

**ACTES DE LA TABLE RONDE**  
**« DARWINISME ET ÉVOLUTION HUMAINE : UNE NÉCESSAIRE**  
**RÉCONCILIATION » (Bruxelles, 3 décembre 2009)**

---

**Table des matières**

<b>Table ronde « Darwinisme et évolution humaine : une nécessaire réconciliation »</b> .....	13
<b>Résumés des communications</b>	
LADRIÈRE, L. : Mécanismes moléculaires de l'évolution : les outils nécessaires.....	15
ORBAN, R. : L'homme fossile : état de la question.....	17
COSTAGLIOLA, S. : Processus biochimiques adaptatifs dans l'évolution des primates supérieurs et de l'homme : l'exemple de l'HCG.....	19
LOURYAN, S. & VANMUYLDER, N. : Flexion crânienne et dessein intelligent : histoire d'une imposture. Résumé et document de travail.....	21
COSTAGLIOLA, S. & LADRIÈRE, L. : Atelier de Biologie moléculaire : « Comment optimiser l'enseignement de l'évolution humaine aux étudiants ? Comment mieux l'inscrire dans le cadre darwinien ? ».....	25
VERCAUTEREN, M. & CREVECOEUR, I. : Atelier de Paléontologie humaine : « L'homme fossile : état de la question. Comment optimiser l'enseignement de l'évolution humaine aux étudiants ? ».....	27

## **Table ronde « Darwinisme et évolution humaine : une nécessaire réconciliation » (Bruxelles, 3 décembre 2009)**

---

### **CONTEXTE**

En 2009, la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire (SRBAP/KBVAP) a célébré le bicentenaire de la naissance de Darwin (1809) et le cent-cinquantième de la publication de son ouvrage majeur « De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle » (1859) en organisant une Table ronde pour les enseignants du secondaire dans le cadre de l'Institut de la Formation en Cours de Carrière (I. F. C., Communauté française de Belgique).

*Alors que paraissent ici ou là quelques ouvrages qui veulent contester le fait évolutif en présentant un florilège de fantasmagories et d'arguments non scientifiques, alors que divers groupes de pression tentent de suggérer qu'un plan, qu'un dessein détermine le cours de l'Évolution, il est bon de rappeler avec force que c'est la démarche rationnelle et scientifique qui a permis au cours des siècles de découvrir, de décrire les caractéristiques du monde dans lequel nous vivons et de proposer une représentation de plus en plus exacte de la place de l'homme dans la nature. (Taquet & Léna, 2009).*

### **LIEU**

Université Libre de Bruxelles (ULB), Faculté de Médecine, Route de Lennik 808, B-1070 Bruxelles.

### **ORGANISATEURS RESPONSABLES**

Nathalie VANMUYLDER, Présidente de la SRBAP

Stéphane LOURYAN, membre du Conseil d'Administration de la SRBAP

### **OBJECTIF**

Quoique l'évolution propre de l'homme n'échappe nullement aux règles de l'évolution « darwinienne », l'exemple de l'homínisation n'est que rarement évoqué dans les enseignements de base, en raison notamment d'une certaine confusion dans la présentation des données, et de l'intrusion de conceptions relevant du « dessein intelligent » dans les documents de vulgarisation scientifique. La table ronde avait pour objectif de faire l'état des lieux sur la question et d'informer les participants des données scientifiques qui autorisent – et imposent – d'inclure l'exemple de l'espèce humaine dans les mécanismes de l'évolution. Telle qu'elle est conçue, cette activité complète les manifestations sur l'évolution darwinienne dans le champ très spécifique de l'évolution biologique de l'homme.

---

<sup>1</sup> TAQUET P. & LÉNA P., 2009. Les Académies des Sciences et l'enseignement de l'Évolution, 80 p. [www.academie-sciences.fr/enseignement/Darwin\\_260108.pdf](http://www.academie-sciences.fr/enseignement/Darwin_260108.pdf)

## SCHÉMA DE LA JOURNÉE

Après une présentation générale des participants, la première partie de la journée a été consacrée à des exposés relatifs à l'état des connaissances. La seconde partie comprenait des ateliers interactifs où se sont dégagées des pistes destinées à mieux faire percevoir aux élèves le rôle de l'évolution darwinienne dans l'évolution de l'homme, et à mieux répondre aux objections d'ordre créationniste. La base documentaire de ces ateliers était essentiellement les données exposées le matin ; des références bibliographiques ont été transmises aux participants.

Les deux parties de la journée ont été séparées par une visite au Musée d'Anatomie et Embryologie de la Faculté de Médecine de l'ULB, dont le contenu peut constituer un puissant outil didactique à l'appui de la compréhension du fonctionnement du corps humain, de l'évolution de l'homme et des relations de celui-ci avec les autres vertébrés, notamment les primates.

## CONTENU ET PROGRAMME

Après une introduction biologique générale sur les mécanismes génétiques et épigénétiques de l'évolution, l'état des lieux en matière de paléontologie humaine a été présenté en insistant sur l'évolution morphologique, les migrations, le rôle du milieu, *etc.* Ensuite, quelques exemples d'évolution de systèmes biochimiques chez les primates et l'homme ont permis de mettre en exergue des exemples de modifications hautement adaptatives. Enfin, on a démontré que l'immixtion des théories de la flexion crânienne dans le discours anthropologique repose sur une imposture intellectuelle appuyée par des tenants du dessein intelligent.

**9 h :** *Mécanismes moléculaires de l'évolution : les outils nécessaires.*

L. LADRIÈRE (Professeure de Biologie, Laboratoire d'Enseignement de la Biologie, Faculté de Médecine, ULB).

**9 h 30 :** *L'homme fossile : état de la question.*

R. ORBAN (Professeure de Paléanthropologie à l'ULB et chef de travaux agrégé à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, IRScNB), M. VERCAUTEREN (Professeure de Biologie et d'Anthropologie à l'ULB), I. CREVECOEUR (Chercheuse à l'IRScNB et au CNRS).

**10 h :** *Processus biochimiques adaptatifs dans l'évolution des primates supérieurs et de l'homme : l'exemple de l'HCG.*

S. COSTAGLIOLA (Maître de recherche FNRS, Laboratoire de Génétique et IRIBHM, Faculté de Médecine, ULB).

**10 h 30 :** Pause-café

**11 h :** *Flexion crânienne et dessein intelligent : histoire d'un mythe et d'une imposture.*

S. LOURYAN (Professeur d'Anatomie et Embryologie, Faculté de Médecine ULB, membre de l'Académie royale de Médecine de Belgique), N. VANMUYLDER (Maître-assistante, Unité d'Enseignement et de Recherche de la catégorie paramédicale de la H. É. F. Ferrer ; assistante en anatomie, Faculté de Médecine, ULB ; Présidente de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire). Laboratoire d'Anatomie, Biomécanique et Organogenèse, Faculté de Médecine, ULB.

