

# Des unicellulaires aux multicellulaires : une évolution salutaire ?

Joseph Marchand, membre de la SAGA.

Comment en douter alors que nous sommes, selon nos critères, le plus évolué des organismes multicellulaires ! **C'est oublier que « la vie » est cellulaire.** Elle habite chacune de nos cellules humaines, environ 100 000 milliards, et que la défaillance d'un seul milliard conduira à la mort de l'ensemble.

**La « mort » est aussi présente dans chacune de nos cellules.** Peut-être ne sommes-nous qu'une « combinaison » d'unicellulaires, une voie particulière de « l'évolution » ?

Les organismes unicellulaires : bactéries, algues, champignons... les foraminifères et bien d'autres, constituent plus de 50 % de la biomasse terrestre. Une étude récente estime que le fond des océans abrite moins de 1 % de la biomasse, mais que cela correspond à un million de fois la totalité de toutes les cellules réunies de tous les humains.

**La vie est en très grande majorité celle des « unicellulaires » sur Terre !**

La Paléovirologie [1] (ma Tribune libre d'avril 2011, résumé sur le site de la SAGA) nous a montré que plus de 8 % de notre génome était constitué de virus (des unicellulaires) dangereux, mais neutralisés par l'intégration dans notre ADN.

La réalité est probablement plus élevée car, comme tous les animaux et en partie les plantes, notre « immunité » c'est-à-dire la résistance, particulièrement aux bactéries, aux virus et autres organismes entiers ou divisés, vient de la capacité à les reconnaître pour les neutraliser. Par contre, sans bactéries spécialisées dans notre intestin, nous ne pourrions digérer les végétaux. Nous ne serions pas des omnivores sans l'aide d'unicellulaires !

On croit savoir que, sans le pouvoir de certains virus d'assembler les parois cellulaires, le placenta, étape importante de l'évolution des mammifères, n'aurait pu se réaliser. Les unicellulaires s'adaptent des milliers à des millions de fois plus vite aux variations de l'environnement que les organismes plus complexes.

## Pourquoi devenir multicellulaire ?

Avant d'envisager cette question, il est indispensable de revenir en arrière, à la cellule et aux conditions qu'impose la vie.

### *Le « bio réacteur des origines »*

À la suite de la formation des éléments chimiques dans les étoiles, puis des premières molécules dans les galaxies, et probablement des précurseurs des acides aminés et des sucres sous l'effet des bombardements d'ions lourds, tous ces composés seraient arrivés sur la Terre dans « une pluie » de météorites (ma Tribune libre de juillet 2011). La Terre était chaude, le volcanisme était important, puis le cycle de l'eau entre l'océan et les continents s'est installé.

Nous avons parcouru plus de dix milliards d'années pour en arriver là, depuis le « big bang » aux environs de quinze milliards d'années. Il faudra attendre encore 1,5 milliard d'années pour que l'oxygène soit présent.

**Le seul milieu favorable à l'éclosion de la « vie » a été l'océan.** La « soupe » des origines, avec ses combinaisons chimiques dans le brassage des eaux, les premiers acides nucléiques, qui donneront les ARN, puis l'ADN, seront synthétisés dans l'océan [2]. Les acides aminés seront associés dans une combinaison moléculaire faisant intervenir des ARN pour former des protéines. Les sucres et les lipides sont fabriqués par d'autres mécanismes, dans la « soupe », à partir d'autres molécules simples.

**La vie va naître de la concentration de tous ces éléments dans une vésicule qui deviendra la cellule entourée d'une membrane : le « bioréacteur de la vie ».**

Dans cette bulle, les réactions chimiques seront accélérées, orientées vers des combinaisons de plus en plus efficaces, jusqu'à la capacité de se reproduire et d'opérer une « sélection moléculaire interne ». Rien de tout cela n'a changé au cours de l'évolution : la vie et la mort sont présentes dans chaque cellule.

