois de l'hérédité, et

progressivement attachée à un support matériel, du fait des progrès de la cytologie puis de la biologie moléculaire.

On doit caractériser cette théorie à la fois par ce qu'elle affirme et par ce qu'elle nie. Les affirmations d'abord.

La totalité des êtres vivants contemporains est répartie en espèces; une espèce comprend un ensemble d'individus, non identiques entre eux, mais se partageant un patrimoine de caractères dont chacun peut revêtir un nombre fini de formes, ou allèles. Des modifications accidentelles peuvent introduire de nouveaux allèles. Ordinairement, l'innovation est létale; mais, parfois, elle donne à l'individu qui la porte un avantage tel (au sein du milieu où il vit) que, par voie de reproduction sexuée, l'innovation se fixe dans une partie de l'espèce. Éventuellement cette sélection par le milieu accumule un si grand nombre d'innovations ponctuelles qu'il en résulte proprement une espèce nouvelle, dont les individus ne sont plus susceptibles de s'associer, dans la reproduction sexuée, avec des individus de l'espèce-souche (à supposer que celle-ci ne soit pas totalement éteinte; mais subsiste, par exemple dans un milieu où les innovations n'ont pas trouvé leur place).

La répartition des vivants en espèces se trouve ainsi étendue de l'espace à l'espace-temps; plus précisément, d'une coupe synchronique - ou ensemble des vivants à une date donnée; à l'ensemble de tous les vivants ayant existé en tout temps et en tout lieu (disons: sur la terre; afin de ne point mettre en question une distribution cosmique de la vie). L'ensemble des espèces passées ou présentes aurait donc une structure arborescente divergente; i.e., en termes précis, chaque espèce, vivante ou éteinte, serait issue d'une espèce unique, bien déterminée (du fait de la différenciation sélective marquée par un ensemble de mutations).

Il est bien connu que ce schéma n'est pas rigoureusement exact: notamment parce qu'il existe des enchaînements de populations consécutives interfécondes avec, aux extrémités de la chaîne, des populations trop différentes pour se reproduire entre elles. Mais on accepte le schéma, comme si, pour le rendre absolument conforme à la réalité, il suffisait de retouches qui compliqueraient l'édifice sans rien y apporter d'essentiellement nouveau. Or, si l'on prétend, audacieusement, remonter aux origines de la vie, sans admettre d'autres causes qu'une certaine physique de la matière, on aboutit à un protoplasme originel qui n'est certes pas découpé en individus vivants, et, encore moins, distribué en espèces distinctes. Ce qui laisse dans le vague les origines de la spéciation. En taxinomie des formes contemporaines elles-mêmes, la taxinomie des virus n'a pas de principes sûrs, l'échange d'information génétique au sein d'une population virale étant problématique.

Malgré ces réserves, plus ou moins acceptées, le néo-darwinisme est monogénétiste; au moins dans la mesure où il raisonne comme si le graphe des espèces avait une souche unique. Certes, rien de solide n'est proposé pour une

phylogénie globale renfermant insectes, mollusques, vertébrés...; mais pour les vertébrés, qui sont, entre les êtres vivants, ceux dont la diversité est le mieux présente à l'esprit de tous, on pose une généalogie globale assez précise, où l'homme lui-même doit trouver sa place. En particulier, dans le terme de "reptile mammalien", on postule que les mammifères ont en commun, avec les reptiles contemporains, des ancêtres qui étaient eux-mêmes déjà des reptiles; ce qui, pour l'embryologie, est exclu, du fait des particularités de la genèse du système circulatoire propre à chaque classe. On lit, en effet dans un traité classique (G. VANDEBROEK, p.108; Masson éd; 1969) décrivant la formation du système circulatoire dissymétrique de l'adulte à partir du système symétrique, primitif, qui est celui de l'embryon:

"Le quatrième arc aortique gauche des mammifères contient du sang artériel. Il est beaucoup plus large que le droit, qui ne donne plus que l'artère sous-clavière. ...chez le reptile c'est au contraire l'arc droit qui se développe, tandis que le gauche est veineux et s'atrophie. La spécialisation du système aortique a suivi des voies différentes dans ces deux groupes".

Donc, si l'on veut comprendre reptiles et mammifères actuels dans une arborescence unique, il faut postuler deux branches dont l'ancêtre commun le plus proche a un système circulatoire non reptilien (ni mammalien); et, par conséquent, les fossiles (d'ailleurs réduits à des dents), qualifiés de reptiles mammaliens, ou bien n'ont pas de mammifères pour descendants; ou bien ne sont pas dans celle des deux branches qui porte les reptiles actuels.

Semblablement, ceux qui cherchent, dans l'arborescence générale, une branche où l'homme se place avec tout ou partie des singes, sont ordinairement conduits à en placer la souche au niveau de mammifères peu différenciés tels que les lémuriens.

Hostile au polygénétisme (quant aux rapports de filiation entre espèces), le néo-darwinisme refuse également l'hérédité des caractères acquis. Opposition cruciale, qu'on ne peut apprécier sans mettre en cause, à la fois, l'histoire des idées et les dernières innovations de la biologie. Nous partirons de LAMARCK.

2 LAMARCK et DARWIN

Les plus grandes pensées, les plus générales, ne laissent pas de naître dans des circonstances particulières. Déjà illustre par sa *Flore française* (1778), reçu à l'Académie des Sciences en 1779, LAMARCK fut, en 1794, appelé comme professeur au Muséum à la chaire des animaux sans vertèbres. Assurément le futur auteur de la "Philosophie zoologique" ne se vit pas, sans dépit, mis au rang des animaux inférieurs. Nous ne croyons pas nous tromper en interprétant ainsi ces notes qui nous ont été conservées d'un cours (cf. Inédits, pp. 10-11 sqq):

“Mes collègues, les citoyens Geoffroid et Lacépède, vous feront l'exposition des animaux [pourvus d'une colonne vertébrale], et vous connaissez aussi bien que moi tout l'intérêt qu'inspirent leurs observations et leurs préceptes. Me renfermant dans mon objet, je vais parcourir avec vous la deuxième branche du règne animal, c'est-à-dire celle qui comprend tous les animaux sans vertèbres...”

Un autre aurait voulu un souple fil d'Ariane pour ce parcours, inventoriant tant de formes hétéroclites: LAMARCK choisit d'ordonner celles-ci, tout droit, suivant une échelle de valeur. Ainsi, le règne animal devenait une école, l'école de la vie, dont les classes étaient comprises dans le cours d'un progrès indéfini.

“Qu'on ne s'étonne donc pas si des animaux aussi nombreux et aussi variés que ceux que nous considérons maintenant, n'offrent point, comme les animaux vertébrés, un système commun unique d'organisation. En effet, si l'organisation des animaux a été progressivement composée, depuis le plus simple et le plus imparfait des animaux jusqu'aux plus parfaits, l'immense série des animaux sans vertèbre doit nécessairement présenter dans l'organisation, des plans souvent changés, plus compliqués les uns que les autres, et par conséquent différents systèmes non seulement distingués par les nouveaux organes que la nature a formés successivement à mesure qu'ils devenaient nécessaires, mais en outre par des modifications appropriées à tous les cas, c'est-à-dire aux circonstances d'habitation, de manière de vivre etc. qu'elle a été obligée de faire éprouver à ces organes spéciaux” (Inédits, p.21).

“Premièrement, ...l'emploi soutenu d'un organe concourt à son développement, le fortifie l'agrandit même; tandis qu'un défaut d'emploi, devenu habituel à l'égard d'un organe, nuit à ses développements, le détériore, le réduit graduellement, et finit par le faire disparaître, si ce défaut d'emploi subsiste, pendant une longue durée, dans tous les individus qui se succèdent par la génération...”