**11 h 30 :** Discussion

**12 h :** Repas libre

**13 h 30 :** Visite du Musée d'Anatomie et Embryologie humaines de la Faculté de Médecine de l'ULB, sous la conduite de Stéphane LOURYAN et Nathalie VANMUYLDER.

**14 h :** Ateliers avec les participants : « Comment optimiser l'enseignement de l'évolution humaine aux étudiants ? Comment mieux l'inscrire dans le cadre darwinien ? ».

## Mécanismes moléculaires de l'évolution : les outils nécessaires

Laurence LADRIÈRE

---

L'évolution correspond à la transformation des espèces vivantes au cours des générations. Elle peut aboutir à la formation de nouvelles espèces et donc à une diversification des formes de vie. Elle rend compte de l'origine de la vie et des liens de parenté entre les individus. L'évolution est fondée sur un grand nombre de faits scientifiques. L'anatomie et la physiologie comparées, l'embryologie, l'éthologie et la paléontologie montrent la réalité du fait évolutif. La génétique, quant à elle, décrit les mécanismes des processus évolutifs.

La notion d'évolution ne va pas de soi. En effet, le fait que les espèces ne soient pas immuables mais évoluent dans le temps afin de donner de nouvelles espèces n'est généralement pas observable à l'échelle d'écoulement de temps humain. C'est tout au long de l'histoire des sciences que la « Théorie de l'évolution » a elle-même évolué. L'idée d'évolution n'est pas apparue subitement dans nos pensées. On est ainsi passé de la notion de génération spontanée et de fixisme (XVII<sup>ème</sup> siècle) au transformisme et mutationnisme (XVIII<sup>ème</sup> siècle) ; la vision statique de la chaîne des êtres (espèces fixes, immuables ; monde hiérarchisé) est alors remplacée par une vision gradualiste de l'évolution (Lamarck). Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les développements de la génétique et la redécouverte des lois de Mendel (lois de l'hérédité) ont permis de donner aux mécanismes de l'évolution un *fondement génétique*.

L'évolution génétique semble être un processus principalement dominé par la nécessité des organismes à survivre et à se reproduire dans un monde perpétuellement en changement.

Il ne fait aucun doute qu'au cours de l'histoire de la vie, de nouvelles fonctions de gènes sont apparues ; fonctions qui ont certainement eu pour conséquence de créer différents modes d'existence. Des fonctions métaboliques plus anciennes ont dû être conservées tandis que de nouvelles fonctions se sont développées. Ceci signifie que des anciens gènes ont été préservés et que des nouveaux gènes avec nouvelles fonctions ont évolué. La question est de savoir d'où vient cet ADN susceptible d'acquérir de nouvelles fonctions.

Contrairement à ce que les scientifiques pensaient, encore fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, des groupes d'animaux très différents peuvent partager la plupart voire l'ensemble des gènes (ainsi que les protéines qu'ils codent) intervenant dans la construction et l'organisation de leur anatomie. Ceci signifie que des protéines similaires, mais fonctionnellement interchangeables, peuvent produire des anatomies d'animaux très distinctes. Cette constatation relativement paradoxale s'applique également à l'homme. En effet, sur l'ensemble du génome, environ 1,5 % seulement code pour des protéines. La majeure partie du génome correspond donc à de l'ADN non codant. Toutefois, certaines de ces séquences non codantes participent à une tâche essentielle : la *régulation de l'expression de gènes*. Ces séquences, cis-régulatrices (contrôle de l'expression de gènes voisins), constituent l'un des éléments de ce qu'on appelle les *commutateurs génétiques*, activant ou inhibant l'expression de gènes à un moment donné et à un endroit précis de l'organisme. La deuxième composante de ces commutateurs génétiques sont les *facteurs de transcription*, protéines

se liant spécifiquement aux séquences cis-régulatrices afin d'exprimer ou non les gènes qui en dépendent.

L'idée d'une frontière absolue entre gènes et environnement, ou encore entre l'inné et l'acquis, semble aujourd'hui s'estomper, et cède plutôt la place petit à petit à une autre notion plus riche et plus ouverte : la notion d'une *interaction entre les gènes et leurs environnements*. Les gènes ne sont pas des acteurs, ils constituent un répertoire de possibilités et/ou de contraintes, et leur utilisation varie en fonction de diverses circonstances. Les véritables acteurs de nos cellules sont en réalité les protéines ; leur activité est liée à leur forme tridimensionnelle, dépendant non seulement de l'expression de certains gènes, mais aussi d'interactions avec d'autres protéines nommées les *chaperones*. L'exploration des interactions entre les gènes et leur environnement ou leur histoire constitue un domaine de recherche appelé l'*épigénétique*, à savoir l'étude de ce qui se trouve en amont des gènes et ce qui contrôle leur utilisation. Des modifications épigénétiques acquises au cours de la vie peuvent ainsi persister, être transmises de génération en génération et entraîner des utilisations différentes de gènes participant ainsi à la singularité biologique d'un individu.

Toutefois, il semble que ces modifications épigénétiques participent également au développement de maladies telles que le cancer.

Les interactions entre les gènes et leur environnement ne sont pas encore complètement décortiquées mais ces interactions ont plus que probablement contribué, sur des temps relativement longs, à l'émergence de nouvelles espèces, à l'évolution.

### Bibliographie

- ATLAN H., 1999. *La fin du tout-génétique. Vers de nouveaux paradigmes en biologie ?* Paris, INRA éditions, 91 p.
- AMEISEN J. C., 2009. Entre gènes et environnement. *Pour la Science*, **63** : 88-94.
- BETTAYEH K., 2003. On n'hérite peut-être pas que de l'ADN. *Science & Vie*, **1029** : 64-69.
- CARROLL S. B., 2008. Evo-devo and an expanding evolutionary synthesis: a genetic theory of morphological evolution. *Cell*, **134** : 25-36.
- CARROLL S. B., PRUD'HOMME B. & GOMPEL N., 2009. La régulation des gènes, moteur de l'évolution. *Pour la Science*, **63** : 52-59.
- GRIFFITHS A. J. F., WESSLER S., LEWONTIN R. C. & CARROLL S. B., 2010. *Introduction à l'analyse génétique*. Bruxelles, De Boeck, 5<sup>ème</sup> édition, 856 p.
- HARRY M., 2001. *Génétique moléculaire et évolutive*. Paris, Maloine, 465 p.
- HUANGFU D., OSAFUNE K., MAEHR R., GUO W., EIJKELENBOOM A., CHEN S., MUHLESTEIN W. & MELTON D. A., 2008. Induction of pluripotent stem cells from primary human fibroblasts with only Oct4 and Sox2. *Nature Biotechnology*, **26** (11) : 1269-1275.
- LEWONTIN R., 2003. *La triple hélice : les gènes, l'organisme, l'environnement*. Paris, Le Seuil. 154 p.
- MORANGE M., 2005. Quelle place pour l'épigénétique ? *M/S : Médecine Sciences*, **21** (4) : 367-369.
- PRUD'HOMME B., GOMPEL N., CARROLL S. B., 2007. Emerging principles of regulatory evolution. *PNAS*, **104** : 8605-8612.
- VANDERMEERS F., KETTMANN R. & WILLENS L., 2008. Implication des modifications épigénétiques dans les cancers : développement de nouvelles approches thérapeutiques. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **12** : 211-218.
- WRAY G. A., 2007. The evolutionary significance of cis-regulatory mutations. *Nature Reviews Genetics*, **8** : 206-216.

