

À l'origine du vivant, la différence sans hiérarchie(s)

Jean-Christophe Pagès

L'étude de l'émergence du vivant et de ses évolutions est un domaine scientifique actif, comme l'attestent de nombreux articles récents éclairant le domaine. Au-delà de l'aspect cognitif, ces connaissances permettent d'aborder la question du finalisme¹ en biologie, point toujours sujet à incompréhension. Citons, en particulier, les références inexactes au darwinisme en politique, même par des défenseurs d'un point de vue humaniste [1]. Ainsi, la compétition comme mode de sélection et l'idée que les humains, comme l'ensemble du vivant, seraient déterminés plutôt que dotés de potentialités affectent notre capacité à faire société². Comme le rappelle la bioéthicienne Laurie Zoloth, la question de l'influence d'une vision finaliste reste aussi posée en science [2] et les revues scientifiques reviennent régulièrement sur cette question [3]. Il apparaît alors avisé, sinon nécessaire, de faire un point sur l'origine et l'évolution des êtres vivants.

Aborder le sujet impose en premier lieu d'interroger nos modes d'expression. Dans le genre *Homo*, le langage parlé (et *a fortiori* écrit), sémantique et grammaire, s'est structuré autour d'un objectif descriptif d'objets et d'actions [4]. Le langage est ainsi finaliste, et conçu pour décrire des objets et des actions liés à une volonté humaine. Passant de la description du monde à l'expression d'une pensée, la verbalisation de concepts a conservé l'idée d'un objectif [5]. Le langage a aussi une dimension historique, et le fait qu'il ait émergé à une période où la compréhension du monde était moins développée qu'actuellement, a conforté son finalisme, le rendant souvent inadapté pour décrire et partager la mécanique du vivant dont nous avons aujourd'hui une connaissance plus riche et plus complexe. En particulier, l'usage trompeur de métaphores renforce l'idée d'une construction « pensée » du vivant. Ainsi, présenter de manière synthétique ce qu'est le vivant et comment il s'est constitué, tout en tenant compte des nuances imposées par la rigueur scientifique, est un exercice périlleux.

Vignette (© Inserm).

¹ Système de pensée qui admet la finalité comme principe d'explication des phénomènes dans l'univers en général ou dans un domaine limité (définition du centre national de ressources textuelles et lexicales).

² Voir l'ensemble des mesures prises par l'administration Américaine depuis le 20 janvier (p.e. : <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/01/defending-women-from-gender-ideology-extremism-and-restoring-biological-truth-to-the-federal-government/>).



Unité mixte de recherche UMR RESTORE et Plateforme éthique et biosciences, Génotoul Societal, Université de Toulouse et CHU de Toulouse, France.

jean-christophe.pages@univ-tlse3.fr

L'archéologie moléculaire des formes vivantes [6], depuis leur émergence jusqu'à la théorie endosymbiotique³, montre que la formation des structures biologiques contemporaines est le fruit du hasard des interactions chimiques alimentées par la diversité d'une *soupe primordiale* contenant des composants dont la réactivité chimique a produit les molécules organiques qui nous constituent. L'origine stellaire de molécules initiales est régulièrement documentée [7]. S'il est difficile de reproduire la séquence des réactions dont ont émergé les structures biologiques actuelles, les résultats des recherches en chimie, en métabolisme et en génétique suggèrent des scénarios possibles. Dans ce cadre, un point mérite d'être mentionné, celui de l'irréversibilité [8]. Celle-ci se comprend tant à l'échelle moléculaire, qu'en termes d'évolution du vivant dans son environnement. Par exemple, une différence de réactivité de molécules hétérochirales⁴, et leurs interactions avec les ARN, expliquent la composition quasi-exclusive des protéines en acides aminés de la série L⁵ [9, 10]. Cela est aussi illustré par le fait que lors de l'évolution, certaines étapes réduisent le champ des possibles par des bifurcations qui conditionnent irréversiblement la structure des organismes émergents. Citons, l'universalité du code génétique ou encore l'organisation anatomique des animaux, qui est gouvernée par des familles communes de gènes du développement comme les gènes *HOX*. Les 11 classes de gènes *HOX* retrouvées chez les animaux dérivent d'un gène ancestral unique, et cela explique l'organisation axiale des eumétazoaires (animaux à l'exception des éponges).

