

UN MODELE DE COMPLEXITE DU VIVANT: EMERGENCE EN MOSAÏQUE ET CONSEQUENCES PHILOSOPHIQUES

Georges Chapouthier

(CNRS – Universités Paris 1 et Paris 6, France)

Abstract

Observation of the living world provides a model for the emergence of complexity built on the repeated implementation of two principles – the principle of the “juxtaposition” of elements, each having the same level of complexity, and the principle of the “integration” of these elements into structures, comprising, as in the case of a mosaic, both the a whole and the component parts. The epistemological consequences of the model, from a Darwinian angle, revive the theory of asexual reproduction and the resultant non-separation. From an ethical standpoint, since morals for human beings and morals for other entities (such as animals and the environment) are generally “juxtaposed”, they should be further integrated. In a metaphysical context, the model could be applied more widely, for example, in the field of thought, with i.e. memory, consciousness and language.

ملخص

تمدنا ملاحظة عالم الأحياء بنموذج لانبتاق التنوع من حيث هو مرتكز على الاستعمال التكراري لمبدأين: تطابق عناصر منتمية الى نفس نظام التعقيد ، و ادماج هذه العناصر في بنيات تمثل على غرار الفسيفساء أجزائها. و تتمثل الانعكاسات الابستيمولوجية لهذا الوضع في كون هذا النموذج يعيد حسب فهم دارويني الاعتبار للإنجاب اللاجنسي و لعدم الانفصال الذي ينجر عنه. أما على المستوى الاتيقي، فان الاخلاقيات الخاصة بالكائن البشري و الاخلاقيات الخاصة بالحيوانات أو بالوسط الطبيعي التي هي متطابقة الى حد كبير، تصير أهلا لأن تندمج بصورة أمثل. و على المستوى الميتافيزيقي، يمكن لهذا النموذج أن يتمتع بتطبيق أكثر عمومية، مثلما تدل على ذلك في ظاهرة التفكير أمثلة الذاكرة و الوعي و اللغة.

Résumé

L'observation du monde vivant offre un modèle d'émergence de la complexité fondé sur l'application répétée des deux principes : « juxtaposition » d'éléments du même ordre de complexité, puis « intégration » de ces éléments dans des structures, dont, comme dans une mosaïque, elles constituent alors des parties. Les conséquences épistémologiques sont que, dans une perspective darwinienne, ce modèle réhabilite la reproduction asexuée et la non-séparation qui en résulte.

Sur le plan éthique, les morales pour l'être humain et celles pour d'autres entités, comme les animaux ou l'environnement, largement « juxtaposées », mériteraient une meilleure intégration. Sur le plan métaphysique, ce modèle pourrait avoir une application plus générale, comme le montrent, dans la pensée, les exemples de la mémoire, de la conscience ou du langage.

L'émergence de la complexité dans le vivant

L'émergence de la complexité, c'est-à-dire le fait que des structures complexes possèdent des propriétés particulières, différentes de celles des éléments qui les constituent, a fait l'objet d'innombrables travaux. Beaucoup de travaux mathématiques imaginent une infinité de modèles d'émergence possibles. La présente étude part, au contraire, de données biologiques concrètes, inspirées par le spectacle des êtres vivants. En d'autres termes, parmi les innombrables émergences *possibles*, elle vise à cerner ce qui est l'émergence *réelle* à l'œuvre dans les organismes vivants et dans les structures qui en dérivent. Cette émergence semble résulter de l'application répétée de deux grands principes de complexité : le principe de « juxtaposition » et le principe d' « intégration », aboutissant à des entités dites « en mosaïques », où le « tout » laisse une relative autonomie à ces parties (Chapouthier, 2003, 2009).

Nous exposerons d'abord l'architecture de cette émergence « en mosaïques », avant d'effectuer quelques réflexions sur ses conséquences épistémologiques, éthiques ou métaphysiques.

