

# LA SAGA ÉTAIT À LA FÊTE DE LA SCIENCE 2016 : « LES PREMIERS TEMPS DE LA VIE PLURICELLULAIRE »

*L'équipe de la Fête de la Science : Annie Cornée, Jean-Louis Fromont, Jean-Pierre Malfay et Jean-Pierre Roucan, membres de la SAGA.*

*Le passage Précambrien-Cambrien est caractérisé par l'émergence et la diversification rapide du règne animal. Il représente donc une **période clé** dans l'histoire de la Vie sur la planète.*

*C'était le sujet de l'un des deux ateliers présentés par la SAGA à la Fête de la Science qui s'est déroulée les 14, 15 et 16 octobre 2016 au Muséum (figure 1). L'autre atelier était consacré à la croûte océanique ; son animateur Dominique Rossier en a donné une présentation détaillée dans Saga Information du mois de mars dernier.*



*Figure 1. Présentation pour les scolaires avec une classe de 6<sup>e</sup>, par J.-P. Malfay et Dimitri Pérès. (Photo J.-L. Fromont).*

## Les précurseurs

La vie est apparue sur la Terre il y a au moins 3,5 milliards d'années [3,7 si l'on en croit les dernières découvertes faites au Groenland et au Canada, publiées récemment (Dodd *et al.*, 2017 ; Nutman *et al.*, 2016)]. Mais les trois premiers milliards d'années ont été dominés par une vie microbienne, micros-

copique, avec des organismes essentiellement procaryotes (unicellulaires sans noyau), peu susceptibles de se fossiliser, les premiers eucaryotes étant apparus entre – 1,8 et – 2,7 milliards d'années (Ga) d'après ce que montrent les fossiles et des bio-marqueurs.

C'est du moins ce que l'on pensait jusqu'à la découverte des fossiles du Gabon, en 2008 (figure 2) (El Albani *et al.*, 2010 et 2014). Ceux-ci correspondraient à des organismes multicellulaires macroscopiques et remonteraient à – 2,1 Ga (datations uranium/thorium). Cette faune ferait alors reculer de plus d'un milliard d'années l'apparition des métazoaires, organismes pluricellulaires qui possèdent des cellules spécialisées, par opposition aux protozoaires, organismes dont les cellules remplissent toutes les mêmes fonctions.

Le gisement présente une impressionnante variété d'organismes coloniaux complexes (400 fossiles), micro- et macroscopiques, et diversifiés. Ils montrent des formes variables, plus ou moins allongées et plissées, dont la taille peut atteindre 10 à 12 cm et ont été conservés par pyritisation.

Divers arguments sont avancés en faveur d'une origine biologique :

- une structure de tissu mou formé d'une collerette entourant un tissu central plus dense ;
- la présence de l'isotope <sup>34</sup> du soufre, signe d'une origine biogénique ;
- la présence de stérane (un lipide), caractéristique des cellules eucaryotes.

Les analyses sédimentologiques et géochimiques montrent que ces macro-organismes du Gabon vivaient dans un environnement marin à eaux oxygénées et peu profondes et qu'ils ont subi une fossilisation rapide ; ils se sont développés à une époque où il y a eu une augmentation significative de la concentration en oxygène dans l'atmosphère.

Pour l'instant, un seul gisement de cet âge est connu dans le monde.



Figures 2. À gauche, le site à macro-fossiles de – 2,1 Ga, affleurant près de la ville de Franceville, au Gabon, et un détail sur un des fossiles trouvés (taille de quelques centimètres) (© El Albani). À droite, réplique de l'un des fossiles gabonais réalisée par J.-P. Malfay pour la présentation dans l'atelier. (Photo J.-L. Fromont).

D'autres fossiles attestent la présence d'une vie pluricellulaire macroscopique au Méso- et au Néoprotérozoïque :

- des traces (terriers ?), qui seraient dues à des organismes pluricellulaires vermiformes au Mésoprotérozoïque (– 1,2 Ga), sont connues dans le sud-ouest de l'Australie ;
- les phosphorites de Doushantuo, en Chine du Sud (de – 635 à – 575 Ma), ont livré des fossiles variés : restes de spongiaires, cnidaires, possibles bilatériens, petites coquilles et des fossiles de tissus mous, extrêmement bien préservés, qui indiquent l'existence d'animaux à la fin du Néoprotérozoïque.

### Fin du Précambrien : la faune d'Ediacara (de – 575 à – 540 Ma)

Cette faune tire son nom du site d'Ediacara, dans le sud-ouest de l'Australie, à partir duquel elle a été particulièrement étudiée. La découverte des fossiles dans les collines d'Ediacara est due à Reg Sprigg, en 1946. Mais les premières formes appartenant à cette faune avaient été observées dès 1848 en Angleterre, puis en 1872 à Terre-Neuve, mais elles n'avaient pas été bien interprétées, en termes de nature des objets fossiles et/ou de stratigraphie.