“Secondement, en réfléchissant sur le pouvoir du mouvement des fluides dans les parties très souples qui les contiennent, je fus bientôt convaincu qu'à mesure que les fluides d'un corps organisé reçoivent de l'accélération dans leurs mouvements, ces fluides modifient le tissu cellulaire dans lequel ils se meuvent, s'y ouvrent des passages, y forment des canaux divers, enfin y créent des organes, selon l'état de l'organisation dans laquelle ils se trouvent” (Philosophie zoologique, p.29).

Tels sont, énoncés par lui-même avec concision, les principes de LAMARCK.

Petit-fils d'un médecin émule de Lucrèce en poésie (cf., infra, §9), Charles DARWIN, doutant encore de sa vocation, participe comme naturaliste à une expédition navale dont la mission principale est de faire des relevés dans l'Atlantique Sud et le Pacifique. Entre LAMARCK et DARWIN, est passé CUVIER: les formes fossiles dûment décrites et classées montrent, du règne des vivants, la dimension temporelle. Au cours de ses observations, DARWIN subit par

des similitudes entre faunes reliques isolées et faunes éteintes; tout en conservant, après LAMARCK, l'hérédité de l'acquis, comme voie du progrès des espèces, il y ajoute la sélection dont la lutte pour la vie fixe la règle impitoyable.

Dans l'élevage des animaux par les hommes, apprentissage et sélection ne sont-ils pas des instruments aussi anciens que la domestication même?

Aujourd'hui la sélection des caractères introduits par mutation, peut s'observer jusque dans les détails du code génétique: mais cela ne démontre aucunement que ce mécanisme suffise à engendrer suivant une arborescence unique le règne des vivants.

Quant à l'hérédité des caractères acquis, méprisée présentement par la postérité de DARWIN, elle est entrée, également, depuis peu, dans la pratique du laboratoire. Des caractères sont communiqués non seulement à des bactéries ou des cellules en culture, mais à des animaux supérieurs, chez qui ils deviennent héréditaires. Dans la nature, des caractères pourraient, transportés par des virus, se propager entre des espèces, même très éloignées. Phénomène exceptionnel, mais qu'on peut croire indispensable au modelage d'espèces qui apparaîtraient ainsi en travers de l'arborescence postulée par le néodarwinisme.

Certes l'hérédité de caractères acquis n'est pas l'hérédité de comportements acquis. Pour celle-ci, il faudrait, en l'état des connaissances génétiques actuelles, un codage moléculaire des programmes des comportements (codage qui est celui des gènes; formellement analogue à un codage alphabétique ou numérique). Pour l'heure, on spéculé volontiers sur un codage des comportements par des circuits, ou réseaux neuronaux; la chimie du système nerveux supérieur serait confinée dans l'interaction de récepteurs avec des médiateurs, n'ayant pas la spécificité des instructions d'un programme, encore qu'assez nombreux et divers. Mais est-il vraisemblable que la technologie du traitement de l'information mise au service de l'intelligence des vertébrés distingués que nous sommes, soit inférieure à celle qui, dans le génome, régit la forme d'une limace?

3 Mutations et innovation

Sir Ronald FISHER est l'un des plus grands savants qui aient contribué à la statistique; et, vraisemblablement, celui dont l'œuvre occupe le premier rang dans la production du deuxième quart du XX-ème siècle. Cependant, associé à la pratique expérimentale, notamment en agronomie, FISHER fut, un temps, professeur de génétique à Cambridge, tandis qu'il n'occupa jamais de chaire de statistique. Ses recherches sur la sélection naturelle nous intéressent particulièrement parce qu'elles nous paraissent assigner des limites au potentiel d'innovation que manifestent les mutations. Nous voulons donc suivre FISHER dans ses spéculations sur l'"évolution de la dominance".

Chez les eucaryotes, le matériel génétique est renfermé dans des chromosomes qui vont par paires. En règle générale, chez chaque individu, un caractère se trouve ainsi représenté deux fois soit par le même gène, (le sujet est dit alors homozygote), soit par deux allèles distincts (sujet hétérozygote). Par exemple, avec deux allèles seulement, A et B, il y a trois combinaisons possibles {A,A} {A,B} {B,B}. De plus, On dit que A domine B, (ou: que A est dominant et B, récessif,) si, quant au caractère considéré, l'apparence (phénotype) de l'hétérozygote {A,B} est la même que celle de l'homozygote {A,A}; (peut exister également une dominance incomplète, si le phénotype de {A,B} est proche de celui de {A,A}). Ces notions ont pu être découvertes bien avant que la biologie moléculaire n'eût accédé à l'observation quasi directe des gènes, parce que, en l'absence de dominance, la postérité de deux parents homozygotes, {A,A} et {B,B}, doit présenter les trois types distincts {A,A} {A,B} {B,B}, avec les fréquences respectives {1, 2, 1}; tandis que si A domine B, il n'y a que deux phénotypes dont les schémas génétiques peuvent être notés: {{A,A}/{A,B}}, {B,B}, avec les fréquences 3 et 1 (sauf si une fragilité particulière, associée à certaine combinaison, réduit la fréquence de celle-ci).

FISHER note d'abord que chez la drosophile (insecte qui a été le matériel de choix de recherches en génétique; notamment de celles du grand MORGAN), les mutations sont en grande majorité létales (i.e. non compatibles avec la vie de l'homozygote); presque toutes complètement récessives (sans effet visible chez l'hétérozygote); une minorité seulement ayant des effets visibles (chez l'hétérozygote viable). Compilant les données relatives à *Drosophila melanogaster*, publiées par MORGAN et coll. (1925), FISHER trouve 221 mutations, dont 208 récessives et seulement 13 dominantes (encore qu'avec une dominance incomplète; l'hétérozygote étant plus ou moins proche du mutant homozygote, mais distinct de celui-ci). De plus, il apparaît que dans les cas où, à côté du gène W, dit 'Wild', propre à l'espèce dans son état naturel, existent plusieurs allèles mutants, μ , μ' , μ'' ..., W domine tous les μ , tandis qu'il n'y a pas entre ceux-ci de relation de dominance. FISHER en conclut que cette règle, de la dominance de W sur tous ses concurrents μ , ne peut s'expliquer que par une dominance acquise au cours de l'évolution. En bref le système des gènes W aurait été sélectionné pour sa cohérence qui entre les différents caractères assure des compensations aux mutations éventuelles.

Tout en attribuant un rôle majeur à un mécanisme darwinien de sélection et en annonçant le néo-darwinisme parce qu'il incorpore des notions génétiques issues de MENDEL, FISHER montre ici le peu que les mutations semblent offrir de potentialités à une espèce. Si les mutations (plus précisément celles qui ne sont pas létales même à l'état hétérozygote) ont été si bien expérimentées par l'espèce que, par sélection, au cours du temps, celle-ci est parvenue à les rendre relativement inopérantes, comment se pourrait-il qu'une mutation (ou même une suite de mutations) fit naître une espèce nouvelle?

FISHER va encore plus loin, quand, ayant remarqué que les mutations qui affectent les diverses espèces du genre *Drosophila* sont fréquemment homologues, il conjecture que des mutations (ou plus généralement des séries d'allèles) peuvent rester inhérentes aux diverses espèces d'une grande division taxinomique: un ordre, voire une classe.