La complexité en mosaïque

L'observation du monde vivant montre clairement que la complexité est issue de l'application répétée de deux grands principes : le principe de « juxtaposition » d'entités du même ordre de complexité et le principe d' « intégration » de ces entités dans des ensembles plus « complexes », dont elles deviennent alors des parties. La présentation schématique en est faite sur la figure 1. Ainsi, par exemple, des cellules identiques peuvent d'abord se juxtaposer pour donner des tissus de cellules identiques, puis l'intégration aboutit à des organismes, où les cellules disposent de fonctions différentes : cellules du foie, du muscle, du système nerveux... De la même manière, des individus peuvent se grouper pour

constituer des « foules », tels ces rassemblements où des animaux se groupent pour dormir et où chaque individu dispose des mêmes fonctions. Si, toutefois, les individus acquièrent de fonctions différentes, on obtient alors les sociétés d'insectes ou de mammifères, où les individus ont des rôles particuliers, par exemple : reine, mâles et ouvrières chez les abeilles, ou encore : politiciens, ouvriers, cultivateurs, professeurs ou médecins chez les humains !

L'intégration de ces structures juxtaposées aboutit à des structures dites « en mosaïque », où le « tout » laisse une relative autonomie à ses parties. Dans une mosaïque, au sens artistique du terme, on le sait, l'ensemble constitué par une image laisse la place, si on y regarde de plus près, à de petits éléments, les tesselles (ou abacules), qui conservent leur forme, leur couleur ou leur brillance. De la même manière, les étages du vivant ont une telle structure en mosaïque, même si, à la différence de la mosaïque artistique, les mosaïques du vivant sont ensuite soumises à une histoire, qui fait qu'elles évoluent en permanence avec le temps et ne sont donc que des mosaïques transitoires.

Exemples de mosaïques du vivant

On pourrait, dans le monde vivant, multiplier les exemples de telles structures en mosaïques (Chapouthier, 2001; Michod, 2009). Ainsi, dans les zones non actives du génome, qu'on appelle les « introns » (par opposition aux « exons » actifs, qui sont responsables des processus du vivant), on observe, au cours des temps géologiques, la duplication silencieuse des nombreux introns (qui est l'équivalent d'une juxtaposition). Ensuite certains de ces introns dupliqués peuvent être soumis à de mutations. Ainsi se constituent, dans les zones silencieuses du génome, des ensembles de gènes mutés qui peuvent, à l'occasion combiner leur fonctionnement et « émerger » comme exons actifs en produisant un organe nouveau ou un processus métabolique nouveau (ce qui constitue une intégration des introns modifiés). Si cet organe ou ce processus métabolique s'avèrent utiles pour l'organisme, il sera conservé par la sélection darwinienne. Dans le cas contraire, il disparaîtra. Beaucoup d'auteurs, comme Ohno (Ohno, 1970), pensent que ces processus de duplication et d'intégration d'introns sont justement les processus qui ont permis, à certaines organisations du vivant, de devenir de plus en plus compliquées avec le temps

Au niveau anatomique, nous avons déjà mentionné plus haut les juxtapositions, puis intégrations, de cellules pour constituer des organismes, ou bien les juxtapositions, puis intégrations d'individus pour constituer des sociétés. Mais il existe de très nombreux autres exemples. Ainsi les polypes peuvent se juxtaposer, sur des centaines de kilomètres, pour donner les grands récifs coralliens, où tous les polypes sont identiques les uns aux autres. Mais ils peuvent aussi constituer des structures plus intégrées, comme les siphonophores qui flottent à la surface des océans, et sont des colonies intégrées de polypes flotteurs, des polypes nourriciers, de polypes défensifs ou des polypes reproducteurs. Ainsi encore, les anneaux juxtaposés (appelés « métamères ») des vers, comme le ver de terre, peuvent s'intégrer pour constituer des animaux moins segmentés comme l'abeille, la pieuvre ou... l'être humain. Même si des traces de la juxtaposition initiale peuvent perdurer dans le corps des organismes ainsi intégrés : l'abdomen de l'abeille, ou les côtes et les vertèbres de l'être humain, sont, à l'intérieur d'un individu intégré, des souvenirs de la juxtaposition de ses ancêtres. La juxtaposition peut même se retrouver, sur un plan strictement anatomique, chez les êtres les plus complexes, comme les êtres humains. C'est ce qu'on appelle les « frères siamois », et des intégrations partielles ont pu être observées, comme des individus qui possèdent deux têtes et deux thorax, mais le même bassin et une seule paire de jambes pour deux individus. Mais il est clair que c'est ensuite sur le plan social, et non plus anatomique, que les processus de juxtaposition et d'intégration ont pris le relais.