Adresse de l'auteur :

Laurence LADRIÈRE  
Laboratoire d'Enseignement de la Biologie  
Université Libre de Bruxelles (Erasmus), CP609/01  
Route de Lennik, 808  
B-1070 BRUXELLES (Belgique)  
Laurence.Ladriere@ulb.ac.be

## L'homme fossile : état de la question

Rosine ORBAN

Les thèmes ci-dessous ont été abordés dans deux exposés (par Rosine ORBAN et Isabelle CREVECOEUR), et dans un atelier (par Martine VERCAUTEREN).

Depuis que Schmerling, professeur à l'Université de Liège, a authentifié en 1829 le premier fossile humain, les découvertes se sont accumulées. Il ne se passe pas de mois ni d'année sans que l'une ou l'autre équipe de fouilleurs ne mette au jour des « témoins-clés » de notre passé (Fig. 1).

C'est en Afrique qu'on trouve les plus anciens primates préhumains : Toumaï, Orrorin (vieux de 7 à 6 millions d'années),

sui vis du buissonnement des australopitèques. Ces derniers, véritables bipèdes mais au petit cerveau, se sont répandus dans l'est et le sud du continent africain.

Il y a environ 2 millions d'années, ils ont évolué vers le stade d'*Homo habilis*, puis vers celui d'*Homo erectus* qui migrera en Asie et en Europe. Pendant une période de près de 2 millions d'années, le cerveau de l'Homme triplera de volume, les techniques de taille de la pierre se perfectionneront, le feu sera maîtrisé. Les plus anciens restes humains trouvés sur le continent européen proviennent d'Atapuerca en Espagne. On estime leur âge à 800.000 ans.

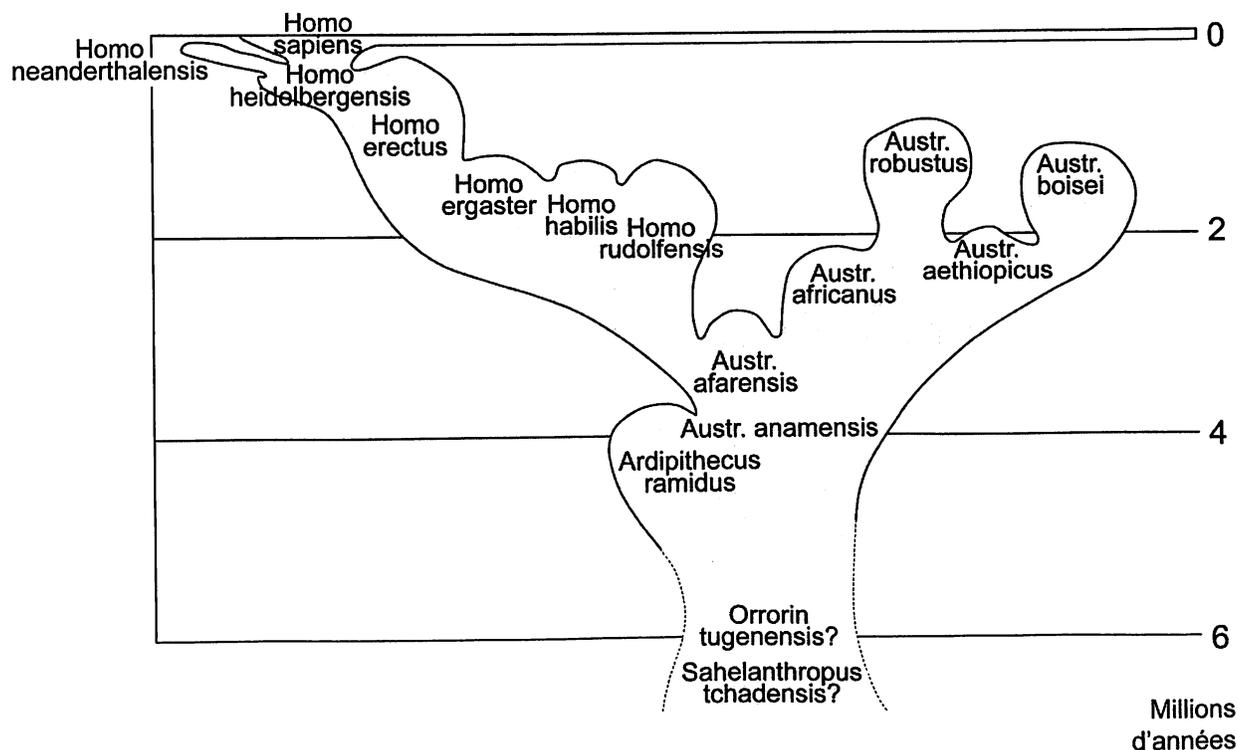


Fig. 1 — Arbre phylogénétique (phylétique ou phylogénétique) des hominidés. Dessin R. Orban, IRScNB.

Vers 300.000 ans, les populations d'*Homo erectus* se transforment graduellement en *Homo sapiens* archaïques d'où sont issus les Néandertaliens qui peupleront l'Europe et le Moyen-Orient entre 120.000 et 35.000 ans.

De nombreux témoignages de la culture des Néandertaliens sont parvenus jusqu'à nous. Les plus vieux fossiles humains trouvés en Belgique appartiennent à ce groupe. Parmi ceux-ci, on peut citer les squelettes de Spy trouvés en 1886.

Il y a 30.000 ans, en Europe, les populations néandertaliennes sont remplacées par des *Homo sapiens* anatomiquement modernes, tout à fait semblables à nous, venus d'Afrique ou d'Asie. Artisans de la culture du Paléolithique supérieur, ils ont aussi produit de superbes œuvres d'art comme les peintures rupestres de Lascaux.

Chaque nouvelle découverte de fossile, chaque nouvelle méthode de datation permet d'affiner nos connaissances sur l'histoire évolutive du mammifère humain. Les acquis s'accumulent depuis les découvertes de Schmerling il y a 180 ans et sont le fondement des avancées en paléontologie humaine.