**La vie est « dynamique », sa mécanique interne est fragile, exposée aux erreurs des réplifications en interne de ses molécules et aux accidents extérieurs.**

La réplication interne ne peut être arrêtée bien longtemps, sans destruction définitive, et la sélection moléculaire doit être rapide pour éviter l'anarchie cellulaire dont on connaît les effets néfastes.

La mort cellulaire n'est pas programmée, idée qui laisserait croire que l'on peut la « déprogrammer » et accéder à l'éternité ! Il existe seulement des mécanismes enzymatiques, capables de reconnaître les molécules non-conformes, jusqu'à détruire la cellule si leur nombre est trop important.

Les unicellulaires se reproduisent cellule à cellule, rapidement et en grand nombre, mais tous les mécanismes élémentaires sont présents chez les unicellulaires. En raison de leur simplicité relative, ils se transforment sous l'effet des mutations qui modifient leurs génomes et ils peuvent ainsi perdre ou gagner en virulence ou en toxicité. Ils peuvent aussi échanger de l'ADN à travers leurs membranes. Ils restent cependant limités par la nécessité pour chaque cellule de devoir produire sa propre descendance.

Le nombre de cellules peut devenir très important, si les conditions de vie sont favorables. Elles peuvent rester groupées, **former une colonie** ; cependant, chaque cellule gardera un destin individuel.

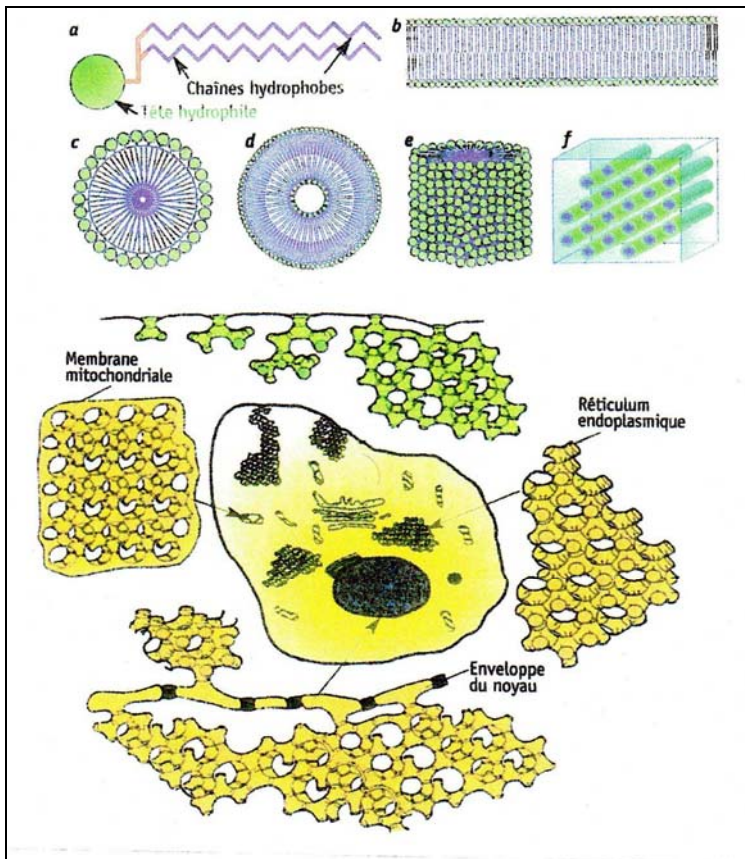
Une même cause pourra affecter simultanément toutes les cellules de la colonie.