L'innovation proprement dite, aurait donc pour cause l'importation de caractères, ou quelque autre source d'information qui remodèle l'espèce. Par exemple, une dérive dans la prédominance des allèles; dérive due à la sélection exercée par le milieu (et, plus précisément, le rôle de l'espèce dans la niche écologique) sur un génome où la combinatoire des allèles ne serait peut-être pas modifiée dans son inventaire mais seulement rééquilibrée par un programme d'expression nouveau. (L'embryologie causale a en effet établi que les cétacés, mammifères totalement inféodés à la vie aquatique, conservent dans leur génome le programme de création de membres bien développés; et l'exemple des animaux qui muent montre encore plus clairement la grande diversité d'expression potentielle que possède un génome unique).

Mais si naissent ainsi des espèces, on doit alors, plutôt que de progrès divergeant vers l'avenir, de "flèche du temps", parler, à propos des mutations, d'un parcours erratique, au gré des occasions qu'offre le milieu.

4 Les révolutions du globe

Du parcours global de l'histoire de la vie, l'intuition de CUVIER, qui s'accommode du progrès de la science comme un beau vase est propre à verser toutes les liqueurs, offre un dessin dont les traits se succèdent sans se raccorder.

Évoquant le déluge dont font mémoire, avec la Bible, les annales de plusieurs peuples, CUVIER propose d'emblée, dans ses "Recherches sur les ossements fossiles...", une théorie de l'histoire du globe scandée par une succession de catastrophes.

"Tout s'accorde ... chaque jour d'avantage pour démontrer la vérité d'une grande catastrophe qui a changé la face des continents, détruit des races vivantes, transporté à de grandes distances les faibles restes de celles qu'elle a épargnées, et pour nous faire suivre les traces de plusieurs catastrophes de même genre qui avaient précédé celle-là." (*fossiles*, Avertissement, p.3).

"Je présenterai ... l'ensemble des résultats auxquels il me paraît que la théorie de la terre est arrivée jusqu'à présent. Je montrerai quels rapports lient à ces résultats l'histoire des os d'animaux terrestres ... Je développerai les principes sur lesquels repose l'art de déterminer ces os, en d'autres termes, de reconnaître un genre, et de distinguer une espèce par un seul fragment d'os; art de la certitude duquel dépend celle de tout l'ouvrage." (*fossiles*, Discours préliminaire, iii).

Art, faut-il ajouter, qui fait la gloire de CUVIER; et qui, parce qu'il rend une sorte de vie aux espèces éteintes, est heureusement évoqué par ces vers de DELILLE que l'auteur a placé en exergue à son ouvrage:

*Triomphante des eaux, du trépas et du temps,
La Terre a cru revoir ses premiers habitants.*

Vivant au lendemain des guerres de la Révolution et de l'Empire, CUVIER est assuré que sa comparaison sera comprise quand il écrit:

“Lorsque le voyageur parcourt ces plaines fécondes ... dont le sol ... n'est jamais troublé que par les ravages de la guerre ou de l'oppression des hommes puissants, ... il n'est pas tenté de croire que la nature ait eu aussi ses guerres intestines; et que la surface du globe ait été bouleversée par des révolutions successives et des catastrophes diverses; mais ses idées changent dès qu'il cherche à creuser ce sol aujourd'hui si paisible...” (*ibid.* p.iv).

“Examinons ... ce qui se passe aujourd'hui à la surface du globe ... l'on a cru longtemps pouvoir expliquer, par ces causes naturelles, les révolutions antérieures ... Mais ... le fil des opérations est rompu; la marche de la nature est changée; et aucun des agents qu'elle emploie aujourd'hui ne lui aurait suffi pour produire ces anciens ouvrages.” (*ibid.* p.xiii).

“C'est en vain que l'on cherche, dans les forces qui agissent maintenant à la surface de la terre, des causes suffisantes pour produire les révolutions et les catastrophes dont son enveloppe nous montre les traces; et si l'on veut recourir aux forces extérieures connues jusqu'à présent, l'on n'y trouve pas plus de ressource. ... Le même raisonnement s'applique à toutes les actions lentes que l'on a imaginées, sans doute dans l'espoir qu'on ne pourrait en nier l'existence, ... Vraies ou non, peu importe, elles n'expliquent rien, puisque aucune cause lente ne peut avoir produit des effets subits; ... ce n'est rien de tout cela qui a renversé nos couches, qui a revêtu de glaces de grands quadrupèdes avec leur chair et leur peau, qui a mis à sec des coquillages encore aussi bien conservés que si on les eût pêchés vivants, qui a détruit enfin des espèces et des genres entiers.” (*ibid.* pp.xviii-xix).

“Le développement des êtres organisés est plus ou moins prompt et plus ou moins étendu, selon que les circonstances lui sont plus ou moins favorables. ... ; de là vient que la similitude des descendants avec leurs parents ne peut jamais être parfaite.

“Les différences de ce genre, entre les êtres organisés, sont ce qu'on appelle des variétés.

“On n'a aucune preuve que toutes les différences, qui distinguent aujourd'hui les êtres, soient de nature à être ainsi produites par les circonstances. Tout ce que l'on a pu dire sur ce sujet est hypothétique; l'expérience paraît montrer au contraire que, dans l'état actuel du globe, les variétés sont renfermées dans des limites assez

étroites, et aussi loin que nous pouvons remonter dans l'antiquité, nous voyons que ces limites étaient les mêmes qu'aujourd'hui" (*règne*, Introduction p.19).

"Des formes fixes, et qui se perpétuent par la génération, distinguent leurs espèces, déterminent la complication des fonctions secondaires propres à chacune d'entre elles, et leur assignent le rôle qu'elles doivent jouer dans l'ensemble de l'univers. Ces formes ne se produisent ni ne se changent elles-mêmes; la vie suppose leur existence; elle ne peut s'allumer que dans des organisations toutes préparées; et les méditations les plus profondes, comme les observations les plus délicates, n'aboutissent qu'au mystère de la préexistence des germes." (*ibid*, p.20).

Si nous avons longuement cité CUVIER, c'est d'abord parce que nous croyons juste de faire entendre la voix d'un savant éloquent, dont les œuvres sont aujourd'hui renfermées dans les réserves des bibliothèques; c'est ensuite parce que, comme nous l'annonçons d'abord, sa pensée nous paraît valoir toujours, mais ne peut être loyalement sollicitée dans notre temps, sans avoir été retrouvée dans le sien.

De CUVIER, nous retenons qu'il y a deux sortes de variations: d'une part, celles, d'amplitude modérée, que l'on conjecturait en son temps et que l'on décrit dans le nôtre, mais dont on voit, notamment d'après FISHER, qu'elles ne "suffisent pas"...; et, d'autre part, de grands remaniements, de véritables innovations, que l'on peut tout au plus conjecturer sous le programme du néolamarckisme; et qui, sans doute, ne se sont imposées qu'à la faveur de "cataclismes"; lesquels, dans des niches écologiques insolites, ont donné, au kaléidoscope des formes nouvelles, la victoire sur la faune établie.

5 Germination ou génération spontanée

Des mêmes faits, on a pu tirer argument pour des conceptions philosophiques opposées. Au XVIII-ème siècle, les fossiles de coquillages trouvés au haut des montagnes sont regardés comme des preuves d'une submersion de celles-ci; et donc comme un témoin du déluge dont le récit, dans la Bible, occupe les chapitres VI et VII de la Genèse. Corrélativement, VOLTAIRE se moque de ces fossiles, qu'il dit n'être que le vestige du repas d'un voyageur. Pour BUFFON toutefois, "...il paraît certain que la terre, actuellement sèche et habitée, a été autrefois sous les eaux de la mer..."; et il croit qu'on trouve jusque sur les montagnes, à une très grande hauteur, "des productions marines et des coquilles qui, comparées avec les coquillages vivants, sont les mêmes, et qu'on ne peut douter de leur parfaite ressemblance ni de l'identité de leurs espèces"; identité que, depuis CUVIER, la paléontologie n'accepte assurément pas dans tous les cas.