On peut aussi décrire des processus du même genre dans l'évolution de certains organes. Ainsi, pour l'encéphale, ce qu'on appelle vulgairement le « cerveau », c'est-à-dire la portion antérieure du tube nerveux, qui est la base du siège supérieur de l'intelligence, si développée chez les vertébrés, on constate une apparition, chez l'embryon, de cinq vésicules juxtaposées, qui peuvent restées largement juxtaposées chez les vertébrés « primitifs » comme les poissons, mais qui, chez les vertébrés les plus évolués (oiseaux ou mammifères), s'intègrent dans un ensemble, où les cinq vésicules juxtaposées ne sont plus vraiment repérables au sein de l'organe intégré qu'elles constituent (Figure 2).

On le voit : les processus d'émergence en mosaïque, reposant sur l'application répétée de principes de juxtaposition et d'intégration, peuvent être observés à tous les niveaux de l'architecture des êtres vivants.

Conséquences épistémologiques

Il existe deux modes fondamentaux de reproduction chez les êtres vivants : la reproduction asexuée et la reproduction sexuée. La reproduction asexuée résulte de la reproduction à l'identique d'une entité, qui commence par se dupliquer pour donner deux entités-filles similaires, pour qu'ensuite les deux entités ainsi constituées se séparent. Le bouturage des plantes ou les jumeaux humains en constituent des exemples. Si un événement fait que la séparation ne se produit pas, on assiste alors à la juxtaposition des deux entités-filles identiques, qui ensuite peuvent être soumises, au cours de leur histoire, à des variations qui vont produire des différences entre ces deux entités à l'origine identiques. La reproduction sexuée, d'autre part, consiste dans le « brassage des gènes » lors de la formation de la cellule-œuf issue des deux gamètes maternel et paternel. La variation se situe donc, dans ce cas, à l'origine même de la reproduction, et non ultérieurement, comme dans la modification des structures juxtaposées issues de la non-séparation asexuée. Comme la sélection darwinienne intervient ensuite pour sélectionner les variations utiles pour la survie de l'organisme, la reproduction sexuée, qui produit ces variations immédiatement, est plus efficace pour la sélection et, de fait, c'est sur la reproduction sexuée que s'appuient la plupart des modèles darwiniens.

Il reste que la vieille reproduction asexuée, omniprésente dans le monde vivant, mérite aussi quelques considérations épistémologiques puisqu'elle permet, grâce à l'intégration des entités juxtaposées et non séparées, de donner une base à l'émergence de la complexité. Notre thèse de la complexité en mosaïque est donc bien une réhabilitation épistémologique du rôle de reproduction asexuée. Elle affirme que la complexité du vivant résulte principalement de la non-séparation des structures issues de la reproduction asexuée et des intégrations qui s'ensuivent.

Conséquences éthiques

La plupart des morales, qu'elles soient d'inspiration aristotélicienne, déontologique ou utilitariste, sont faites par homme et pour l'homme. Il existe toutefois, dans ces trois traditions, des morales, toujours faites par l'homme, mais qui visent au respect des animaux, de l'environnement, voire d'autres entités, non seulement pour le bénéfice moral que l'être humain pourrait en tirer, mais pour les animaux eux-mêmes (Singer, 1977 ; Regan, 1983 ; Burgat, 2006 ; Jeangène-Vilmer ; 2008, Coulon et Nouët, 2009) ou pour l'environnement lui-même (voir Larrère, 1997). Il s'ensuit que la morale humaine apparaît comme un sorte de structure juxtaposée, constituée, par exemple, de trois objets (les humains, les animaux, l'environnement) auxquels on pourrait d'ailleurs ajouter d'autres éléments (les plantes, les sites archéologiques, les merveilles minérales, etc.) Il serait sans doute souhaitable que les système moraux s'intègrent davantage et amènent au respect éthique de toutes ces entités en précisant clairement leur juste place par rapport aux « tesselles » d'une éventuelle mosaïque éthique.