**Comment devenir multicellulaire ?**

Une propriété de la membrane extérieure va tout changer. De petites chaînes de composés carbonés vont se disposer selon des conditions énergétiques minimales vis-à-vis du milieu aqueux. Ces chaînes prendront des conformations particulières selon les groupements de molécules à isoler, depuis la cellule elle-même jusqu'aux organites spécialisés qu'elle intégrera (d'anciens virus ou d'autres cellules élémentaires). En interne, les membranes seront adaptées aux fonctions des constituants cellulaires, en étant plus ou moins poreuses ou pourvues de molécules aux formes particulières intégrées dans les membranes (figure 1). Sans cette propriété de « **géométrie adaptative** » pas d'évolution possible, car la dynamique de la vie suppose des échanges permanents qui ne peuvent être contrôlés sans structures finement adaptées. Le noyau de la cellule eucaryote (celle des animaux et des plantes) sera protégé par une enveloppe sensible aux variations du plasma cellulaire, les mitochondries, centrales énergétiques de la cellule, répondront aux besoins par diffusion de molécules à travers leur membrane...Mais pour s'associer, il faut :

- **trouver de l'énergie extérieure** pour alimenter les besoins de son métabolisme (lumière, oxygène, soufre...);
- **mémoriser les mécanismes de production des protéines** (ADN, ARN, ribozyme...);
- **avoir une interface avec l'extérieur**, une membrane assez résistante à l'environnement mais capable de réguler l'entrée et la sortie des composés nécessaires à la vie. Dès l'apparition des premières plantes terrestres, des pores particuliers sur les cellules extérieures (les stomates) réguleront les flux d'eau, de CO<sub>2</sub> et d'oxygène.

Le substrat, la chaleur, la lumière, la salinité, etc. seront les moyens de faire des différences dans le comportement cellulaire, y compris assurer leur mobilité. Depuis les travaux sur les cellules souches embryonnaires, on sait que, sur un support dur, les cellules auront tendance à devenir osseuses alors que, sur un support mou, elles seront plus proches de celles du système nerveux.



**Figure 1. Organisation des membranes.** Chaînon élémentaire (a). De (b) à (f), selon les quantités relatives d'eau et de lipides, les chaînons s'organisent en bande, micelle, bille, cylindre, etc. En bas, éléments de membranes cellulaires adoptant des surfaces d'échange optimisées, dans chaque cas, pour un moindre coût énergétique [8].

Lors de sa transformation, la cellule « gonfle », bourgeonne, et l'ADN répliqué va s'étirer pour passer dans le bourgeon qui se détachera, formant une nouvelle cellule. Les échanges vont se spécialiser par opportunité énergétique.

Des différences entre cellules s'accumuleront au cours du temps, afin d'obtenir des rendements de reproduction plus fiables : la « **sexualité** », déjà présente chez les bactéries, deviendra une des bases de l'évolution vers les organismes complexes, même si certains, les plantes essentiellement, conserveront une reproduction « végétative » en gardant un stock de cellules capables de prendre le relais de la reproduction, faute de pouvoir partir à la recherche du partenaire !

Pour constituer des « tissus », puis des « organes », et mettre en place les connexions indispensables, les cellules devront **se différencier** de plus en plus, afin d'effectuer une fonction particulière tout en gardant l'ADN général à toutes les cellules du même organisme, garant de la production des bonnes protéines. En quoi cette évolution va favoriser la continuité de la vie ?

**L'objectif de la multicellularité est clair : échapper à la mort, inévitable à chaque cellule, la retarder en organisant des ensembles cellulaires.**

Former un organisme multicellulaire, c'est multiplier les chances de survie, donc de reproduction, c'est avoir la capacité de perdre des cellules et rester en vie, c'est constituer une « espèce » capable de vivre dans son environnement, pas nécessairement par la complexité : *Trichoplax adhaerens*, le plus simple des métazoaires, en est un exemple. Disque mou de quelques milliers de cellules, il possède néanmoins toutes les fonctionnalités d'un organisme évolué (symétrie, segmentation, reproduction sexuée).

Ce n'est pas encore suffisant !

### Avoir un squelette pour garder la forme

La vie d'un organisme dans son environnement impose de répondre à des obligations évidentes : répartir son poids selon la gravité, se déplacer dans l'océan, sur terre, souvent savoir utiliser les autres organismes pour assimiler leurs réserves énergétiques, en retour être capable de se protéger des autres... avoir un « squelette », et une « peau ».