### Bibliographie

- COPPENS Y. & PICQ P. (éd.), 2001. *Aux origines de l'humanité*. Paris, Fayard ; vol. 1. *De l'apparition de la vie à l'homme moderne*, 649 p. ; vol. 2. *Le propre de l'homme*, 569 p.
- DAWKINS R., 2007. *Il était une fois nos ancêtres. Une histoire de l'évolution*. Paris, Laffont, 798 p.
- GRIMAUD-HERVÉ D., SERRE F., BAHAIN J.-J. & NESPOULET R., 2005. *Histoires d'ancêtres. La grande aventure de la Préhistoire*. Paris, Artcom/Errance, (4<sup>ème</sup> éd. revue et augmentée), 135 p.
- PICQ P., 2007. *Lucy et l'obscurantisme*. Paris, Odile Jacob, 305 p.
- SILK J. & BOYD R., 2003. *L'aventure humaine. Des molécules à la culture*. Bruxelles, De Boeck Université, 606 p.
- SUSANNE C. & POLET C. (éd), 2005. *Dictionnaire d'anthropobiologie*. Bruxelles, De Boeck & Larcier s.a., 401 p.

### Autres références

#### Exposition permanente

« Des Hommes et des mammouths »  
Musée des Sciences naturelles de Belgique  
[www.sciencesnaturelles.be](http://www.sciencesnaturelles.be)  
29, rue Vautier B-1000 Bruxelles

#### Sites Internet

[www.hominides.com/index.html](http://www.hominides.com/index.html)  
« Hominidés. Les évolutions de l'homme ». Préhistoire – Évolution de l'homme de la préhistoire à nos jours et de Toumaï à *Homo sapiens*.

[www.naturalsciences.be/ap/europancestors](http://www.naturalsciences.be/ap/europancestors)  
« Europ@ncestors ». Évolution de l'Homme, particulièrement en Europe (réalisé par P. SEMAL, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, IRScNB).

[www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol)  
« Évolution. De l'origine de la vie aux origines de l'homme » : dossier du CNRS et du Muséum d'Histoire naturelle de Paris, France, 2003-2007.

[www.talkorigins.org](http://www.talkorigins.org)  
« The TalkOrigins Archive » is a collection of articles and essays, most of which have appeared in talk.origins at one time or another. The primary reason for this archive's existence is to provide mainstream scientific responses to the many frequently asked questions (FAQs) that appear in the talk.origins newsgroup and the frequently rebutted assertions of those advocating intelligent design or other creationist pseudosciences.

<http://adia.naturalsciences.be>  
« ADIA – Association pour la Diffusion de l'Information Archéologique ». Site Internet pour les enfants à partir de 8 ans. On y parle de l'évolution des Hommes et de leur vie pendant la Préhistoire.

[www.lesmondesdarwiniens.org](http://www.lesmondesdarwiniens.org)  
Ce site est dédié au livre « Les mondes darwiniens. L'évolution de l'évolution » par T. HEAMS, P. HUNEMAN, G. LECOINTRE & M. SILBERSTEIN, 2009. Éditions Syllepse, Paris : 1.104 p.

Adresse de l'auteur :

Rosine ORBAN  
Laboratoire d'Anthropologie  
Institut royal des Sciences naturelles de Belgique  
Rue Vautier, 29  
B-1000 BRUXELLES (Belgique)  
[Rosine.Orban@sciencesnaturelles.be](mailto:Rosine.Orban@sciencesnaturelles.be)

## Processus biochimiques adaptatifs dans l'évolution des primates supérieurs et de l'homme : l'exemple de l'HCG

Sabine COSTAGLIOLA

Le récepteur de la TSH est un des trois membres de la famille des récepteurs aux hormones glycoprotéiques, complétée par les récepteurs à la LH/CG et le récepteur à la FSH. Le récepteur TSH est exprimé dans la thyroïde, tandis que les récepteurs LH/CG et FSH sont exprimés dans l'ovaire et le testicule, et sont donc impliqués dans des processus liés à la reproduction. Le récepteur à la FSH est activé par l'hormone hypophysaire FSH et le récepteur LH/CG par l'hormone hypophysaire LH/CG et lors de la grossesse par l'hormone HGC (ou hCG) produite par le placenta. Ces trois récepteurs partagent plus de 40 % d'homologie de séquence dans leur domaine de liaison à l'hormone. De même, les hormones (formées d'une sous-unité alpha commune et d'une sous-unité bêta spécifique) partagent entre elles aussi environ 40 % d'homologie. Par une analogie simple, on pourrait comparer un couple hormone-récepteur à celui formé par une clef, l'hormone et une serrure, le récepteur. Il est remarquable de constater à quel point l'évolution darwinienne a réussi à étanchéifier le système, à savoir, éviter une activation illicite d'un récepteur par une hormone qui ne serait pas la sienne. Pour reprendre notre analogie, éviter en quelque sorte, que les trois clefs n'ouvrent les trois serrures. Ainsi, aux concentrations physiologiques rencontrées dans le sang, chaque couple hormone-récepteur est parfaitement spécifique : par exemple, la TSH ne stimule pas le récepteur à la LH et la LH ne stimule pas le récepteur à la FSH.

Mais lors du premier trimestre de la grossesse, les concentrations sanguines d'HCG (dont le récepteur naturel est le récepteur à

la LH/CG) sont si élevées que cette hormone peut briser, sous certaines conditions, la barrière de spécificité et se mettre à stimuler le récepteur à la TSH et/ou le récepteur à la FSH, générant ainsi des situations pathologiques.

La CG est apparue chez les primates Haplorrhiniens (incluant les singes du nouveau monde à longue queue ainsi que les singes de l'ancien monde, y compris les grands singes et l'homme) (Fig. 2) par duplication du gène bêta de la LH et plusieurs copies de ce gène se sont accumulées dans le génome durant l'évolution des primates, d'une copie chez les singes du nouveau monde jusqu'à six copies chez l'homme. La sous-unité bêta de la CG présente 80 % d'identité avec la sous-unité bêta de la LH et les deux hormones agissent sur le même récepteur LH/CG. Chez l'humain, la concentration sérique d'HCG augmente

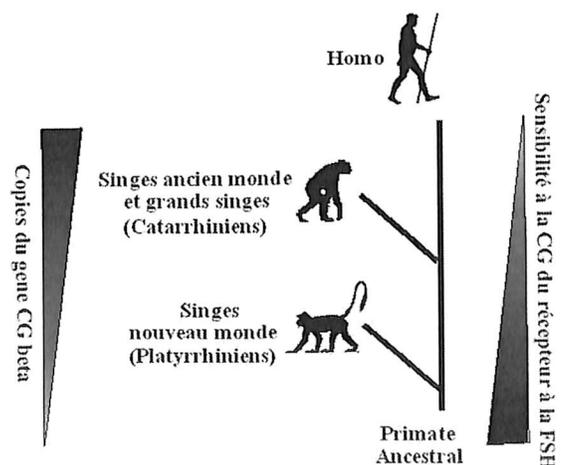


Fig. 2 — Évolution parallèle chez les primates du nombre de copies du gène de la CG bêta et de la sensibilité du récepteur à la FSH vis-à-vis de cette hormone.

fortement durant le premier trimestre de la grossesse pour atteindre des taux jusqu'à 1.000 fois supérieurs à celui nécessaire pour stimuler *in vitro* le récepteur LH/CG. Il existe donc bien un risque que l'HCG puisse briser la barrière de spécificité mise en place pour chaque couple hormone/récepteur et se mette à stimuler de manière illégitime le récepteur à la FSH et le récepteur à la TSH. Si nous reprenons notre analogie précédente, une clef (l'HCG) pourrait alors ouvrir trois serrures (récepteurs LHCGr, TSHr et FSHr).