Plusieurs travaux philosophiques récents vont d'ailleurs dans ce sens. Ainsi Vanessa Nurock (Nurock, 2011) analyse l'architecture progressive de la morale, qui se développe sur plusieurs niveaux, à partir d'une morale naïve, qui pourrait avoir des composantes chez les animaux, pour aboutir à un module cognitif du sens moral. Ces différents niveaux peuvent s'expliquer par l'architecture mentale de la morale, qui repose sur plusieurs tesselles d'un « mécanisme empathique pluriel » : empathie agentive (nous nous mettons à la place d'un acteur), empathie émotionnelle (nous mimons ses éléments affectifs) ou empathie situationnelle (nous intégrons les actions et les émotions d'autrui dans la situation qu'il vit). L'intégration des deux premières tesselles aboutirait à la morale naïve alors que la dernière conduirait à une morale plus cognitive. De fait, chacun des niveaux de l'édifice mental trouve sa place dans une conception hiérarchisée de la morale, dont on peut souligner le caractère de « mosaïque ». L'auteure s'appuie aussi sur l'existence de psychopathologies morales, comme l'autisme ou la psychopathie, où certaines tesselles disparaissent. Ainsi, l'autisme serait lié à « des déficits dans l'empathie situationnelle », tandis que la psychopathie, serait un « déficit de morale naïve », portant notamment sur les niveaux agentifs et émotionnels. Ce modèle en mosaïque pourrait aussi

comporter des sous-niveaux (ou des sous-tesselles). Par exemple (Nurock, sous presse), le premier niveau, celui de l'empathie agentive, pourrait résulter (d'un minimum) de deux éléments juxtaposés : le sens du bien (on se met à la place d'un autre être en ce qui concerne son bien-être) et le sens de la justice (on se met à la place d'un autre être en ce qui concerne la coopération ou le comportement réciproque.)

Pour ce qui est, cette fois, non plus de l'architecture cognitive de la morale, mais de ses applications pratiques, Corine Pelluchon (Pelluchon., 2011) a effectué un travail de mise en relation des morales consacrées aux humains, aux animaux et à l'environnement. L'éthique de la vulnérabilité qu'elle propose fonde, en effet, toute morale sur la conception de l'altérité (qui rejoint d'ailleurs clairement la notion d'empathie, telle qu'elle a été développée par Vanessa Nurock). Si « le cœur de l'éthique de la vulnérabilité tient à l'idée d'une responsabilité fondamentale de l'homme, lié par sa fragilité de vivant *et* par son privilège de connaissance (...) à la dimension éthique de son rapport à l'autre » résume-t-elle (p 40), alors l'altérité est bien le concept fondamental dans lequel toute morale, et aussi le « droit à être » de l'humain, doit trouver sa source. D'où une éthique de la vulnérabilité qui s'appuie à la fois sur la responsabilité pour l'autre et le besoin de l'autre, et qui peut conduire à « une véritable politique de la solidarité », une solidarité qui, sur le plan politique, peut être étendue ailleurs que dans l'espèce humaine. Selon l'auteure, l'action politique, c'est donc aussi d'être concerné par ce qui advient aux autres espèces et aux écosystèmes. Largement inspirée par l'héritage de Levinas et son approche de la phénoménologie, l'auteure étend aussi à l'animal l'altérité levinassienne et n'exclut pas la notion de *droits* attribués aux animaux, droits certes plus restreints que ceux de l'homme, différents des droits-libertés qui concernent les humains et qui n'auraient aucun sens pour les animaux qui, par exemple, ne votent pas. Ce nouvel humanisme, proposé par Corine Pelluchon, conduit finalement au souhait d'une société équilibrée où le handicap, la vulnérabilité – humaine comme animale -- seraient perçus comme positifs, où le souci de l'autre serait au centre du discours social, où la considération serait réhabilitée.

Si on combine leurs remarquables travaux, ces deux auteures apportent, à la philosophie morale moderne, qui en a grand besoin, un nouveau souffle, ouvert sur l'écologie au sens large et sur le respect de l'animal, et une construction modulaire conforme aux normes cognitives de la complexité en mosaïque.