Notons que, si les propriétés physico-chimiques contribuent à la structure des formes vivantes, y compris pour les organismes pluricellulaires [11], l'origine chimique du vivant, génétique comprise, n'induit aucun finalisme.

³ La théorie endosymbiotique, est la théorie selon laquelle les cellules eucaryotes résultent d'interactions étroites entre des archées et des bactéries (voir plus ci-après).

⁴ Ici, mélange de molécules possédant un carbone asymétrique qui comprend les différents énantiomères.

⁵ Les acides aminés sont quasiment tous des molécules chirales de la série L.

Une étape clé a contribué à l'émergence du vivant lors de la phase prébiotique : la formation de barrières physiques [6, 12]. Les propriétés physico-chimiques des lipides constituant les membranes biologiques, ont concouru au confinement des réactions biochimiques qui se déroulaient auparavant en milieu ouvert et dissipatif [12]. Dans ces enceintes, les réactions chimiques ont favorisé les interactions et la synthèse de molécules complexes [13]. Les ARN, en particulier les ARN de transfert, par leur structure et leur réactivité catalytique [14] conjuguées à leurs interactions avec les acides aminés et les lipides, ont pu constituer les premières ébauches de génomes [15]. L'émergence d'une structure génétique est une étape clé. Elle n'extrait pas le vivant de sa nature chimique, mais conditionne ses capacités et modalités d'évolution, qui reposent dès lors principalement sur les changements génomiques, en lien avec une réactivité chimique et physique moléculaires. A partir de ce *RNAworld*⁶, plusieurs étapes importantes ont participé au développement du vivant. Citons le passage de génomes composés d'ARN à ceux formés d'ADN, une molécule plus stable mais dépourvue de capacités catalytiques, qui sont assurées par les protéines. Ce passage est lié à l'émergence du code génétique, étape clé du processus évolutif liée au rôle primordial des ARNt dans la structure des génomes des proto-organismes, et dont les modalités sont toujours sujettes à hypothèses [16]. La transition du prébiotique vers le vivant s'est concrétisée avec la formation du *Last Unique Common Ancestor* (LUCA)⁷ [17, 39] (→). (→) Voir m/s n° 12, 2022, page 990

La nature chimique du processus de réplication des acides nucléiques par complémentarité, bien que déterministe puisqu'elle conditionne le produit final, comporte un aspect aléatoire en termes de fidélité. Cette reproduction imparfaite constitue une propriété essentielle qui permet le processus d'évolution et contribue à une définition du vivant biologique⁸ : est vivant, un système qui se reproduit et évolue [18]. Très sommairement, deux types d'événements moléculaires de mutagenèse portent le potentiel évolutif : les variations ponctuelles de séquence nucléotidique et l'augmentation de taille des génomes par duplication, fusion et transferts de gènes (horizontaux, vectorisés). De ces combinaisons de modifications des génomes, naissent diversité et, surtout, accroissement de la complexité génétique et fonctionnelle. Les virus et les éléments mobiles ont contribué aux évolutions par transfert de gènes [19]. Tous les organismes sont ainsi en équilibre entre reproduction *fidèle* (conservation) et évolution (changement) [20]. L'étude d'organismes *minimaux*, produits par biologie synthétique, devrait permettre de mieux comprendre ces phénomènes [21].

La production continue de la diversité moléculaire issue des changements génétiques est soumise au processus de sélection. Indépendamment de l'idée d'un tri ou d'un choix, le maintien, le changement, ou l'élimination des séquences mutées ou nouvelles (issues d'un

transfert) est un processus multifactoriel qui résulte de l'interaction entre l'organisme et l'environnement. Cet ensemble intègre la notion de fardeau génétique, qui associe les contraintes structurelles des génomes et les ressources énergétiques et fonctionnelles des organismes [22]. La combinaison d'une absence d'effet délétère, d'un fardeau génétique *supportable*, voire d'une amélioration d'adaptation à l'environnement, contribue au maintien des séquences nouvelles ou modifiées (ou les deux). Un organisme moins bien adapté a une forte probabilité de disparaître, ou de perdre la modification. Les changements neutres, ne modifiant pas l'adaptation de l'organisme, contiennent un potentiel évolutif qui pourra s'exprimer secondairement. Avec la complexification des génomes, leur stabilité devient plus fragile, ce qui induit une pression de sélection vers l'émergence de systèmes de « réparation » de l'ADN. Les exaptations⁹ de gènes dérivés de virus ou de transposons sont des exemples d'enrichissement en séquences génomiques et en fonctionnalités sous la pression (→) Voir m/s n° 12, 2022, page 1016