Ainsi, il a été observé qu'une légère augmentation de la sensibilité à la CG de récepteurs FSH mutants suffisait pour induire un syndrome sévère d'hyperstimulation ovarienne chez les patientes porteuses de cette mutation, démontrant que l'évolution avait sélectionné des taux circulants de CG très proches de la toxicité.

Il a été démontré que chez les Platyrrhiniens (singes du nouveau monde), qui ne présentent qu'une seule copie du gène bêta de la CG (et donc peut être des taux limités de CG circulants), le récepteur FSH est fortement stimulé par la CG (Fig. 2). La séquence de ce gène comparée à celle du récepteur à la FSH présent chez certains prosimiens ou mammifères non primates, montre que cette perte de spécificité est la conséquence d'une accumulation lors de l'évolution de mutations dans ce récepteur. Ceci suggère donc qu'en l'absence d'une forte pression de sélection exercée par la CG, le récepteur de la FSH s'est « autorisé » une sensibilité négligeable vis-à-vis d'une autre hormone que la FSH (Fig. 2).

À l'inverse, chez les Catarrhiniens (comprenant les singes de l'ancien monde et les hominoïdes) dont le génome a accumulé durant l'évolution plusieurs copies du gène CG, une forte sélection purificatrice s'est exercée sur le récepteur à la FSH (Fig. 2), prévenant l'accumulation de mutations dans ce récepteur afin de ne pas briser la barrière de spécificité hormonale.

## CONCLUSION

Il est probable que le gène FSHR ancestral commun au moment de la séparation des simiens et des prosimiens présentait *par hasard* une structure qui n'était potentiellement pas sensible à la CG. Par la suite, les FSHRs des Platyrrhiniens ont accumulé un ensemble de mutations qui rendent ce récepteur sensible à des hauts taux de CG. Les singes du nouveau monde n'ayant qu'une copie de CG bêta et donc vraisemblablement produisant peu de CG, ces substitutions ont pu s'accumuler et persister chez les Platyrrhiniens en l'absence d'une forte pression évolutive exercée par la CG. *A contrario*, chez les primates supérieurs, l'accumulation de copies du gène CG et les hauts taux circulants de cette hormone, ont contribué à exercer une forte pression évolutive sur ce récepteur qui a maintenu celui-ci structurellement réfractaire à une interaction avec ce ligand.

Les données fonctionnelles obtenues *in vitro* soutiennent fortement l'idée qu'une pression de sélection ait été exercée par la CG sur le gène FSHR. Il semble donc qu'au cours de l'évolution de ces couples hormones/récepteurs, des mécanismes aient été mis en place pour limiter au maximum le risque d'activation illégitime par la CG.

## Glossaire

CG : *chorionic gonadotropin*

FSH : *follicle stimulating hormone*

HCG (ou hCG) : *human chorionic gonadotropin*

LH : *luteinizing hormone*

r : *receptor*

TSH : *thyroid stimulating hormone*

Adresse de l'auteur :

Sabine COSTAGLIOLA

Institut de Recherche interdisciplinaire en  
Biologie humaine et moléculaire (IRIBHM)

Université Libre de Bruxelles (Erasmus), CP 602

Route de Lennik, 808

B-1070 BRUXELLES (Belgique)

scostag@ulb.ac.be

## Flexion crânienne et dessein intelligent : histoire d'une imposture. Résumé et document de travail

Stéphane LOURYAN & Nathalie VANMUYLDER

---

### LE CONTEXTE

Depuis plusieurs années, nous assistons à des tentatives d'explication de l'évolution humaine par des « contraintes internes » liées à la flexion de la base du crâne (en particulier de l'os sphénoïde), avancées par Madame Anne Dambricourt-Malassé, chercheuse au CNRS attachée au Muséum d'Histoire naturelle de Paris (Dambricourt-Malassé, 1988, 1996, 2006). Ce « nouveau » paradigme nie les effets de l'évolution darwinienne, et retire au hasard et à la sélection naturelle tout rôle dans l'homínisation, au profit d'un « plan interne » en plusieurs phases de « contraction crânio-faciale » menant à l'*Homo sapiens* que nous connaissons. Cette vision est essentiellement téléologique, et fait état d'un « programme » interne, en évoquant des notions thermodynamiques d'« attracteurs harmoniques » et autres concepts extraits de leur contexte physicochimique. À l'appui de sa démarche, elle énonce des évidences d'ordre orthodontique, et affirme qu'on assiste actuellement à une phase d'évolution humaine, tirant parti d'observations qui tiennent davantage de modifications de la croissance dues à des facteurs d'environnement que de réels processus évolutifs.

Cette théorie s'est introduite dans les médias à grande diffusion, et bénéficie du soutien de l'« Université Interdisciplinaire de Paris », institution autoproclamée, d'essence créationniste. Madame Dambricourt-Malassé fait partie de groupements mystiques et spiritualistes, et se réclame de la pensée de Theilhard de Chardin. Dans ses écrits, elle conspue les « athées » et les « matérialistes ».

Sa philosophie biologique est clairement rattachée au concept du « dessein intelligent » (Silberstein, 2003, p. 198 à 212).

### LES FAITS

– Madame Dambricourt-Malassé n'a jamais publié ses recherches dans des revues scientifiques à comité de lecture, mais dans des périodiques « généraux » ou des journaux scientifiques procédant par cooptation des auteurs invités. À ce titre, sa carrière au CNRS repose sur une analyse pour le moins inhabituelle de ses mérites scientifiques, et pour tout dire d'une imposture institutionnelle.

– Son propos ne repose jamais sur des observations, des résultats analysés par une méthodologie scientifique rigoureuse, mais sur des considérations générales personnelles, des autoréférences, des figures dont l'origine n'est pas explicitée, des propos obscurs et incompréhensibles, et des concepts extraits de leur contexte et de leur champ d'application. Certaines observations ou conclusions qu'elle prête à des auteurs cités (de préférence très anciens et dont les articles sont difficilement consultables) sont tout bonnement absentes de leurs écrits.