L'acquisition d'un squelette (dans son sens général, chez les animaux comme chez les plantes, même s'ils sont de natures différentes), et ses transformations au cours du temps, est l'une des questions fondamentales de l'évolution. **L'anatomie comparée et la paléontologie n'existeraient pas sans les restes de squelettes internes ou externes : les fossiles.**

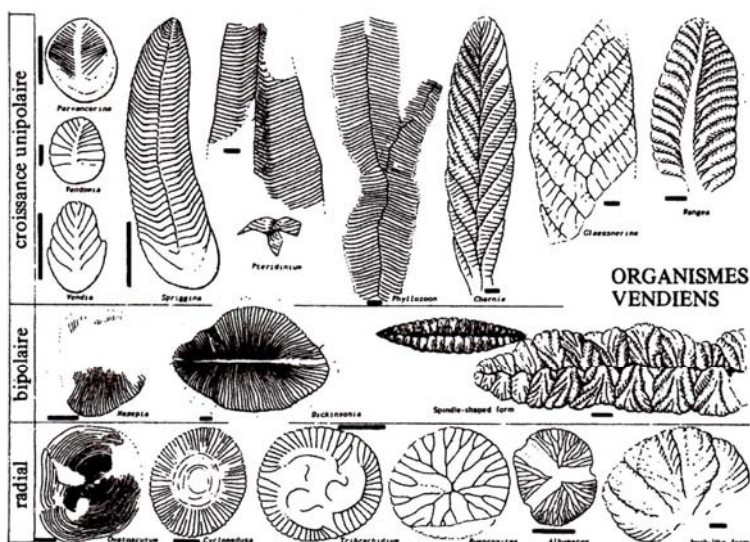
Un **cytosquelette** est présent dans chaque cellule. À l'extérieur des cellules, une **matrice extracellulaire** permet la cohésion de l'ensemble. À chaque fois, il s'agit de combinaisons de protéines (la structure), de sucres (la colle) et de lipides (la souplesse du montage).

Plus de 1 000 assemblages moléculaires sont nécessaires pour la cohésion de cellules de même nature dans un organe. À titre d'exemples, on peut citer : **la cellulose** des végétaux qui, à elle seule, représente plus de la moitié de la biomasse terrestre, **la chitine** des insectes et des champignons, **le collagène**, élastique des cellules animales (dont le vieillissement conduit aux rides).

Des invertébrés aux vertébrés chez les animaux, les types de construction mettront en œuvre : des cartilages, des os, organisés pour envelopper ou soutenir les organes ; dans tous les cas, il s'agit de groupes de cellules spécialisées. Il en sera de même pour la peau et l'écorce des arbres. La rigidité, particulièrement dans le cas de végétaux, peut être obtenue par pression interne, jusqu'à plusieurs dizaines de bars dans les grandes cellules des Charophytes !

### Toutes les constructions ont des contraintes

Galilée, en 1623, avait déjà remarqué que les analogies d'architecture dans le monde du vivant étaient la résultante de forces et de contraintes.