Aujourd'hui, le matérialisme a adopté les fossiles. Nous verrons qu'il a fait de même pour l'absence de générations spontanées.

Le 7 Avril 1864, PASTEUR traite “Des générations spontanées” dans une soirée scientifique de la Sorbonne. Par respect pour les nuances de sa pensée, nous reproduisons *in extenso* l'exorde de sa conférence :

“De bien grands problèmes s'agitent aujourd'hui et tiennent tous les esprits en éveil : unité ou multiplicité des races humaines ; création de l'homme depuis quelque mille ans ou depuis quelque mille siècles ; fixité des espèces ou transformation lente et progressive des espèces les unes dans les autres ; la matière réputée éternelle, en dehors d'elle le néans ; l'idée de Dieu inutile : voilà quelques-unes des questions livrées aujourd'hui aux disputes des hommes.

“Ne craignez pas que je vienne ici avec la prétention de résoudre l'un quelconque de ces graves sujets ; mais à côté, dans le voisinage de ces mystères, il y a une question qui leur est directement ou indirectement associée, et dont je puis oser peut-être vous entretenir, parce qu'elle est accessible à l'expérience, et qu'à ce point de vue j'en ai fait l'objet d'études sévères et consciencieuses.

“C'est la question des générations dites spontanées.

“La matière peut-elle s'organiser d'elle-même ? En d'autres termes, des êtres peuvent-ils venir au monde sans parents, sans aïeux ? Voilà la question à résoudre.

“Il faut bien le dire, la croyance aux générations spontanées a été une croyance de tous les âges ; universellement acceptée dans l'antiquité, plus discutée dans les temps modernes, et surtout de nos jours. C'est cette croyance que je viens combattre”.

Il est bien connu que PASTEUR est spiritualiste ; (au sens que son siècle donne à ce terme). Convaincu que les matérialistes s'égarent dans leur vision de la fécondité de la matière, il ne se fait pas faute de se moquer d'eux tout en exposant, en savant “conscientieux et sévère” les résultats de ses propres expériences.

D'abord, parmi d'autres merveilles publiées par Van HELMONT, célèbre médecin alchimiste du XVII^{ème} siècle, PASTEUR trouve cette recette :

“Si l'on comprime une chemise sale dans l'orifice d'un [vase] contenant des grains de froment, le ferment sorti de la chemise sale, modifié par l'odeur du grain, donne lieu à la transmutation du froment en souris après vingt et un jours environ.”

Et de ce que Van HELMONT prétend avoir, lui-même, opéré ainsi avec succès, PASTEUR conclut “qu'il est aisé de faire des expériences, mais très malaisé d'en faire d'irréprochables”.

Puis, notant qu'ayant “suivi le développement de toutes les idées fausses”, la doctrine de la génération spontanée a “été s'amoindrisant et se circonscrivant sans cesse” mais prétend avoir trouvé son domaine dans le monde microscopique, PASTEUR cite MICHELET qui voit naître d'une goutte d'eau “la monade primitive,

qui, s'agitant et vibrant, se fait bientôt vibron; qui, montant de rang en rang, polype corail ou perle, arrivera peut-être en dix mille ans à la dignité d'insecte?" Et PASTEUR résume: "Ainsi... la doctrine de la génération spontanée est-elle admise, et l'histoire de la création et de l'origine du monde n'est pas plus difficile que cela".

Or un naturaliste contemporain, dont MICHELET évoque avec emphase le témoignage, est venu déclarer à l'Académie des Sciences avoir réussi à instituer des expériences démontrant péremptoirement l'existence d'êtres microscopiques venus au monde sans germes, par conséquent sans parents semblables à eux. Voici comment s'exprime cet auteur: "L'air atmosphérique ne peut être et n'est pas le véhicule des germes des proto-organismes. J'ai pensé que ce serait ne laisser aucune prise à la critique, si je parvenais à déterminer l'évolution de quelque être organisé en substituant de l'air artificiel à celui de l'atmosphère."

À de telles prétentions PASTEUR répond par ses propres expériences; dont nous ne tenterons pas de rendre compte, car la rigueur ne se laisse pas résumer. Et il paraphrase MICHELET:

"J'ai pris dans l'immensité de la création ma goutte d'eau,... Et j'attends et j'observe et je l'interroge et je lui demande de bien vouloir recommencer pour moi la primitive création: ce serait un si beau spectacle! Mais elle est muette! ...Ah! c'est que j'ai éloigné d'elle,... la seule chose qu'il n'ait pas été donné à l'homme de produire, j'ai éloigné d'elle les germes qui flottent dans l'air, j'ai éloigné d'elle la vie, car la vie c'est le germe et le germe c'est la vie..."

"Non, il n'y a aucune circonstance aujourd'hui connue dans laquelle on puisse affirmer que des êtres microscopiques sont venus au monde sans germes, sans parents semblables à eux..."

De nos jours, le néodarwinisme ne met pas en doute les affirmations de PASTEUR; bien au contraire, de la filiation divergente des espèces il fait un principe universel; et il prétend que le jeu exclusif des mutations et de la sélection suffit à faire sortir tous les vivants d'une goutte d'eau. Mais nous avons déjà dit que, d'une part, ce schéma laisse dans le vague le passage de la "monade primitive" à la vie présente, génétiquement encapsulée; et que, d'autre part, mutation et sélection n'offrent pas un potentiel d'innovation suffisant pour tout engendrer à partir de la goutte d'eau.

6 L'ensemencement de la création

Il nous paraît que tout dépend de ce que l'on entend par germe. N'y a-t-il de germe que venant d'un parent? ou les germes sont-ils partout répandus? Pour le mathématicien, et sans doute aussi pour le généticien, le germe c'est la forme, ou, dit-on, l'information. Mais ici encore, une question se pose: le germe doit-il être un message codé? ou suffit-il que la forme existe en puissance; c'est-à-dire comme une possibilité, conditionnée par la réalisation, l'actualisation d'une suite d'étapes préalables?

Puisque "la croyance aux générations spontanées a été... universellement acceptée dans l'antiquité" on s'interrogera sur le sens qu'on lui pouvait donner en ces temps-là. Le témoignage de Saint AUGUSTIN (354-430) montre déjà présentes, dans de pures spéculations de la raison, des modèles qu'on mit seulement bien plus tard à l'épreuve de l'expérience, jusqu'à parvenir à l'observation d'une partie de ce qui avait été postulé...

Les prodiges que (dans le livre de l'Exode) la Bible met au compte des mages égyptiens, sont l'occasion d'une longue digression sur les formes de la nature.

(Sancti AUGUSTINI, *de Trinitate*, L.III, P.L. Vol.42, coll. 875 sqq)

Omnium quippe rerum quæ corporaliter visibiliterque nascuntur, occulta quædam semina in istis corporeis mundi huius elementis latent. Alia sunt enim hæc jam conspicua oculis nostris ex fructibus et animantibus, alia vero illa occulta istorum seminum semina, unde jubente Creatore produxit aqua prima natalitia et volatilia, terra autem prima sui generis germina, et prima sui generis animalia (Gen.I, 20-25).