d'une sélection [23, 40] (→). Les transposons ne sont donc pas des gènes égoïstes¹⁰, ils ont joué et jouent toujours un rôle dans l'évolution et les adaptations fonctionnelles des organismes. La sélection n'est donc pas un tri qui produirait un organisme *meilleur*. Ce qui persiste, est ce qui est possible. Ces mécanismes s'appliquent dès les premiers organismes bactériens issus de LUCA [24]. D'autres processus d'évolution entrent en jeu lorsque plusieurs organismes cohabitent. Les échanges moléculaires entre ces organismes favorisent coexistence, coévolution ou coopération. Selon la nature des échanges, les organismes pourront s'établir en (→) Voir m/s n° 5, symbiose [41] (→). 2024, page 460

À l'extrême, la symbiose se stabilise, l'organisme se complexifie, et on parle alors d'endosymbiose. Celle-ci permet les échanges de tout ou partie des génomes des organismes partenaires : se forme alors un nouvel organisme. C'est par endosymbiose que se sont formés les eucaryotes, possiblement à partir de trois bactéries [25]. Dans ce cas, la sélection est objectivement non compétitive [26].

Structures vivantes, les eucaryotes changent, s'adaptent, disparaissent, ou se complexifient, entre autres par agrégation [27]. Deux caractéristiques des eucaryotes pluricellulaires méritent attention : un mode de reproduction qui ne repose pas uniquement sur la

⁶ Terme qui synthétise la théorie de l'émergence du vivant autour de la formation, des interactions et de la réactivité biochimique des ARN.

⁷ LUCA est pluriel puisque vivant, unique rappelant surtout l'unicité moléculaire des génomes et du code génétique.

⁸ Précision utile car un étudiant m'a fait remarquer que cette définition s'appliquerait à une intelligence artificielle (IA)...

⁹ L'exaptation est une adaptation qui résulte de l'acquisition de caractères et fonctions, à partir de gènes dont les produits ne contribuaient initialement pas à ces caractères et fonctions.

¹⁰ Autre illustration de l'aspect fallacieux, trompeur, du langage.

division de l'organisme entier, et la présence de cellules de phénotypes différents dans un organisme unique. La diversité phénotypique des organismes pluricellulaire vient non d'une composition différente, mais d'une expression différentielle du génome par des mécanismes épigénétiques¹¹ [42] (→).

(→) Voir *m/s* n° 12, numéro thématique *Épigénétique*, 2024, pages 877-992

Des mutations ponctuelles, des remaniements génétiques, et le déplacement d'éléments mobiles participent à la diversité somatique des tissus [28]. La diversité des organismes pluricellulaires repose aussi sur des événements stochastiques qui surviennent au cours du développement [28], tels que les mutations somatiques, et les variations de formation des organes à l'échelle cellulaire [11, 27]. Cela est particulièrement évident dans le système nerveux central [29]. Il en résulte une complexité que ne saurait résumer la seule connaissance du génome de la cellule parentale. S'il ne faut pas surévaluer l'impact fonctionnel des hasards développementaux, on ne peut ignorer leur occurrence, qui rend ardue toute définition d'un état de référence pour un organisme. Ajoutons qu'évoluant dans un système ouvert et dynamique, les organismes sont modelés à (quasiment) chaque instant de leur existence, par des mécanismes épigénétiques notamment.

La conjonction d'un patrimoine génétique unique mais variable, d'une part de hasard développemental, et d'une histoire d'exposition à l'environnement, réduit la prédictibilité de la trajectoire de vie à l'échelle d'un individu. Pour les humains, la variabilité génétique est telle que l'on ne propose plus de génome de référence, mais que l'on considère désormais des pangénomes [43] (→).

(→) Voir *m/s*, hors série n° 1, 2024, page 75

Leur étude affine notre connaissance de la diversité génétique et dans de rares cas, sa valeur explicative des phénotypes observés par adaptation à des facteurs environnementaux [30]. Toutefois, même dans ces cas, pour une population donnée exposée à des facteurs spécifiques, par exemple des produits toxiques, les effets peuvent être différents d'un individu à l'autre, selon leur génome, tout en étant épidémiologiquement prévisibles à l'échelle de la population.