– La stratégie généralement utilisée est d'introduire des concepts étrangers au champ d'étude du public visé, de telle manière que celui-ci ne puisse distinguer les contre-vérités du discours. Lorsqu'on procède à des expertises croisées de ses textes, leur inanité scientifique devient évidente. Ils contiennent par exemple de graves confusions et contre-vérités embryologiques.

– Le sphénoïde est un os de la partie centrale de la base du crâne des mammifères, formé chez l'embryon de pièces squelettiques séparées (correspondant à des os isolés chez les reptiles), qui fusionnent progressivement. Il présente une angulation ouverte vers le bas (Louryan & Vanmuylder, 2006). Il peut paraître évident d'un point de vue purement géométrique que plus l'angle est « fermé », plus le volume théoriquement ménagé au cerveau postérieur sera grand (Fig. 3).



Fig. 3 — Définition de « l'angle sphénoïdal ».  
Photo S. Louryan, ULB.

– Le développement de cet os est très complexe, et soumis à l'influence du système nerveux central, à la fois pour l'induction de son développement que pour son évolution ultérieure. Il est également soumis à l'influence inductrice de la notochorde. Dans son développement, la base du crâne est soumise à la contrainte du développement du système nerveux. Il ne joue donc pas un rôle « moteur » par lui-même, ainsi que le démontre l'analyse de spécimens affectés par diverses malformations du névraxe. La structure de cet os est de surcroît conditionnée par des facteurs biomécaniques en relation avec les contraintes exercées par la posture érigée ou quadrupède.

– Des données scientifiques souvent validées par de puissants outils statistiques (Chansigaud *et al.*, 1992 ; Louryan &

Vanmuylder, 2006 ; Jeffery & Spoor, 2002 ; Jeffery, 2003 ; Captier, 2008) démontrent clairement que :

1. L'angle est plus « fermé » chez les primates que chez les autres mammifères.

Cet angle ne se « referme » pas progressivement au cours de l'évolution des hominiens.

2. La valeur de l'angle durant le développement est davantage liée aux dimensions de la voûte du crâne qu'à la croissance de l'encéphale.

3. Durant la période fœtale, cet angle a plutôt tendance à s'ouvrir progressivement qu'à se fermer, et ceci chez plusieurs primates, y compris l'homme.

4. Des données récentes montrent qu'après une légère fermeture initiale, l'angle s'ouvre progressivement à partir de vingt-cinq semaines de développement chez l'homme.

– Les données fournies par Madame Dambricourt-Malassé sur la bascule précoce de la base du crâne au cours des deux premiers mois du développement reposent sur des « dessins » de provenance douteuse et des interprétations non fondées. Aucun travail n'a exploré de manière rigoureuse, contrôlée et quantitative ces données dans le plan sagittal de manière comparative chez de jeunes embryons de primates comparés à l'espèce humaine. Elle attribue même à un auteur (Levi, 1900) un concept totalement absent de ses observations et de ses conclusions (Dambricourt-Malassé, 2006). En effet, le travail de Levi, contrairement aux affirmations de Madame Dambricourt-Malassé, se limite à décrire l'ossification du chondrocrâne et ne fait nulle allusion à des rotations.

– L'évolution de la base du crâne est un processus très complexe qui dépend de facteurs variés, parmi lesquels l'acquisition de la bipédie, les contraintes biomécaniques liées à cette position, et l'influence du développement du système nerveux. Des études récentes ont pu mettre au jour des pistes très fécondes dans l'analyse des facteurs génétiques du développement du système nerveux et de son

environnement (Bradley, 2008 ; Depaepe *et al.*, 2005 ; Pollard *et al.*, 2006), qui pourraient jouer un rôle dans le processus de l'homini-sation, et sont clairement plus féconds d'un point de vue heuristique que les vaticinations de Madame Dambricourt-Malassé. Parmi ces pistes, on notera :

1. Les gènes « accélérateurs du développement », comme HAR1.
2. La perte de fonction du gène codant pour l'Ephrine A, entraînant une réduction de l'apoptose et une augmentation de l'épaisseur du cortex.
3. L'expression du gène *foxp2* et son association éventuelle avec l'apparition du langage.
4. La régulation du gène PDNY, qui code pour un précurseur de divers neuropeptides, et qui montre des mutations spécifiquement humaines et un rôle sélectif important.
5. L'analyse soigneuse de l'expression des gènes du développement de type *Otx*, *Omx*, *Hox* au cours du développement de la base du crâne chez les primates et chez l'homme (qui reste à faire) pourrait fournir des données intéressantes.

– L'analyse des mécanismes impliqués dans les modifications génétiques ci-avant citées démontre qu'ils n'échappent en rien aux règles de la génétique et que ces modifications sont parfaitement compatibles avec la notion de sélection darwinienne. Aucun argument raisonnable ne vient étayer l'idée d'un « programme » sous-jacent, qui est donc une notion idéologique, non un fait scientifique.

### Bibliographie

- BRADLEY B., 2008. Reconstructing phylogenies and phenotypes: a molecular view of human evolution. *Journal of Anatomy*, **212** : 337-353.
- CAPTIER G., 2008. Développement d'une analyse céphalométrique fœtale pour le dépi-stage prénatal des malformations de la face et l'étude de la croissance crâniofaciale. Thèse, Université de Montpellier 1, 179 p.
- CHANSIGAUD J.-P., RICHER J.-P., SCEPI M., MONTAZ L., LAUDE M. & KAMINA P., 1992. Évolution *in utero* de l'angle sphénoïdal : étude anatomo-échographique complémentaire. *Résumés des deuxièmes rencontres d'Anatomie et Imagerie*, 13 et 14/2/1992, Lille : 35.
- DAMBRICOURT-MALASSÉ A., 1988. Hominisation et fœtalisation (Bolk, 1926). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **307**, série II : 199-204.
- DAMBRICOURT-MALASSÉ A., 1996. Nouveau regard sur l'origine de l'homme. *La Recherche*, **226** : 46-54.
- DAMBRICOURT-MALASSÉ A., 2006. Évolution du chondrocrâne et de la face des grands anthropoïdes miocènes jusqu'à *Homo sapiens*, continuités et discontinuités. *Comptes Rendus Palevol*, **5** : 109-117.
- DEPAEPE V., SUAREZ-GONZALEZ N., DUFOUR A., PASSANTE L., GORSKI J. A., JONES K. R., LEDENT C. & VANDERHAEGEN P., 2005. Ephrin signalling controls brain size by regulating apoptosis of neural progenitors. *Nature*, **435** : 1244-1250.
- JEFFERY N., 2003. Brain expansion and comparative prenatal ontogeny of the non-hominoid primate cranial base. *Journal of Human Evolution*, **45** : 263-284.
- JEFFERY N. & SPOOR F., 2002. Brain size and the human cranial base: a prenatal perspective. *American Journal of Physical Anthropology*, **118** : 324-340.
- LEVI G., 1900. Beitrag zum Studium des Entickelung des knorpeligen Primordialcraniums des Menschen. *Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsgeschichte*, **55** : 341-414
- LOURYAN S. & VANMUYLDER N., 2006. Le sphénoïde : réflexion sur son importance dans le processus de l'évolution. *Anthropologia et Præhistorica*, **117** : 181-188.