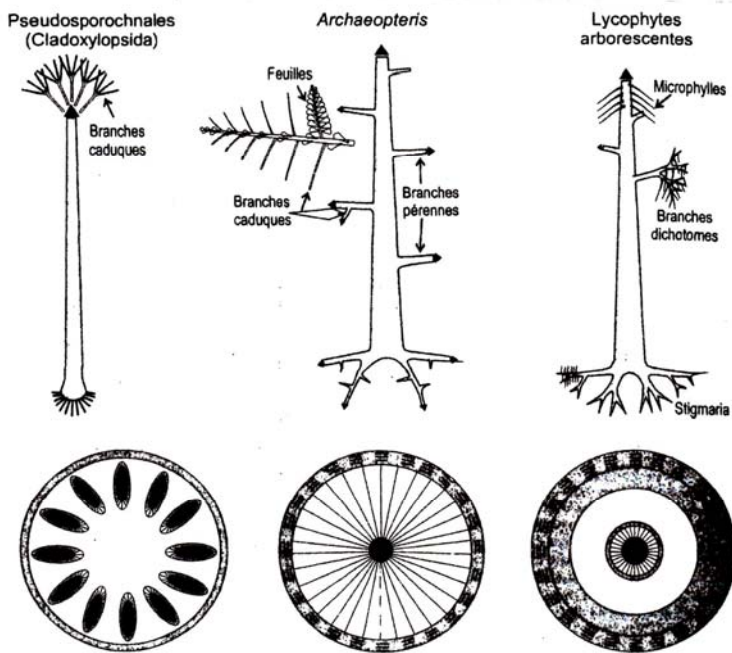
La première version de la nouvelle taxinomie de la faune d'Ediacara proposée par Seilacher. Remarquez combien cette organisation en fonction des différents types d'animaux d'Ediacara et de leurs axes de croissance met bien en évidence leurs points communs et les thèmes fondamentaux d'organisation — alors que les dispositions antérieures, en fonction de leur parenté présumée avec les espèces contemporaines, ne laissaient rien voir.

**Figure 2.** Texte de Stephan Jay Gould, extrait de : *Le sourire du flamant rose. Les tendances et leur signification* (page 218) soulignent l'importance des contraintes géométriques sur les organismes vivants.



Stephen Jay Gould (*Le sourire du flamant rose*, 1985) s'émerveille du classement de la faune d'Édiacara proposé par Adolf Seilacher en 1984, basé sur les axes de croissance et l'organisation des espèces (figure 2).

**L'évolution des premiers arbres : les stratégies dévoniennes**, travaux de Brigitte Meyer-Berthaud et Anne-Marie Decombeix [3], est une illustration des choix d'organisation des troncs, des branches et des racines pour satisfaire la relation diamètre/hauteur, la nécessité de se nourrir par les racines et d'accéder à la lumière pour tirer son énergie de la photosynthèse (figure 3).



**Figure 3. L'évolution des premiers arbres au Dévonien, vers 395 Ma.**

C'est l'époque des fougères arborescentes et des « vrais » arbres formant du bois. Architectures et sections transversales des troncs pour répondre aux contraintes hydraulique et mécanique.

Archaeopteris pouvait atteindre trente mètres de haut.

Organisation tridimensionnelle des branches, des feuilles et des racines.

Les « grilles de transformations morphologiques », proposées par D'Arcy Thomson (1860-1948) mathématicien et naturaliste écossais [4], sont reprises par les informaticiens pour modéliser les croissances sous l'influence de variations de l'environnement (INRIA, Institut national de recherche en informatique et en automatique, *Docsciences*, novembre 2009).

Tous les organismes vivants sont soumis à des contraintes ; l'accès à la bipédie, chez les primates, en est un bel exemple, que nous vivons comme s'il était évident qu'il en a toujours été ainsi.

## De la multicellularité à l'animal chez les fossiles

Sujet délicat, car les fossiles susceptibles de répondre à cette question sont rares, d'observations difficiles et d'interprétations délicates. Dans leur publication de juillet 2010, dans *Nature*, Philip Donoghue et Jonathan Antcliffe propose une synthèse [5] :

- premiers stromatolites, voilà 3,4 Ga (sans précision sur la nature de ces fossiles) ;
- suite à « la grande oxydation », vers 2,4 Ga, présence des premières bactéries fossiles ;
- probablement, selon les données actuelles, les premiers multicellulaires vers 1,8 Ga ;
- peu de temps (géologique !) après, vers 1,6 Ga, les premiers eucaryotes ;
- la faune d'Édiacara, puis les premiers animaux, vers 0,8 à 0,5 Ga.