La sélection s'applique autant aux eucaryotes qu'aux procaryotes. La théorie de l'évolution proposée par Charles Darwin a apporté une vision dynamique des espèces, en rupture avec les visions fixistes antérieures [31], bien qu'il n'ait pas pu, au même titre que ses contemporains, s'exprimer sur les aspects moléculaires et génétiques, qui étaient alors inconnus et qui ont été inclus ultérieurement pour donner naissance à une théorie synthétique de l'évolution (ou néodarwinienne) [31, 32]. Cependant, les mécanismes moléculaires de spéciation restent encore incomplètement compris à l'échelle des organismes pluricellulaires. Dans ses étapes ultimes, les mutations et une reconfiguration du génome par réarrangements sont certainement clés, même en l'absence d'émergence de gènes nouveaux. Outre les mécanismes liés aux réorganisations génétiques, les changements épigénétiques peuvent s'avérer subtils [33]. *In fine*, ce sont les réorganisations génomiques qui, réduisant la fertilité avec les individus ancestraux, conduisent à la spéciation. Des continuums de fertilité

entre sous-espèces peuvent persister. Pour le genre *Homo*, les croisements entre Sapiens, Néandertal ou Dénisovien semblent avoir été possibles. Notons pourtant que les caryotypes des deux derniers ne sont pas connus (S. Pääbo communication personnelle). Rappelons aussi que nous ne possédons pas de « gènes de Néandertal » mais des allèles plus fréquemment observés chez Néandertal que chez Sapiens.

Selon les organismes, les effets sur la reproduction, l'adaptation à l'environnement, et les relations sociales auront un impact sur la dynamique des populations. Les phénomènes de coévolution et d'interactions entre organismes influent aussi. Deux exemples l'illustrent, les relations entre les plantes et les pollinisateurs [34], ou les adaptations évolutives aux infections et parasites et leurs effets sur les distributions alléliques chez l'humain. La sélection d'allèles particuliers du groupe sanguin Duffy explique la disparition de *Plasmodium vivax* en Afrique [30]. Dans ces systèmes complexes, il n'y a pas de modalité univoque de sélection, tant sur le plan des événements moléculaires que des cibles génétiques. Par convergence évolutive, une même fonction peut résulter de la combinaison de gènes différents. La connaissance des microbiotes, des capacités relationnelles entre individus, des phénomènes de coopération évolutive, mais aussi les relations antagonistes et de parasitisme, convergent finalement vers une vision de l'évolution où la compétition n'occupe pas une place centrale [35].

En ce qui concerne le fonctionnement du cerveau adulte humain, rappelons qu'il est difficile de faire la part entre génétique et événements stochastiques qui surviennent au cours de la neurogenèse [28]. L'organisation cérébrale dépend d'un programme génétique, cependant, les génomes ne contiennent pas suffisamment d'informations pour définir la neurogenèse ou la synaptogenèse à l'échelle cellulaire [36, 37]. Enfin, il n'existe aujourd'hui pas de définition de la conscience, mais plusieurs théories et une absence de méthode consensuelle pour les explorer [38]. Dans le contexte scientifique, ne pas disposer d'outils pour définir et étudier la conscience subjective, qui gouverne nos comportements et jugements, doit nous préserver de toute vision finaliste.

En conclusion, le vivant est structurellement variable et évolue grâce à cette propriété intrinsèque, la vie est mutation. L'apparente conservation des organismes pourrait n'être que l'expression d'une limite à la variation, celle qui permet de conserver les outils du changement ! Le hasard, sous condition de sélection, est la source centrale des différences. La sélection des organismes ne vise aucun optimum, pas même dans

¹¹ Épigénétique, voir la série *M/S* décembre 2024. Les éléments mobiles sont un élément de l'épigénétique.