"De toutes les choses qui naissent sous une forme corporelle accessible à la vue, quelque semence se cache dans les éléments de ce monde. Il y a, pour des fruits et animaux, certaines semences apparentes à nos yeux; et il y a, de ces semences elles-mêmes, des semences cachées; desquelles, au commandement du Créateur, l'Eau produisit les premiers êtres qui nagent ou volent; et la Terre, les premiers germes de tel [végétal], les premiers animaux de telle espèce."

Ici, nous glosons, vers l'infiniment petit: graines; grain de pollen; chromosome; molécule d'acide nucléique...; mais c'est pour aboutir, finalement, à ce que CUVIER a appelé: "mystère de la préexistence des germes".

Ecce enim brevissimus surculus semen est; nam convenienter mandatus terræ arborem facit. Hujus autem surculi subtilius semen aliquod ejusdem generis granum est, et hucusque nobis visibile. Jam vero hujus etiam grani semen quamvis oculis videre nequeamus, ratione tamen conjicere possumus: quia nisi talis aliqua vis esset in istis elementis, non plerumque nascerentur ex terra quæ ibi seminata non essent; nec animalia tam multa, nulla marium feminarumque commixtione præcedente,...

"Le plus court des rejets est un germe; car convenablement confié à la terre, il fait un arbre. De ce rejeton, une graine de son espèce est aussi un germe, plus délié; et jusque là, nous voyons. Mais de cette graine, nous pouvons encore, par la raison, conjecturer un germe: car si une telle vertu ne résidait dans les éléments, ne naîtraient point de la terre tant de plantes qui n'y ont pas été semées; il n'y aurait pas tant d'animaux [venus] sans copulation préalable de mâle et femelle..."

...etiam hoc est videre quam multi homines noverunt, ex quibus herbis, aut carnibus, aut quarumcumque rerum quibuslibet succis aut humoribus, vel ita positis, vel ita obrutis, vel ita contritis, vel ita commixtis, quæ animalia nasci soleant: quorum se quis tam demens audeat dicere creatorem?

“Considérons encore que bien des hommes savent, que de telles plantes, de telles chairs, ou sèves et fluides de toute sorte, adéquatement disposés, confits, broyés, mêlés, naissent ordinairement tels animaux: dont serait bien fou quiconque oserait se dire le créateur.”

De ces recettes, dont Van HELMONT perpétuait la tradition, le docteur berbère, ne s'attarde pas à minimiser le succès: il lui suffit d'affirmer qu'il n'y a pas là acte de création; car il en a déjà proposé une explication naturelle en terme de germes; explication compatible avec celle que donnera PASTEUR pour les micro-organismes; mais renfermée dans les conjectures de la pensée, et non engagée dans l'expérimentation. Jusqu'où va cette pensée, un autre passage l'atteste.

Et ratio quidem pergit in ampliora, sed phantasia non sequitur. Quippe cum infinitatem quoque numeri ratio renuntiet, quam nulla visio corporalia cogitantis apprehendit. Eadem ratio docet minutissima etiam corpuscula infinite dividi; cum tamen ad eas tenuitates vel minutias perventum fuerit, quas visas meminimus, exiliores minutioresque phantasias jam non possumus intueri, quamvis ratio non desinat persequi ac dividere. Ita nulla corporalia, nisi aut ea quæ meminimus, aut ex iis quæ meminimus, cogitamus. (ibid. L.XI, coll.997-8).

“Et la raison va au-delà, mais l'imagination ne la suit pas. La raison peut considérer dans le nombre l'infinitude, qu'aucune vision des corps en pensée, n'atteint. C'est encore la raison qui enseigne que les plus petites particules peuvent être divisées à l'infini; et cependant, quand nous sommes parvenus au plus ténu, au plus menu que nous nous souvenions d'avoir vu, nous ne pouvons voir d'images encore plus déliées, encore plus fines, bien que la raison ne cesse de subdiviser. Ainsi ne pensons-nous rien de corporel, si ce n'est ce [même] dont nous nous souvenons, ou en partant de ce dont nous nous souvenons”.

Et pour nous confirmer qu'il entend “infini” au sens le plus fort, nous citerons cette remarque:

Dicimus enim innumerabilia, non solum infinita, sed etiam quæ ita finita sunt, ut facultatem numerantis excedant. (ibid. col.994).

“Nous disons ‘innombrables’, non seulement pour ‘infinis’, mais pour ‘finis’ [en nombre], mais dépassant la capacité de celui qui compte.”

Dans un tel modèle rationnel, poursuivi au-delà des limites du visible, on croirait parfois reconnaître une physique autonome et close, si AUGUSTIN ne

proclamait sa conviction dans la supériorité absolue de la vie sur les agents physiques les plus éclatants quand il dit:

...si... a me quærerent num etiam muscæ animam huic luci præstare censerem, responderem: Etiam; nec me terreret quod musca parva est, sed quod viva firmaret. Quæritur enim quid illa membra tam exigua vegetet, quid huc atque illuc pro naturali appetitu tantillum corpusculum ducat, quid currentis pedes in numerum moveat, quid volantis pennulas moderetur ac vibret. Quod qualecumque est, bene considerantibus, in tam parvo tam magnum eminet, ut cuivis fulgori perstringenti oculos præferatur. (Sancti AUGUSTINI, de duabus animabus contra Manichæos; P.L. Vol.42 col. 96).

“Et si l'on me demandait si je mets l'âme même d'une mouche au dessus de la lumière visible, je répondrais “Oui”. Que la mouche soit petite ne me ferait pas douter, mais qu'elle soit vivante me donnerait toute assurance. On se demande ce qui donne énergie à des membres si ténus; ce qui conduit de-ci, de-là, au gré de l'appétit de la nature, un si petit corps; ce qui meut en mesure les pattes quand elle court; ce qui rythme et fait vibrer les petites ailes quand elle vole. Pour qui réfléchit, ce qui fait tout cela, quoi que ce puisse être, se distingue si grandement, dans un si petit objet, qu'on le met au dessus de l'éblouissement de l'éclair.”

Ailleurs, Saint AUGUSTIN montre dans l'œuvre des six jours que décrit la Genèse non l'apparition immédiate, en des jours semblables à ceux que nous vivons, (et comment en eût-il été ainsi si, les premiers jours, le soleil n'était pas créé!), de créatures achevées, mais le déploiement majestueux du plan de la création; le départ ordonné d'une course, dont le temps seul révélerait la fécondité. La Vie germe sur un champ d'abord ensemençé... [Ce commentaire de la Genèse (P.L. Vol.34, coll. 318, 320) est cité par nous dans [INST. CODE], §1.3 Synthèse et adaptation; où, à propos de processus mentaux d'adaptation, est reprise la formule aristotélicienne: “Forma dat esse materiæ”.]

Le XIX-ème siècle, le siècle de PASTEUR, s'ouvre sur ce programme fameux, proposé par le grand LAPLACE:

“...une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse,...: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux”.

Sans minimiser la complexité du problème qu'il pose, LAPLACE ne semble pas douter que celui-ci ait une solution.

Ouvert par PLANK et EINSTEIN, plongé dans l'indétermination par HEISENBERG!, le XX-ème siècle s'achève sans disposer seulement d'un modèle physique global non contradictoire. Le seul fait que le monde soit possible n'est-il pas le grand miracle de l'Intelligence? Ainsi, assurément, l'entend Saint AUGUSTIN.

7 Temps et éternité

Parlant de “flèche du temps”, le naturaliste cherche à ranger, en une ligne, un ensemble de formes fossiles contiguës; et à ordonner cette ligne. C'est poser, localement, le problème global de l'ordre temporel de toutes choses.