POLLARD K. S., SALAMA S. R., LAMBERT N., LAMBOT M.-A., COPPENS S., PEDERSEN J. S., KATZMAN S., KING B., ONODERA C., SIEPEL A., KERN A. D., DEHAY C., IGEL H., ARES M. Jr, VANDERHAEGHEN P. & HAUSSLER D., 2006. An RNA gene expressed during cortical development evolved rapidly in humans. *Nature*, **443** : 167-172.

SILBERSTEIN M., 2003. Téléologie, théologie, harmonie : le silence des angelots. In : J. DUBESSY & G. LECOINTRE (éd.) *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en sciences*. Paris, Syllepses : 161-237.

Adresse des auteurs :

Stéphane LOURYAN  
slouryan@ulb.ac.be

Nathalie VANMUYLDER  
nvmuyld@ulb.ac.be

Laboratoire d'Anatomie et Embryologie  
Faculté de Médecine, CP 619  
Université Libre de Bruxelles (Campus Erasme)  
Route de Lennik, 808  
B-1070 BRUXELLES (Belgique)

## Atelier de Biologie moléculaire : « Comment optimiser l'enseignement de l'évolution humaine aux étudiants ? Comment mieux l'inscrire dans le cadre darwinien ? »

Encadré par Sabine COSTAGLIOLA & Laurence LADRIÈRE

---

*Dans un premier temps, l'atelier s'est surtout consacré à répondre aux questions des enseignants restées en suspens suite aux deux exposés de Mesdames Costagliola et Ladrière.*

Plusieurs questions ont été soulevées et les notions principales à en retirer sont les suivantes :

- la notion de duplication : apportant un avantage évolutif de par le fait qu'une copie garde sa fonction d'origine et que la copie dupliquée peut évoluer « librement » ;
- la notion d'identification de gènes et de copies multiples : gènes connus et copies de gènes ;
- la notion de mutation (par différents processus exposés) délétère (exprimée ou pas) ou mutation apportant un avantage évolutif (selon les conditions du milieu par exemple) ;
- la notion de « bricolage » de la cellule ;
- la notion d'hybridation entre espèces (voir exposé d'Isabelle CREVECOEUR).

*Dans un deuxième temps, les enseignants ont exposé leurs demandes quant à l'enseignement de cette matière :*

- liste de références bibliographiques (articles et ouvrages de référence) ;
- exemples concrets chez l'homme afin de sensibiliser les étudiants ;
- projet d'exposition des derniers acquis sur l'évolution de l'homme, en y intégrant l'aspect moléculaire – par M. Robert SIX (Groupe d'Étude des Sciences de la Terre, G. E. S. T.).

### Bibliographie

- ATLAN H., 1999. *La fin du tout-génétique. Vers de nouveaux paradigmes en biologie ?* Paris, INRA éditions, 91 p.
- AMEISEN J. C., 2009. Entre gènes et environnement. *Pour la Science*, **63** : 88-94.
- BETTAYEH K., 2003. On n'hérite peut-être pas que de l'ADN. *Science & Vie*, **1029** : 64-69.
- BOYD R. & SILK J., 2004. *L'aventure humaine. Des molécules à la culture*. Bruxelles. De Boeck, 583 p.
- BRONDEX F., 2003. *Évolution : synthèse des faits et théories*. Paris, Dunod, 186 p.
- CARROLL S. B., 2008. Evo-devo and an expanding evolutionary synthesis: a genetic theory of morphological evolution. *Cell*, **134** : 25-36.
- CARROLL S. B., PRUD'HOMME B. & GOMPEL N., 2009. La régulation des gènes, moteur de l'évolution. *Pour la Science*, **63** : 52-59.
- GRIFFITHS A. J. F., WESSLER S., LEWONTIN R. C. & CARROLL S. B., 2010. *Introduction à l'analyse génétique*. Bruxelles, De Boeck, 5<sup>ème</sup> édition, 856 p.
- HARRY M., 2001. *Génétique moléculaire et évolutive*. Paris, Maloine, 326 p.
- HUANGFU D., OSAFUNE K., MAEHR R., GUO W., EIJKELENBOOM A., CHEN S., MUHLESTEIN W. & MELTON D. A., 2008. Induction of pluripotent stem cells from primary human fibroblasts with only Oct4 and Sox2. *Nature Biotechnology*, **26** (11) : 1269-1275.

- LEWONTIN R., 2003. *La triple hélice : les gènes, l'organisme, l'environnement*. Paris, Seuil. 154 p.
- LUCHETTA P., MAUREL M. C., HIGUET D. & VERVOORT M., 2005. *Évolution moléculaire*. Paris, Dunod, 352 p.
- MORANGE M., 2005. Quelle place pour l'épigénétique ? *M/S : Médecine Sciences*, **21** (4) : 367-369.
- MOUSSARD C., 2008. *Biologie moléculaire. Biochimie des communications cellulaires*. Bruxelles, De Boeck, 311 p.
- PRUD'HOMME B., GOMPEL N. & CARROLL S. B., 2007. Emerging principles of regulatory evolution. *PNAS*, **104** : 8605-8612.
- RAVEN P. H., JOHNSON G. B., LOSOS J. B. & SINGER S. S., 2007. *Biologie*. Bruxelles, De Boeck. 1316 p.
- SUSANNE C., REBATO E. & CHIARELLI B. (éd.), 2003. *Anthropologie biologique. Évolution et biologie humaine*. Bruxelles, De Boeck, 768 p.
- VANDERMEERS F., KETTMANN R. & WILLENS L., 2008. Implication des modifications épigénétiques dans les cancers : développement de nouvelles approches thérapeutiques. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **12** : 211-218.
- WRAY G. A., 2007. The evolutionary significance of cis-regulatory mutations. *Nature Reviews Genetics*, **8** : 206-216.