l'environnement où ils se trouvent, qui lui-même est en évolution constante. Le vivant contemporain n'est que l'une des formes des possibles, celle qui résulte de plusieurs milliards d'années d'évolution. Chez l'humain, la génétique nous renseigne beaucoup, mais son expressivité, y compris pour les fonctions sociales, est conditionnée par les combinaisons alléliques héritées, les variations somatiques, et l'historique de vie. Il apparaît alors que, sur certaines questions, surinvestir la prédictivité en biologie est périlleux et, il n'est pas certain que l'éclosion de l'intelligence artificielle, à qui l'on prête une capacité de pouvoir régler la question, modifiera cela. Méfions-nous des constructions autoréalisatrices, qui ouvrent à manipulation. Jusqu'au siècle dernier, l'humanité a pu s'égarer dans l'idée que les hiérarchies sociales répondaient à *un impératif naturel*. Une telle vision résultait d'une méconnaissance de notre nature. La compréhension du vivant, depuis son émergence, change la donne. Il est finalement bien du devoir des biologistes de rappeler qu'aucune différence biologique ne saurait justifier un système de hiérarchie sociale. Cela rend possible un contrat social ouvert, non finaliste, intégrant une nature qui ne nous impose rien d'autre que notre responsabilité vis-à-vis d'elle, et qui considère les différences et les singularités comme des états de fait.

Notre monde est celui de l'impermanence, dans lequel la négociation et l'adaptation sont la règle et constituent un infini « *work in progress* ». Sachons utiliser nos connaissances pour en influencer l'évolution avec une vision apaisée des relations humaines et environnementales. ♦

Life is shaped by differences not supporting any hierarchy

LIENS D'INTÉRÊT

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article

RÉFÉRENCES

1. Benasayag M. *La singularité du vivant*. Paris : Le Pommier 2017.
2. Zoloth L. The ethical scientist in a time of uncertainty. *Cell* 2021 ; 184 : 1430-9.
3. Harden KP. Genetic determinism, essentialism and reductionism: semantic clarity for contested science. *Nat Rev Genet* 2023 ; 24 : 197-204.
4. Fedorenko E, Piantadosi ST, Gibson EAF. Language is primarily a tool for communication rather than thought. *Nature* 2024 ; 630 : 575-86.
5. Zuberbühler K, Bickel B. Transition to language: From agent perception to event representation. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci* 2022 13 : e1594.
6. Joyce GF, Szostak JW. Protocells and RNA self-replication. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 2018 ; 10 : a034801.
7. Berné O, Martin-Drumel MA, Schroetter I, et al. Formation of the methyl cation by photochemistry in a protoplanetary disk. *Nature* 2023 ; 621 : 56-9.
8. Peng Z, Plum AM, Gagrani P, Baum DA. An ecological framework for the analysis of prebiotic chemical reaction networks. *J Theor Biol* 2020 ; 507 : 110451.
9. Deng M, Yu J, Blackmond DG. Symmetry breaking and chiral amplification in prebiotic ligation reactions. *Nature* 2024 ; 626 : 1019-24.
10. W grzyn E, Mejdrová I, Müller FM, et al. RNA-templated peptide bond formation promotes L-homochirality. *Angew Chem Int Ed Engl* 2024 ; 63 : e202319235.
11. Ramos R, Swedlund B, Ganesan AK, et al. Parsing patterns: Emerging roles of tissue self-organization in health and disease. *Cell* 2024 ; 187 : 3165-86.
12. Christy JC, Taeyang A, Yei-Chen L, et al. Protocells by spontaneous reaction of cysteine with short-chain thioesters. *Nat Chem* 2025 ; 17 : 148-55
13. Johnston WK, Unrau PJ, Lawrence MS, et al. RNA-catalyzed RNA polymerization: accurate and general RNA-templated primer extension. *Science* 2001 ; 292 : 1319-25.
14. Müller F, Escobar L, Xu F, et al. A prebiotically plausible scenario of an RNA-peptide world. *Nature* 2022 ; 605 : 279-84.