Conséquences métaphysiques

Pour Aristote, le macrocosme (l'univers) obéit aux mêmes lois que le microcosme (le monde de la terre et ses créatures). Comme le fait remarquer le philosophe néo-aristotélicien russe Konstantin Khroutski (Khroutski, 2008 ; voir Chapouthier, 2008), l'univers tel que le conçoit Aristote a une structure fondamentalement biologique. Dire cela, ne revient évidemment pas à dire que l'univers est un gros animal, mais que les structures les plus complexes que nous connaissons (les animaux) sont l'image de ce qu'il faut être les structures les plus complexes ailleurs dans l'univers. En ce sens, si l'on adopte un point de vue néo-aristotélicien qui est le mien, le modèle de complexité qui est proposé ici, celui de l'émergence en mosaïque, fondé sur les deux principes de juxtaposition et d'intégration, pourrait donc être un modèle plus général de fonctionnement de l'univers ailleurs que sur notre planète et ailleurs que chez les êtres vivants qui nous ont servi de point de départ. Nous ne nous avancerons pas davantage sur ces thèses métaphysiques, laissant la possibilité à des travaux ultérieurs de physiciens, de d'astrophysiciens ou de spécialistes des sciences humaines.

Mais nous aimerions montrer que notre modèle peut facilement s'étendre à d'autres domaines que la biologie au sens strict : les domaines de la pensée.

Du vivant à la pensée

Nous ne discuterons pas ici la question de l'origine de la pensée et de ses liens avec le cerveau, bref nous ne trancherons pas ici le grand conflit séculaire qui oppose les partisans des thèses matérialistes (selon lesquelles la pensée est la stricte conséquence de l'activité cérébrale) et spiritualistes (selon lesquelles la pensée constitue un processus certes lié au cerveau, mais indépendant de ces bases cérébrales). Nous nous contenterons de montrer qu'on trouve, dans l'architecture de la pensée, de processus de complexité en mosaïque, comme on en avait trouvé dans l'anatomie des êtres vivants.

Déjà Jacques Monod (Monod, 1970) avait remarqué que « les idées ont conservé certaines propriétés des organismes. Comme eux, elles ont tendance à perpétuer leur structure et à la multiplier, comme eux, elles peuvent fusionner, recombinaison, ségréguer leur contenu, comme eux enfin, elles évoluent et dans cette évolution la sélection, sans aucun doute, joue un grand rôle. » Montrons alors que, comme les organismes, elles obéissent aussi à des processus de complexité en mosaïque. Nous prendrons trois exemples : la mémoire, la conscience, le langage.

Nous avons l'impression que notre mémoire est un ensemble unitaire. Il n'en n'est rien. L'analyse expérimentale et la comparaison avec les mémoires de diverses espèces animales (Chapouthier, 2006), montre que notre mémoire est un patchwork, une mosaïque (Chapouthier, 2011) de capacités de mémoire apparues, au fur et à mesure de l'évolution de nos ancêtres animaux, depuis des mémoires rudimentaires comme l'habituation ou la tendance à l'alternance jusqu' à des mémoires cognitives complexes, en passant par des mémoires « intermédiaires » comme les conditionnements. Toutes ces mémoires sont juxtaposées dans notre pensée, faiblement intégrées, et, selon les situations, nous faisons appel aux unes ou aux autres.

Il en est de même de notre conscience qui, à l'analyse expérimentale, se révèle plus modulaire que nous ne le croyons. Déjà, chez le sujet normal, on peut montrer des modes de conscience différents selon que le sujet est éveillé ou qu'il rêve, ainsi que des concurrences occasionnelles entre les centres de consciences situés dans les hémisphères droit ou gauche de notre cerveau (Delacour, 1994). Mais le phénomène devient criant chez les sujets qui, pour des raisons accidentelles, ont subi une rupture des fibres de communication entre les deux hémisphères cérébraux, des sujets qu'on dit « à cerveau dédoublé » (Chapouthier, 2001, 2009). Ces sujets possèdent deux centres de conscience et de décision dans chacun des deux hémisphères cérébraux et peuvent dès lors effectuer des gestes parfaitement contradictoires, que l'absence de communication entre les deux hémisphères ne permet pas de corriger, comme ce serait le cas chez le sujet normal.