Les incertitudes sur les dates sont évidemment considérables, mais les modifications d'environnement, dans l'océan et sur les continents, surtout la présence d'oxygène, sont en cohérence avec l'évolution supposée du vivant. Des travaux récents viennent ajouter de nouvelles incertitudes, sans lever les anciennes !

### Les fossiles d'« organismes coloniaux »

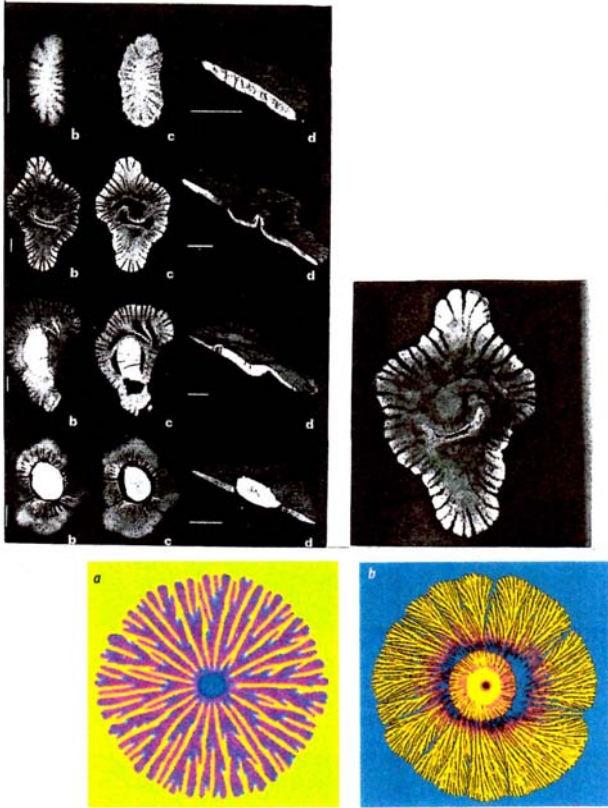
Découverts au sud-est du Gabon [6], dans le Francevillien, datés de 2,1 Ga, donc peu après la « grande oxydation », ils pourraient être, selon les auteurs de l'article, les représentants d'une « vie multicellulaire », à l'origine des organismes présents à l'« explosion cambrienne » plus d'un milliard d'années après.

On notera cependant que des colonies bactériennes (figure 4 ci-contre), formées par chimiotactisme autour de particules minérales, montrent d'évidentes analogies géométriques avec la forme des fossiles du Gabon, dont on sait qu'ils ont un noyau pyritisé en leur centre.

### Les microfossiles de Doushantuo

Découverts en Chine, en 1995, dans des phosphorites de 570 Ma, ils ont fait l'objet d'un réexamen en 2011 [7]. Les découvreurs les ont présentés comme des algues en 1995, d'autres ont voulu voir des acritarches en 1999, puis des embryons d'animaux en 2006, des bactéries géantes en 2007. Cette fois, il pourrait s'agir d'embryons d'animaux se multipliant par spores. Pourquoi pas ; on peut cependant remarquer (figure 5) qu'ils ressemblent à des spores en tétrade, comme on en trouve chez les bryophytes, par exemple *Riccia*, une Hépatique proche des mousses, et pas vraiment à des embryons d'animaux.

Le jeu continue, Philip Donoghue [5] le dit lui-même : « *Interpreting truly ancient fossils is an especially tricky business* », (vouloir vraiment interpréter les très vieux fossiles est une affaire particulièrement douteuse).