15. Fine JL, Pearlman RE. On the origin of life: an RNA-focused synthesis and narrative. *RNA* 2023 ; 29 : 1085-98.
16. Di Giulio M. Theories of the origin of the genetic code: Strong corroboration for the coevolution theory. *BioSystems* 2024 ; 239 : 105217.
17. Moody ERR, Álvarez-Carretero S, Mahendrarajah TA, et al. The nature of the last universal common ancestor and its impact on the early Earth system. *Nat Ecol Evol* 2024 ; 8 : 1654-66.
18. Chodasewicz K. Evolution, reproduction and definition of life. *Theory Biosci* 2014 ; 133 : 39-45.
19. Soucy SM, Huang J, Gogarten JP. Horizontal gene transfer: building the web of life. *Nat Rev Genet* 2015 ; 16 : 472-82.
20. Sandberg TE, Wise KS, Dalldorf C, et al. Adaptive evolution of a minimal organism with a synthetic genome. *iScience* 2023 ; 26 : 107500.
21. James JS, Dai J, Chew WL, Cai Y. The design and engineering of synthetic genomes. *Nat Rev Genet* 2024 ; doi: 10.1038/s41576-024-00786-y.
22. Moger-Reischer RZ, Glass JI, Wise KS, et al. Evolution of a minimal cell. *Nature* 2023 ; 620 : 122-7.
23. Henriques WS, Young JM, Nemudryi A, et al. The diverse evolutionary histories of domesticated metavirus capsid genes in mammals. *Mol Biol Evol* 2024 ; 41 : msae061.
24. Di Giulio M. The late appearance of DNA, the nature of the LUCA and ancestors of the domains of life. *BioSystems* 2021 ; 202 : 104330.
25. López-García P, Moreira D. The syntrophy hypothesis for the origin of eukaryotes revisited. *Nat Microbiol* 2020 ; 5 : 655-67.
26. Vosseberg J, van Hooff JJE, Köstlbacher S, et al. The emerging view on the origin and early evolution of eukaryotic cells. *Nature* 2024 ; 633 : 295-305.
27. Parker J. Organ evolution: Emergence of multicellular function. *Annu Rev Cell Dev Biol* 2024 ; 40 : 51-74.
28. Sran S, Ringland A, Bedrosian TA. Building the brain mosaic: an expanded view. *Trends Genet* 2024 ; 40 : 747-56.
29. Lee PJ, Sun Y, Soares AR, et al. Alternative translation initiation produces synaptic organizer proteoforms with distinct localization and functions. *Mol Cell* 2024 ; 84 : 3967-78.e8.
30. Sharp PM, Plenderleith LJ, Culleton RL, Hahn BH. Origin of the human malaria parasite *Plasmodium vivax*. *Trends Parasitol* 2024 ; 40 : 562-72.
31. Charlesworth D, Barton NH, Charlesworth B. The sources of adaptive variation. *Proc Biol Sci* 2017 ; 284 : 20162864.
32. Shapiro J, Noble D. What prevents mainstream evolutionists teaching the whole truth about how genomes evolve? *Prog Biophys Mol Biol* 2021 ; 165 : 140-52.
33. Joshy D, Santpere G, Yi SV. Accelerated cell-type-specific regulatory evolution of the human brain. *Proc Natl Acad Sci USA* 2024 ; 121 : e2411918121.
34. Bascompte J, Scheffer M. The resilience of plant-pollinator networks. *Annu Rev Entomol* 2023 ; 68 : 363-80.
35. Medina M, Baker DM, Baltrus DA, et al. Grand challenges in coevolution. *Front Ecol Evol* 2022 ; 9 : 618251.
36. Fair T, Pollen AA. Genetic architecture of human brain evolution. *Curr Opin Neurobiol* 2023 ; 80 : 102710.
37. Mitchell KJ. Variability in neural circuit formation. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 2024 ; 16 : a041504.
38. He BJ. Towards a pluralistic neurobiological understanding of consciousness. *Trends Cogn Sci* 2023 ; 27 : 420-32.
39. Forterre P, Gaïa M. Les virus et l'émergence des cellules eucaryotes modernes. *Med Sci (Paris)* 2022 ; 38 : 990-8.
40. Heisserer C, Selsos MA, Jean-Michel Drezzen JM. Des virus bénéfiques pour les plantes et les animaux. *Med Sci (Paris)* 2022 ; 38 : 1016-27
41. Jouault T. Symbiose, ou de la complexité de vivre ensemble ! *Med Sci (Paris)* 2024 ; 40 : 460.
42. Bourc'his D, Rougeulle C (eds). Épigénétique : développement et destin cellulaire. *Med Sci (Paris)* 2024 ; 40 : 877-992.
43. Benarroch L. L'intégration de la grande diversité génétique de la population humaine grâce au pangéome. *Med Sci (Paris)* 2024 ; 40 (hs1) : 75.

TIRÉS À PART

J.C. Pagès