Le langage enfin. Quand nous prononçons une phrase, nous énonçons, de manière juxtaposée au fil du temps, des unités sémantiques (les « mots ») et leur intégration ne s'effectue qu'à la fin de la phrase (Robert et Chapouthier, 2006 a et b). Avec parfois des renversements sémantiques lors de l'intégration. Si je dis : « Un pied de biche.... rouillé », j'intègre d'abord l'image d'un animal pour finir sur celle d'un outil. Si je dis « ce délicieux kiwi.... est couvert de plumes », j'intègre d'abord l'image d'un fruit pour finir sur celle d'un oiseau. La poésie fait, bien sûr, une grande utilisation de ces processus d'intégration progressive de la juxtaposition des unités sémantiques, comme en témoigne ce poème du poète Jean Monod (Monod, 2003) :

L'absente de tout

Bouquet la voilà me dit

En se montrant l'aube.

Il s'agit d'un « haïku » (ou « haïkou »), un poème d'origine japonaise en trois versets de cinq, sept et cinq pieds respectivement. Limitons-nous ici à la sémantique des versets successifs. Après le premier, on intègre l'image d'une femme « absente de tout ». Après le second verset, qui réfère à un bouquet, on intègre l'image d'une fleur. Seul le dernier mot du dernier verset nous montre qu'il s'agit en fait s'agit de l'aube, image qui, bien entendu, intègre aussi les images rémanentes de la femme et de la fleur.

Conclusion

L'observation du monde vivant nous a permis de proposer un modèle d'émergence de la complexité qui repose sur l'application répétée des deux grands principes : la « juxtaposition » d'éléments du même ordre de complexité, suivie de l'« intégration » de ces éléments dans des structures plus complexes, dont ils constituent alors des parties. Cette émergence a été nommée « en mosaïque », dans la mesure où les structures intégrées laissent une relative autonomie aux parties qui les composent. Nous avons montré que ce modèle d'émergence trouvait de nombreuses illustrations dans le monde vivant, depuis les gènes jusqu'aux sociétés animales.

Les conséquences philosophiques que l'on peut en tirer sont de trois types. Sur le plan *épistémologique*, ce modèle d'émergence rend sa place à la vieille reproduction asexuée, trop longtemps négligée en comparaison de la reproduction sexuée, car cette dernière sous-tend plus directement la mécanique darwinienne. Il reste que la non-séparation qui résulte de la reproduction asexuée, et qui est la base de l'application des principes de juxtaposition et d'intégration, si elle permet de rendre compte de l'accroissement de complexité, est, elle aussi, soumise à la mécanique de la sélection darwinienne et parfaitement compatible avec elle.

Sur le plan *éthique*, nous avons constaté que les morales qui visent au respect de l'être humain et celles, plus récentes, qui visent au respect des animaux ou de l'environnement, parmi d'autres préoccupations éthiques, étaient largement « juxtaposées » et mal intégrées les unes avec les autres. Une meilleure intégration, sur le modèle de la mosaïque, est à l'œuvre, notamment dans les travaux de deux jeunes philosophes : Vanessa Nurock et Corine Pelluchon. Sur le plan *métaphysique* enfin, nous avons suggéré que, si l'on suivait le principe aristotélicien qui fait du microcosme un modèle du macrocosme, les principes d'émergence et de complexité en mosaïque avaient peut-être une application beaucoup plus générale ou universelle. Nous en avons donné des exemples dans le domaine de la pensée, où des phénomènes essentiels, comme la mémoire, la conscience ou le langage, présentent clairement une structure en mosaïque.

Nous espérons que ce modèle de complexité pourra intéresser d'autres penseurs dans des applications éventuelles à d'autres domaines des sciences physiques ou des sciences sociales.