Cette faune marque clairement l'apparition d'organismes complexes et de grande taille, centimétrique à décimétrique (parfois même plus d'un mètre). Elle inclut des organismes diversifiés en forme de disques, de frondes et des formes segmentées.

Ces fossiles correspondent à des animaux à corps mous sans squelette minéralisé. Ce qu'on retrouve, c'est l'empreinte des organismes sur le sédiment, qui n'est pas toujours facile à interpréter. Leurs relations avec les autres groupes de métazoaires sont incertaines.

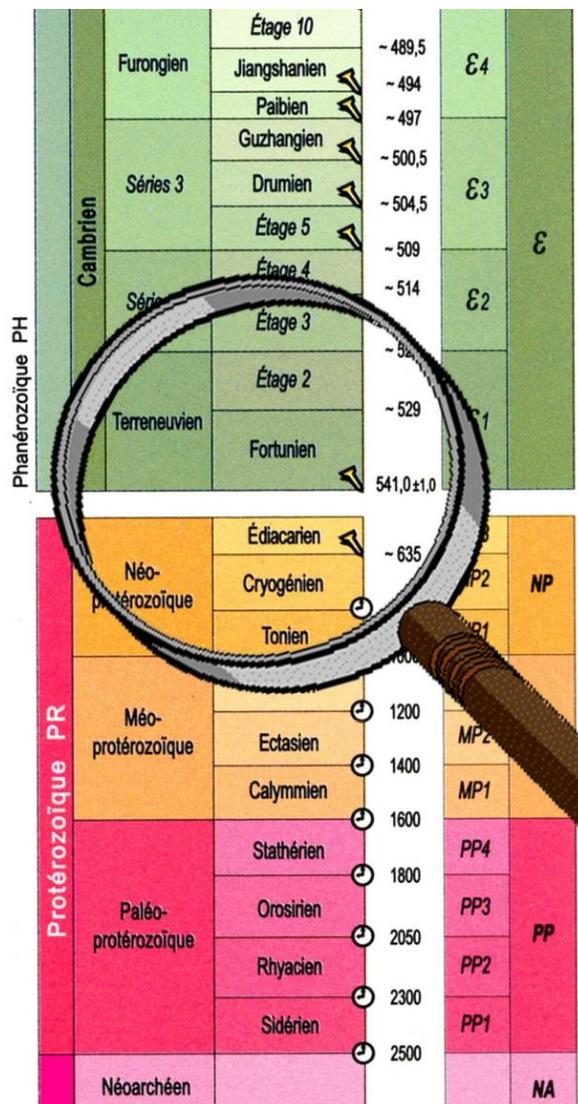


Figure 3. La fin du Précambrien. Extrait de la Charte stratigraphique internationale 2012. Téléchargeable sur : <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2012French.pdf>

## Faunes du Précambrien

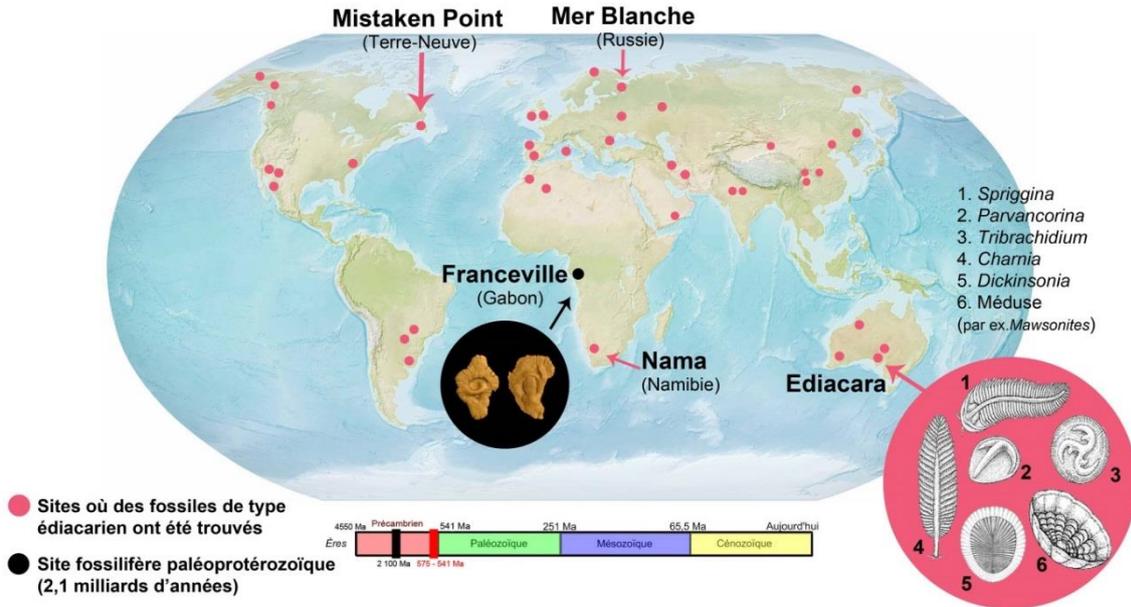


Figure 4. Panneau sur les faunes du Précambrien présenté dans l'atelier. Localisation du gisement de Franceville, au Gabon, et répartition de la faune d'Ediacara ; c'est une faune cosmopolite qui a été identifiée dans une trentaine de sites dans le monde. D'après McCall (2006), modifié.