Adresse de l'auteur :

Sabine COSTAGLIOLA

Institut de Recherche interdisciplinaire en  
Biologie humaine et moléculaire (IRIBHM)

Faculté de Médecine, CP 602

Université Libre de Bruxelles (Campus Erasme)

Route de Lennik, 808

B-1070 BRUXELLES (Belgique)

scostag@ulb.ac.be

Laurence LADRIÈRE

Laboratoire d'Enseignement de la Biologie

Faculté de Médecine, CP 609/01

Université Libre de Bruxelles (Campus Erasme)

Route de Lennik, 808

B-1070 BRUXELLES (Belgique)

Laurence.Ladriere@ulb.ac.be

## Atelier de Paléontologie humaine : « L'homme fossile : état de la question. Comment optimiser l'enseignement de l'évolution humaine aux étudiants ? »

Encadré par Martine VERCAUTEREN & Isabelle CREVECOEUR

---

La première partie de l'atelier a été consacrée à l'actualisation d'un thème bien précis de l'évolution humaine : l'origine d'*Homo sapiens*. En effet, l'origine de l'homme moderne, sa diffusion et sa diversité font partie des sujets les plus débattus en paléanthropologie.

Pour ce faire, Isabelle Crevecoeur a présenté un exposé intitulé « Théories "Out of Africa" et "Multirégionale" : origine et diversité des premiers hommes modernes » et présenté ainsi les principales hypothèses concernant ce débat et les limites auxquelles le scientifique doit faire face dans les reconstructions de l'histoire évolutive, par rapport aux données brutes dont il dispose. Si l'évolution est un fait, les modalités de cette évolution sont souvent complexes, notamment dans le cas particulier de la lignée humaine.

On peut résumer l'exposé comme suit : les critères utilisés pour définir *Homo sapiens* sont basés sur la diversité des populations actuelles et sur quelques rares fossiles africains de la fin du Pléistocène moyen. Or, la validité des critères utilisés et la pertinence des échantillons de référence ont été remises en question à plusieurs reprises. Dans le cadre de cette problématique, l'étude de spécimens africains du Pléistocène supérieur apparaît essentielle à la compréhension des processus de diversification morphométrique des hommes modernes durant cette période de dispersion hors d'Afrique. Malheureusement, il existe très peu de restes complets ou bien datés en Afrique durant cette période. Isabelle Crevecoeur a tenté

d'appréhender une partie de la diversité passée des hommes modernes en Afrique à travers les résultats des études comparatives menées sur certains de ces rares spécimens :

- Nazlet Khater, mis au jour en Égypte et daté 40-35.000 ans BP (Crevecoeur, 2008) ;
- Hofmeyr, Afrique du Sud, 36.000 ans BP ;
- et Ishango, République démocratique du Congo, 20-25.000 ans BP.

Dans la deuxième partie de l'atelier, Martine Vercauteren a présenté les fiches sur « L'évolution biologique de l'homme » tirées et actualisées à partir du catalogue (Orban, 1992) de l'exposition « Sur les traces des premiers hommes » conçue, à l'origine en 1984, à l'initiative de Charles Susanne par le Laboratoire d'Anthropologie et de Génétique humaine de l'Université Libre de Bruxelles (Susanne, 1984).

Réalisées en 2009 par Rosine Orban et Denise Vandemeulebroucke (UAB, Unité d'Anthropologie biologique - Institut royal des Sciences naturelles de Belgique et Laboratoire d'Anthropologie et Génétique humaine de l'Université Libre de Bruxelles), ces fiches didactiques, principalement destinées aux enseignants, sont accessibles à tout un chacun sur le site :

[www.sciencesnaturelles.be/educa/pdf/Evol\\_homme.pdf](http://www.sciencesnaturelles.be/educa/pdf/Evol_homme.pdf)

Pensées et disponibles sous forme de fichier PDF en noir et blanc, elles peuvent être facilement photocopiées, en tout ou en

partie ; chaque thème étant condensé sur une ou deux pages maximum. De nombreux mots (soulignés dans le texte) renvoient à des illustrations, des références ou encore des sites sur Internet.

Citons les chapitres abordés :

- La paléontologie humaine ;
- L'homme est un primate ;
- La famille des hominidés ;
- Le genre *Australopithecus* ;
- Le genre *Homo* ;
- Le genre *Homo* : une définition difficile.

Ce premier contact avec ce matériel didactique a rencontré un accueil enthousiaste de la part des enseignants, qui se sont engagés à nous faire part de leurs commentaires pour tenter de répondre au mieux à leurs attentes.

### Bibliographie

- COPPENS Y. & PICQ P. (éd.), 2001. *Aux origines de l'humanité*. Paris, Fayard ; vol. 1. *De l'apparition de la vie à l'homme moderne*, 649 p. ; vol. 2. *Le propre de l'homme*, 569 p.
- CREVECOEUR I., 2008. *Étude anthropologique du squelette du Paléolithique supérieur de Nazlet Khater 2 (Égypte). Apport à la compréhension de la variabilité passée des hommes modernes*. Egyptian Prehistory Monographs, 8, Leuven University Press, 318 p. <http://upers.kuleuven.be/en/titel/9789058677051>
- DAWKINS R., 2007. *Il était une fois nos ancêtres. Une histoire de l'évolution*. Paris, Laffont, 798 p.
- DUTOUR O., HUBLIN J.-J. & VANDERMEERSCH B., 2005. *Origine et évolution des populations humaines*. Paris, Ed. CTHS : 400 p.
- ORBAN R., 1992. *Sur les traces des premiers hommes*. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, Livret guide du Muséum, 3 : 22 p.
- ORBAN R. & VANDEMEULEBROUCKE D., 2009. *Fiches sur l'évolution biologique de l'homme*. UAB, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique et Université Libre de Bruxelles, Bruxelles : 37 p. [http://www.sciencesnaturelles.be/educa/pdf/Evol\\_homme.pdf](http://www.sciencesnaturelles.be/educa/pdf/Evol_homme.pdf)
- PICQ P., 2005. *Les origines de l'homme. L'odyssée de l'espèce*. Paris, Tallandier, Points sciences : 264 p.
- SILK J. & BOYD R., 2003. *L'aventure humaine. Des molécules à la culture*. Bruxelles, De Boeck Université, 606 p.
- SUSANNE C., 1984. *Sur les traces des premiers hommes*. Bruxelles, Crédit communal de Belgique : 168 p.

Adresse des auteurs :

Martine VERCAUTEREN  
Laboratoire d'Anthropologie et  
de Génétique humaine (CP 192)  
Université Libre de Bruxelles  
Avenue F. D. Roosevelt, 50  
B-1050 BRUXELLES (Belgique)  
mvercau@ulb.ac.be

Isabelle CREVECOEUR  
Laboratoire d'Anthropologie  
des Populations du Passé  
UMR 5199 - PACEA / Université Bordeaux 1  
Bâtiment B8, Aile Est n°111,  
Avenue des Facultés  
F-33405 TALENCE CEDEX (France)  
i.crevecœur@pacea.u-bordeaux1.fr