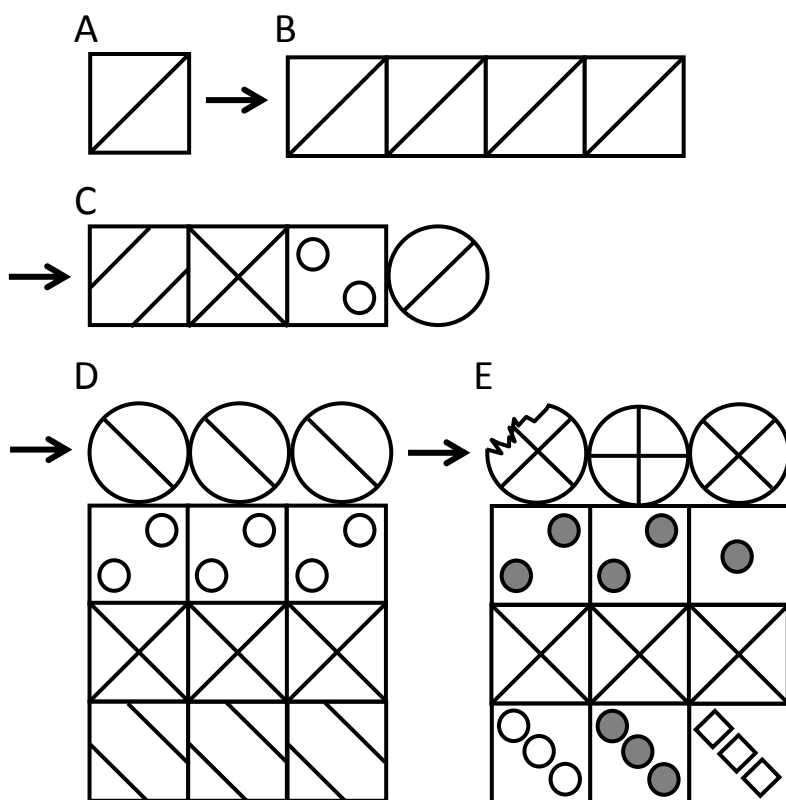


Figure 1 – Principes de la construction en mosaïque. En juxtaposant des éléments (A), du même ordre de complexité, on obtient la structure (B). En intégrant le fonctionnement de ces éléments, on obtient la structure intégrée (C), qui laisse une relative autonomie aux éléments qui la composent. On peut recommencer l'application des deux principes. En juxtaposant les structures (C), on obtient (D). En les intégrant, on obtient (E). Et ainsi de suite. (Modifié d'après Chapouthier, 2001).

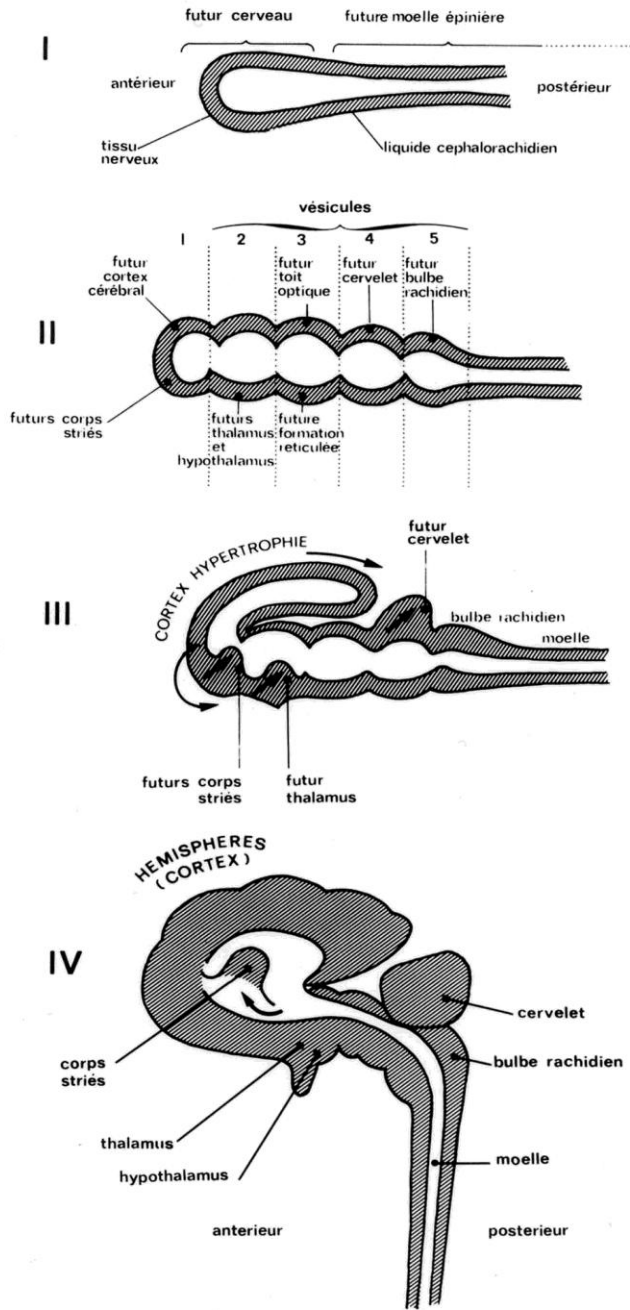


Figure 2 – Evolution embryonnaire de l'encéphale. L'encéphale apparaît d'abord comme cinq vésicules juxtaposées, qui constituent ensuite un ensemble plus intégré. (D'après Chapouthier et Matras, 1982)