Le temps est-il un axe se prolongeant indéfiniment dans les deux sens, vers le passé et vers l'avenir? Ou une demi-droite dont l'origine est l'instant de la Création? Y aurait-il, pour ce monde, dans l'avenir, un terme qu'il ne dépassera pas? À moins que les mêmes choses, ou des choses toutes semblables, ne se répètent indéfiniment suivant un cycle?

L'histoire atteste que, depuis des millénaires, chacun de ces schémas est présent à la pensée des hommes.

Pour le mathématicien contemporain, il n'y a que deux schémas: le cercle et le segment; car, topologiquement, la droite ou la demi-droite ne se distinguent pas du segment. En effet, on peut mettre en correspondance biunivoque tous les nombres x , de $-\infty$ à $+\infty$, avec les nombres y , de -1 à $+1$, suivant la formule: $y = x/(1+|x|)$. Restent les extrémités éventuelles: instant de création ou d'annihilation universelle...

Pour le physicien et le philosophe, fidèles en cela à la tradition aristotélicienne et scholastique, le temps est le nombre du mouvement, *tempus est numerus motus*: par quoi il faut entendre que le temps n'est pas un simple paramètre qu'on attribue à tout événement, mais l'ordre même de ce qui naît et de ce qui meurt. Ainsi, le schéma du temps dépend de la cosmologie.

Pendant plus de mille ans, dès avant le début de notre ère et jusqu'à son XVI-ème siècle, les savants qui écrivent en grec, arabe et latin, se transmettent un modèle établi. La Terre est immobile au centre d'une sphère qui porte les étoiles et marque les limites du monde; cette sphère effectue, en chaque jour de 24 heures, une révolution complète; entre la sphère et son centre, le Soleil, la Lune et cinq planètes tournent aussi; mais en prenant chaque jour quelque retard sur les étoiles; et avec, dans leurs mouvements, des particularités que PTOLÉMÉE (2-ème siècle avant l'incarnation) a minutieusement décrites en en reproduisant les apparences par des points, tournant sur des cercles dont les centres tourneraient uniformément autour de la Terre.

Dans ce modèle, la Terre a la dignité de centre, que nous lui refusons aujourd'hui; mais les étoiles et les astres ont une dignité bien plus grande encore: car de la permanence de leur mouvement on déduit qu'ils sont éternels, impérissables, incorruptibles. Au contraire, de la Terre jusqu'à l'orbite de la Lune, s'étend le monde sublunaire, le monde des choses périssables, le monde de la génération et de la corruption...

Le 24 Mai 1543, meurt Nicolas COPERNIC, quand paraît son *De revolutionibus orbium cælestium*, dédié au pape Paul III. En un siècle, la conviction s'établit, chez les savants de l'Europe, que la Terre, comme les autres astres, faits de même matière qu'elle, flotte dans un espace indéfini; elle tourne sur elle-même et tourne autour du Soleil... Poursuivant les observations de TYCHO BRAHÉ (1546-1601), KEPLER (1571-1630) reconnaît pour trajectoire à Mars une ellipse dont le soleil est l'un des foyers; à l'hypothétique horloge de l'engrenage des cycles de PTOLÉMÉE, NEWTON (1642-1727) substitue le lien invisible de forces s'exerçant à distance, entre les masses, suivant une loi unique.

Pierre DUHEM, que nous suivrons dans sa monumentale histoire des doctrines cosmologiques (Vol.I), rappelle que le schéma de COPERNIC n'était pas sans précédent. L'avait proposé, notamment, dans l'antiquité grecque, un contemporain d'ARISTOTE (-384-322): Héraclide duPont: mais, à cet auteur, sa propension à la contradiction avait valu le surnom de Paradoxologue. La doctrine de la rotation de la terre sur elle-même (*a fortiori*, celle de l'héliocentrisme) reçut peu d'attention (fût-ce à titre d'hypothèse); même s'il y est fait allusion chez CICÉRON (106-43 avant l'incarnation) et jusque chez Saint Jean Damascène (≈675-749); et, il y a mille ans, il semble qu'elle était totalement oubliée. DUHEM remarque que, d'une part, la rotation rapide de la terre avait contre elle les apparences physiques; et que, d'autre part, le système des cycles concordait très bien avec le mouvement apparent des astres.

Le schéma de PTOLÉMÉE suggère fortement que l'univers échappe à la génération et à la corruption: il n'a ni commencement ni fin, le temps est une droite homogène $]-\infty, +\infty[$; à moins qu'il ne soit un cercle. À cette dernière hypothèse qui fut en faveur dans l'Inde, PLATON fait écho dans le Timée; beaucoup d'auteurs, tels Mas'ûdiy (علي بن الحسين السعدي, ...-956) et Al Bîrûniy (أبو الريحان البيروني, ≈973-1048), en langue arabe, parlent d'une "grande année" à laquelle on attribue une durée de plusieurs dizaines de milliers de nos années; voire de plusieurs milliards.

Certes, une marche uniforme du temps se concilie mal avec les récits de genèse que l'on trouve chez tous les peuples; et répugne particulièrement à la tradition des fils d'Abraham. Parmi les musulmans et les chrétiens, des philosophes ont suggéré que, tout en étant créé, le monde était coéternel à Dieu: comme la lumière est causée par le Soleil, mais existe toujours avec celui-ci. À ces spéculations qu'il incrimine dans "l'effondrement des philosophes", 1058-1111), أبو حامد محمد الغزالي (Imâm Ghazâlî), تهافت الفلاسفة, s'oppose catégoriquement. Averrhoès (ابن رشد, 1126-1197), Ibn rochd, répond par "l'effondrement de l'effondrement", تهافت التهافت. De la Chaire de

Marrakech, l'averrhoïsme se répand jusque chez les catholiques latins. A Paris, Saint Thomas d'Aquin (1225-1274), moins mordant que Ghazâly, concède que la doctrine de l'éternité du monde n'est, en elle-même, ni absurde ni scandaleuse; mais il affirme qu'elle est fausse, comme contraire à la révélation.

Ainsi, parce qu'il accepte, avec la physique d'ARISTOTE, l'astronomie de PTOLÉMÉE, le docteur chrétien doit proposer pour modèle du temps une demi-droite, mais homogène et uniforme, ayant pour origine l'instant de la Création; modèle que rien, dans sa cosmologie, ne suggère.

Continuateur de NEWTON en mécanique, LAPLACE (1749-1827) propose l'hypothèse qu'une nébuleuse primitive serait à l'origine du système solaire: dans l'univers matériel tel qu'il l'entend, en effet, il n'y a pas d'astres ni de formes immuables. Nous avons cependant rappelé que ce même LAPLACE proclame que, de l'état de l'univers "pour un instant donné", l'analyse mathématique, pourrait déduire "l'avenir comme le passé": car, selon un modèle totalement déterministe et réversible, il n'y a plus, proprement, de flèche sur l'axe indéfini du temps.

Dans la science contemporaine, l'irréversibilité est un principe thermodynamique, qui régit l'évolution des systèmes de toute taille; l'exploration stratigraphique montre que se sont succédées sur la Terre des flores et des faunes, qui non seulement diffèrent quant aux espèces qu'elles comprennent, mais réalisent une succession d'écosystèmes de plus en plus perfectionnés quant à l'adéquation des espèces individuelles à leur milieu. Globalement, la relativité générale a parlé d'univers en expansion; et est communément admis aujourd'hui un modèle cosmologique d'explosion, dont un éminent physicien, S. WEINBERG, (qui a reçu le Prix NOBEL en 1979), a pu rendre compte sous le titre: "les trois premières minutes" (avec, dans un chapitre: "le premier centième de seconde"). Voici, pour rappeler de quoi il s'agit, quelques lignes de l'introduction du livre:

"Now,... A theory of the early universe has become so widely accepted that astronomers often call it "The Standard model." It is more or less the same as what is sometimes called the "big bang" theory, but supplemented with a more specific recipe for the contents of the universe..."