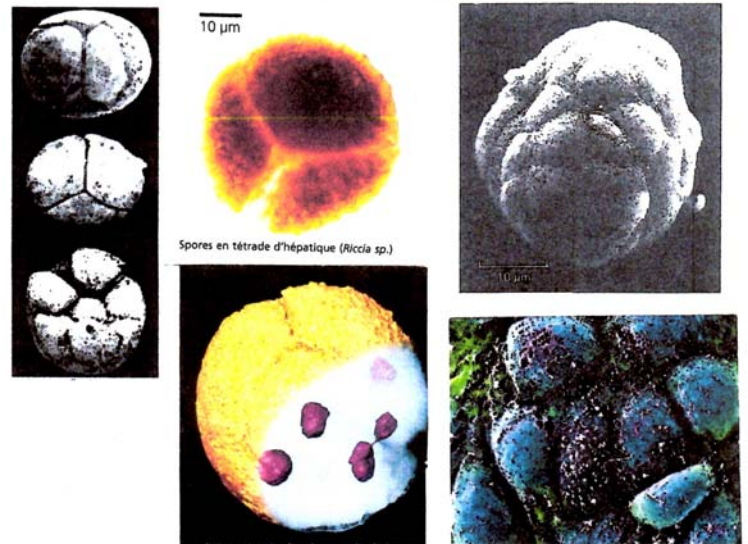


**Figure 4.** En haut : organismes découverts dans le Francevillien du Gabon [6]. Reconstitutions de différents spécimens à partir de microtomographies. Structures radiales, nodules de pyrite au centre. Barre : 5 mm.

En bas : motifs arborescents de colonies bactériennes de *Paenibacillus*, formées par chimiotactisme. En a, en présence de nourriture abondante ; en b, en milieu appauvri, substrat devenu moins mouillable. Colonies de 5 cm de diamètre.

S'il est délicat de rechercher des preuves de l'évolution des premières organisations cellulaires, il n'en est pas moins évident que le but était clair : s'adapter pour échapper à la mort et avoir ainsi le temps de se reproduire.

Être multicellulaire au niveau le plus évolué (le cas de l'humanité) est une opportunité bien dangereuse, car elle ralentit considérablement les capacités d'évolution, probablement jusqu'à l'extinction de l'espèce. Les unicellulaires prendront la relève, c'est ce qu'on observe quand la vie reprend sur les volcans, la réserve en est grande au fond des océans.



**Figure 5.** Les microfossiles de Doushantuo, Chine [7]. Datés de 570 Ma. Interprétations diverses. En haut à gauche : Acritarches, 1999 ; en bas, au centre : embryons animaux supposés se reproduire par spores, 2011, les taches rouges sont interprétées comme étant des noyaux cellulaires. Par comparaison (en haut, au centre), spore d'Hépatique, plante voisine des mousses ; en haut, à droite : embryon animal (souris) ; en bas, à droite : cellules souches humaines. On remarquera la ressemblance entre les spores des végétaux et les fossiles de Doushantuo, et la différence avec les embryons d'animaux.

## Bibliographie

- [1] Emerman M., Malik H. S. – Paleovirology : modern consequences of ancient viruses. *Plos Biology* 8 (2), February 9, 2010.
- [2] Powner M. W., Gerland B., Sutherland J. D. – Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions. *Nature* 459, 239-242, May 14, 2009.
- [3] Meyer-Berthaud B., Decombeix A.-L. – L'évolution des premiers arbres : les stratégies dévoniennes. *Palevol* 8, 155-165, 2009.
- [4] Gould S. J., D'Arcy T., Cohen C. – *Palevol* 3, 421-431, 2004.
- [5] Philip C., Donoghue J., Antcliff J. B. – Origins of multicellularity. *Nature* 466, 41-42, July 1, 2010.
- [6] El Albani A., Bengtson S., Janvier P., Javaux E. – Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments. *Nature* 466, 100-103, July 1, 2010.
- [7] Les mystérieuses origines des fossiles de Doushantuo. *La Recherche* 461, 7-10, février 2012.
- [8] Les formes de la Vie. Dossier *Pour la Science*. Juillet-septembre 2004.

### Pour ceux qui veulent approfondir le sujet :

Jordi Paps, Inaki Ruiz-Trillo – *Animals and their Unicellular ancestors. Encyclopedia of Life Science*, October 10, 2010. John Wiley Ltd (document aimablement mis à disposition par Pierre Gatel).