Références

- Burgat, F. (2006). *Liberté et inquiétude de la vie animale*. Kimé, Paris.
- Chapouthier, G. (2001). *L'homme, ce singe en mosaïque*. Odile Jacob, Paris.
- Chapouthier, G. (2003). La complexité de l'évolution. *Pour la Science* 314, 78-81.
- Chapouthier, G. (2006). *Biologie de la mémoire*. Odile Jacob, Paris.
- Chapouthier, G. (2008). The Biocosmology of Konstantin S. Khroutski: A Philosopher's Reflections on Biology. *Eubios Journal of Asian and International Bioethics* 18(6), 168-170.
- Chapouthier, G. (2009). *Kant et le chimpanzé - Essai sur l'être humain, la morale et l'art*. Belin -Pour la Science, Paris.
- Chapouthier, G. (2009). Mosaic structures, a working hypothesis for the complexity of living organisms. *E-Logos (Electronic Journal for Philosophy)* 17, <http://nb.vse.cz/kfil/elogos/biocosmology/chapouthier09.pd>.
- Chapouthier, G. (2011). La mémoire en mosaïque. Dans : J. Dortier (dir.), *Le cerveau et la pensée, le nouvel âge des sciences cognitives* (Troisième Edition), pp. 222-226. Editions Sciences Humaines, Auxerre, France.
- Chapouthier, G., Matras, J.J. (1982). *Introduction au fonctionnement du système nerveux*. Editions Medsi, Paris

- Coulon, J., Nouët, J. (2009). *Les droits de l'animal*. Dalloz, Paris.
- Delacour, J. (1994). *Biologie de la conscience*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Jeangène Vilmer, J. (2008). *Ethique animale*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Khroutski, K. (2008). Biocosmology – Rehabilitating Aristotle’s Realistic Organicism and Recommencing Russian Universal Cosmism: Response to Arthur Saniotis. *Eubios Journal of Asian and International Bioethics*, 18, 98-105.
- Larrère, C. (1997). *Les philosophies de l'environnement*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Michod, R. E. (2009). Socialité et sexe: Coopération et conflit: des molécules aux sociétés. Dans : A. Civard-Racinais and P. H. Gouyon (dir.), *Aux origines du sexe*. Fayard, Paris.
- Monod, J. (1970). *Le hasard et la nécessité*. Seuil, Paris. Citation p 279.
- Monod, J. (2003). Dans : Antonini J. (dir.), *Anthologie du haïku en France*. Aléas, Lyon, France. Citation p 45.
- Nurock, V. (2011). *Sommes-nous naturellement moraux?* Presses Universitaires de France, Paris.
- Nurock, V. (sous presse), Pourquoi la philosophie morale devrait-elle s'intéresser à l'éthique animale ?, Dans : F. Burgat & V. Nurock (dir.) *Ethique et philosophie de l'environnement*, T1, Wildproject, Paris.
- Ohno, S. (1970). *Evolution by gene duplication*. Springer Verlag, Munich.
- Pelluchon., C. (Ed.). (2011). *Eléments pour une éthique de la vulnérabilité – Les hommes, les animaux, la nature*. Cerf, Paris.
- Regan, T. (1983). *The case for animal rights*. Routledge and Kegan Paul, London.

- Robert, S., Chapouthier, G. (2006a). La mosaïque du langage. *Marges linguistiques* (revue online), <http://www.marges-linguistiques.com>, 11, 153-159.
- Robert, S., Chapouthier, G. (2006b). The Mosaic of Language. *Marges linguistiques* (revue online), <http://www.marges-linguistiques.com> 11, 160-166.
- Singer, P. (1977). *Animal liberation*. Avon Books Publisher, New York.