Ainsi, pour la première fois depuis 25 siècles, la description des phénomènes naturels, pour imparfaite qu'elle soit (cf. §6, *in fine*), suggère comme ensemble des temps une demi-droite orientée non homogène avec, à l'origine, des instants qui diffèrent qualitativement de ceux qui les suivent; donc un germe et une véritable genèse.

Or, plutôt qu'une ligne temporelle, on doit considérer un ensemble partiellement ordonné d'événements qui ne sont pas tous deux à deux comparables quant au temps. Des choses qui sont déployées dans l'Univers,

notre raison ne suit que des parcours, sans en embrasser la Raison qu'une vie sans terme ne nous suffirait pas à acquérir.

Aliud est enim per vitam interminabilem duci, ...; aliud interminabilis vitæ totam pariter complexam esse præsentiam, quod divinæ mentis esse proprium manifestum est.

“Autre chose de poursuivre une vie sans terme, ...; autre chose que soit embrassée dans une égale présence une vie sans terme; tel est manifestement le propre de l'Esprit Divin”.

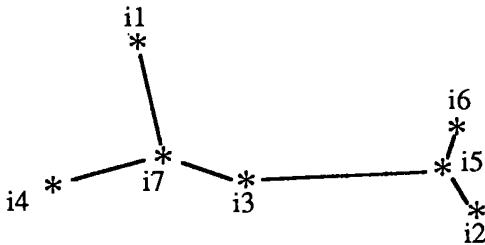
Ainsi BOËCE (≈480-524) définit-il l'Éternité (in *Consolation*, LV, prose 6).

8 Retour à la taxinomie mathématique

Rappelons d'abord comment est défini, classiquement, l'arbre de longueur minima et comment on le construit en appliquant l'algorithme usuel de classification ascendante hiérarchique (CAH) avec pour critère l'agrégation suivant le saut minimum. (cf. Traité: *L'Analyse des Données: La Taxinomie*; TIB n°9, §4).

La donnée de base est un ensemble fini I , muni d'une distance, $d(i,i')$, dont on suppose seulement qu'elle satisfait à l'inégalité du triangle. On appelle graphe connexe sans cycle de support I , un ensemble G de paires non ordonnées (i.e. $i \neq i'$ et $\{i,i'\} \approx \{i',i\}$) tel que, étant donnés deux éléments ia et ib de I , il existe une suite unique d'éléments $\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ de I , tous distincts entre eux, et satisfaisant aux conditions que $i_1 = ia$, $i_n = ib$ et toute paire $\{i_p, i_{p+1}\}$ de deux éléments consécutifs est dans G . Pour faire image, on peut dire que G est réalisé en traçant un nombre minimum de segments $\{i,i'\}$ de telle sorte que tout couple $\{ia, ib\}$ soit relié par une suite de ces segments. On appelle longueur totale de G la somme des distances $d(i,i')$ des paires $\{i,i'\}$ dont il se compose; ou encore, en bref: la somme des longueurs des segments $\{i,i'\}$. Puisque I est fini, cette longueur totale admet un minimum qui est réalisé par au moins un graphe G : un tel graphe est appelé graphe connexe sans cycle de longueur minima; ou encore: arbre de longueur minima; en donnant à arbre le sens de “graphe sans cycle” et non de “structure hiérarchique”.

Sur la même donnée de l'ensemble I muni des distances $d(i,i')$ on peut effectuer une CAH. Prendre pour critère l'agrégation suivant le saut minimum signifie, qu'on définit la distance entre deux parties I_a et I_b de I (une partie étant, éventuellement, réduite à un élément) comme le minimum de la distance entre un élément, ia , de I_a et un élément, ib , de I_b : le terme de saut fait image, si l'on considère un messager qui pour relier I_a à I_b saute entre les deux points $\{ia, ib\}$ les plus proches. On effectue alors la CAH en agrégeant d'abord une paire d'éléments réalisant le minimum de la distance $d(i,i')$; puis agrégeant successivement des éléments ou des parties déjà constituées, réalisant le minimum de la distance que l'on vient de définir.

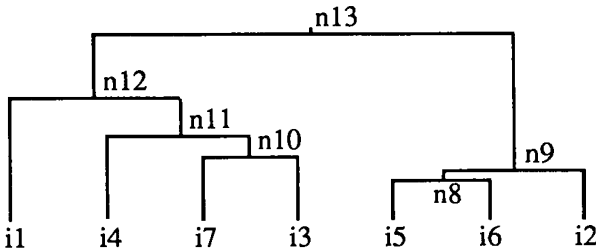


On considère l'ensemble $I = \{i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7\}$:

ci-dessus, est représenté I , avec un arbre de longueur minima;

ci-dessous, la classification sur I obtenue avec le critère du saut minimum.

Au plus bas niveau, s'agrègent $\{i5, i6\}$, entre lesquels est réalisé le minimum de la distance entre deux points de I ; le nœud $n8$, ainsi obtenu, s'agrège ensuite avec $i2$, pour créer le nœud $n9$; ...; finalement, $n9 = \{i5, i6, i2\}$, s'agrège avec $n12$, qui groupe les 4 autres points, pour créer $n13 = I$. L'agrégation entre $n9 = A(n13)$ et $n12 = B(n13)$, se fait à un niveau qui n'est autre que la distance $d(i3, i5)$; laquelle représente le saut minimum entre un point de $n12$ et un point de $n9$.



Il se trouve que (comme l'atteste l'exemple simple présenté ici) les deux notions d'arbre de longueur minima et de CAH suivant le saut minimum se correspondent biunivoquement. De façon précise, on obtient un arbre de longueur minima si, à tout nœud, n , de la CAH, on associe un segment joignant un couple de points $\{iA, iB\}$, appartenant respectivement aux deux parties, $\{A(n), B(n)\}$, qui sont les descendants immédiats (Aîné et Benjamin) de n , et réalisant le saut minimum entre ces deux parties.

Les deux notions étant équivalentes, on peut, à l'arbre de longueur minima objet de prédilection du naturaliste, appliquer les critiques classiquement formulées à propos du critère d'agrégation suivant le saut minimum. En bref ce critère produit un effet de chaînage: les classes sont constituées sans qu'en soit

aucunement garantie la compacité, mais seulement de par la contiguïté des éléments successivement agrégés; d'où communément des classes filiformes dont la distribution spatiale défie l'interprétation.

Pratiquement, le résultat n'est satisfaisant que si la structure taxinomique des données est si nette qu'on peut l'obtenir sans arbitrer (par l'effet d'un critère approprié; tel que celui de l'agrégation suivant la variance) entre les exigences (souvent contradictoires) de compacité interne des classes et de séparation nette entre celles-ci. À moins que, plutôt qu'au partage global, en classes équilibrées, d'un ensemble *I* distribué dans l'espace, on ne s'intéresse aux cheminements locaux entre éléments, comme à un phénomène naturel majeur qu'il faut déceler, comme on déviderait un cocon.

Ceci nous ramène à la critique de ce dernier point de vue même, qui est celui du naturaliste.

Si, comme le suggère notamment l'analyse par FISHER de "l'évolution de la dominance" (cf. §3), les mutations au sein d'une lignée continue ne suffisent pas à rendre compte des innovations majeures, le fil, même quand on y reconnaît une flèche, ne donne pas l'intelligence globale de la genèse des formes. Il peut s'agir seulement d'une diversification explicitant des potentialités génériques dans quelques milieux écologiques.

Par exemple, l'analyse des mesures crâniométriques relevées sur des équidés de diverses espèces, (chevaux, ânes, zèbres...), données dont la valeur taxinomique est généralement acceptée, a fourni à V. EISENMANN et J.-C. TURLOT un schéma circulaire des espèces, déjà reconnu intuitivement par le naturaliste BOURDELLE. Cependant, A. KARCHOUD, trouve un autre schéma par l'analyse des longueurs des segments des os des membres, segments dont les proportions mutuelles sont étroitement adaptées à la marche. La représentation spatiale par une image (voire plusieurs images) apparaît ici plus appropriée qu'une arborescence, en cladogramme.

Si, au lieu de mensurations prises sur des individus, on considère, sur plusieurs espèces, des données homologues de format discret, suite d'acides aminés dans une protéine ou même suite des bases dans un gène, on ne saisit qu'un aspect ponctuel de l'organisme animal; peu propre, croyons-nous, à révéler une structure globale; particulièrement si les grands remaniements des formes se réalisaient par des transferts de gènes entre espèces éloignées (cf. §4).

Cherchant l'essence de la Vie, l'homme ne peut embrasser les raisons de toutes choses (cf. §7); mais, à défaut de comprendre l'ordre potentiel des formes, il peut trouver, dans des schémas euclidiens, tels que ceux issus de l'analyse factorielle, comme une chromatographie multidimensionnelle des formes réelles, attestées dans l'espace et le temps. La vision de l'espace est plus fidèle que le cheminement linéaire.

9 Envoi

Erasmus DARWIN, l'aïeul de Charles, est l'auteur d'un poème cosmogonique intitulé: *The Temple of Nature; or, The Origin of Society*. En voici les premiers vers du "Canto I", "Production of life":

*By firm immutable immortal laws
Impress'd on Nature by the Great First Cause,
Say, Muse! how rose from elemental strife
Organic forms and kindled into life...*

Par d'immuables lois immortelles et fermes
Que la Première Cause, en Nature imprima,
Ô Muse! dis comment, du choc, il s'alluma
Une flamme de vie, et jaillirent des formes...

En exergue à tout l'ouvrage, E. DARWIN a placé trois hexamètres de l'Énéide:

*Unde hominum pecudumque genus, vitæque volantum,
et quæ marmoreo fert monstra sub æquore pontus?
Igneus est illis vigor, & cælestis origo.*

D'où le règne des hommes et des bêtes terrestres, et celles qui volent
et les monstres dont la mer est grosse sous ses flots marbrés?
Ils ont tous la vigueur du feu et une céleste origine.

Or, avant les trois vers dont le poète anglais choisit le patronage, VIRGILE en fait entendre un autre, bien plus fameux encore:

Mens agitat molem, et magno se corpore miscet.

L'esprit œuvre en la masse et se mêle au grand corps.

et il dit ensuite "Inde", plutôt que l'"Unde" que transcrit E. DARWIN; car il n'y a pas, pour VIRGILE, de question "D'où?": il affirme que "De là", de cette œuvre créatrice, procède tout ce qui vit. (Le signe '?', quant à lui, ne peut être qu'une addition moderne).

Ainsi, une seule lettre suffit à réserver le rôle mystérieux de l'Esprit. Pour que l'Énéide fût un écho fidèle de la Genèse, il resterait à affirmer la transcendance de l'Esprit dans l'ensemencement de la matière (§6).

Références bibliographiques

Saint AUGUSTIN (Aurelius Augustinus, Hipponensis Episcopus): *Opera Omnia*; Œuvres complètes; se trouvent, notamment, dans les Tomes 42 à 57 de la Patrologie latine, (P.L.), éditée par l'Abbé MIGNE au milieu du XIX-ème siècle; suivant l'usage, nous faisons référence à cette édition, par Vol. et colonnes.

BOËCE (Anicius Manlius Torquatus Severinus Boetius): *La Consolation de la Philosophie*; in P.L. Vol. LXIII; et texte, avec traduction par A. BOCCOGNANO, Garnier éd.

G. BUFFON (Georges Louis LECLERCQ, Comte de B.): *Histoire Naturelle*; second discours: Histoire et théorie de la terre; (1744); revu ultérieurement par l'auteur; nous consultons l'édition de Pillot (1829).

G. CUVIER: *Le règne animal distribué d'après son organisation pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux et d'introduction à l'anatomie comparée*; Paris; (1817).

G. CUVIER: *Recherches sur les ossements fossiles où l'on rétablit les caractères de plusieurs animaux dont les révolutions du globe ont détruit les espèces*; nouvelle éd. entièrement refondue et considérablement augmentée; Paris; (1821).

E. DARWIN: *The Temple of Nature; or, The Origin of Society*; (1802); traduction russe de N. A. Kholodkovskiy, (1911), et (1960).

P. DUHEM: *Le système du monde: histoire des doctrines cosmologiques de PLATON à COPERNIC*; 10 Volumes publiés (l'ouvrage a été laissé inachevé par son auteur); Hermann éd.

V. EISENMANN, J.-C. TURLOT: "Sur la taxinomie du genre *Equus*", [ÉQUIDÉS], in CAD, Vol.III, n°2, pp.179-201, (1978).

R.A. FISHER: *Collected Papers*, edited by J.H. BENNETT; The University of Adelaide; (1972).

R.A. FISHER: "The evolution of dominance"; in *Biological Reviews*, 6: pp. 345-368; (1931); reproduit dans: *Collected Papers*, Vol. 2, pp.530-553.

R.A. FISHER: *The genetical theory of natural selection*; 2-ème éd.: Dover Publications; (1958).

A. KARCHOUD: "Étude de la taxinomie des équidés d'après les mesures squelettiques", [SQUEL. ÉQUID.], in CAD, Vol.VI, n°4, pp.453-463; (1981).

J.-B. LAMARCK (Jean-Baptiste de MONET, chevalier de L.): *Inédits*, d'après les manuscrits conservés à la Bibliothèque Centrale du Muséum d'Histoire Naturelle; présentés par M. VACHON, G. ROUSSEAU, Y. LAISSUS,...; Masson éd.; (1972).

J.-B. LAMARCK: *Philosophie zoologique*; (1809); réédité par Union Générale d'Éditions (18/8); (1968).

T.H. MORGAN, C.B. BRIDGES, A.H. SUTHERLAND: "The genetics of *Drosophila*", in *Bibliographica Genetica*, 2, 1; (1925).

L. PASTEUR: "Des générations spontanées"; in *Revue des cours scientifiques*; I, pp.257-265; (1864); reproduit dans les *Œuvres complètes* et dans: *Recueil de travaux*; textes choisis par PASTEUR VALLÉRY-RADOT; cercle du livre précieux, éd.; (1966).

Saint THOMAS d'Aquin: "De æternitate mundi"; in *Opuscula omnia*; Tomus Primus, pp.52-61; P. Lethielleux éd; Paris; (1949).

Saint THOMAS d'Aquin: *Summa Theologica*; Pars Prima; Quæstio 46^a: "De principio durationis rerum creaturarum".

G. VANDEBROEK: *Évolution des vertébrés de leur origine à l'homme*; Masson éd.; (1969).

Steven WEINBERG: *The first three minutes: a Modern View of the Origin of the Universe*; Basic Books, N.Y.; (1976).