Aujourd'hui, un consensus tendrait à rapprocher certaines formes à des groupes encore représentés dans la nature aujourd'hui, tels que les cnidaires (méduses, coraux...), voire même les annélides ou les arthropodes, le reste étant classé dans des phylums aujourd'hui disparus (Vannier, site CNRS).

Ces premiers animaux se sont très certainement développés à l'interface eau/sédiment et ils se sont longtemps cantonnés à ce milieu de vie, avec une prédominance d'organismes fixés ou peu mobiles.

La faune d'Ediacara n'est pas confinée à un seul endroit dans le monde ; elle est répartie dans plusieurs sites à la surface du globe (figure 4) qui permettent de distinguer trois associations, trois types de communautés différentes par leur composition, leur âge ou leur mode de préservation.

Quelques exemples ont été illustrés de façon un peu plus détaillée (voir leur localisation sur la figure 4) : *Mistaken Point*, à Terre-Neuve, Canada ; *Nama*, Afrique du Sud ; *La Mer Blanche*, au nord de la Russie et, bien sûr, *Ediacara*, en Australie (Narbonne, 2005).

### *Mistaken Point, Canada*

L'association découverte à Terre-Neuve (Péninsule d'Avalon) est la plus ancienne (de - 560 à - 575 Ma). Une trentaine de taxons y ont été identifiés : il s'agit principalement de fossiles en forme de frondes qui peuvent atteindre deux mètres de long et qui devaient être fixés au fond en permanence (figure 5).

Ces fossiles sont contenus dans des couches de sédiments volcano-clastiques qui indiquent un milieu de dépôt en eau profonde.

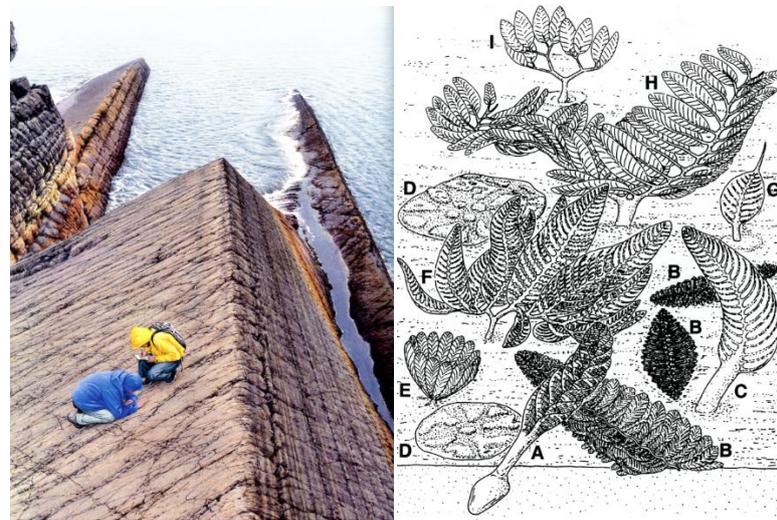


Figure 5. À gauche, un affleurement de la Formation Mistaken Point, à Terre-Neuve. À droite, une reconstitution de la faune d'Ediacara de ce site : A. *Charnia masoni* ; B. fossiles en forme de fuseaux ; C. *Charniodiscus concentricus* ; D. restes discoïdaux lobés ; E. fossiles en forme de buissons ; F. frondes branchées ; G. *Charniodiscus* sp. ; H. organismes en peignes ; I. frondes en branches. *Charnia* mesure 18 cm. D'après Fedonkin et al., 2007.

### *Mer Blanche, Russie*

Les gisements dits de la Mer Blanche-Akhangel'sk sont situés le long des côtes au nord de la Russie

(figure 6). Ils sont connus depuis les années 1930 mais étaient alors considérés comme étant beaucoup plus jeunes (Dévonien). La faune est aujourd'hui datée entre – 560 et – 550 millions d'années.

C'est une faune diversifiée (plus de 50 formes différentes) finement conservée (figure 6) dans des grès fins et des pélites correspondant à un domaine côtier le long d'une plateforme stable.



Figures 6. À gauche, affleurement côtier montrant les couches édiacariennes dans la région de la Mer Blanche, Russie. (D'après Fedonkin et al., 2009). À droite, *Rangaia*, un des fossiles découverts sur ce site. La largeur du spécimen est de 63 mm (in Fedonkin, et al., 2007).

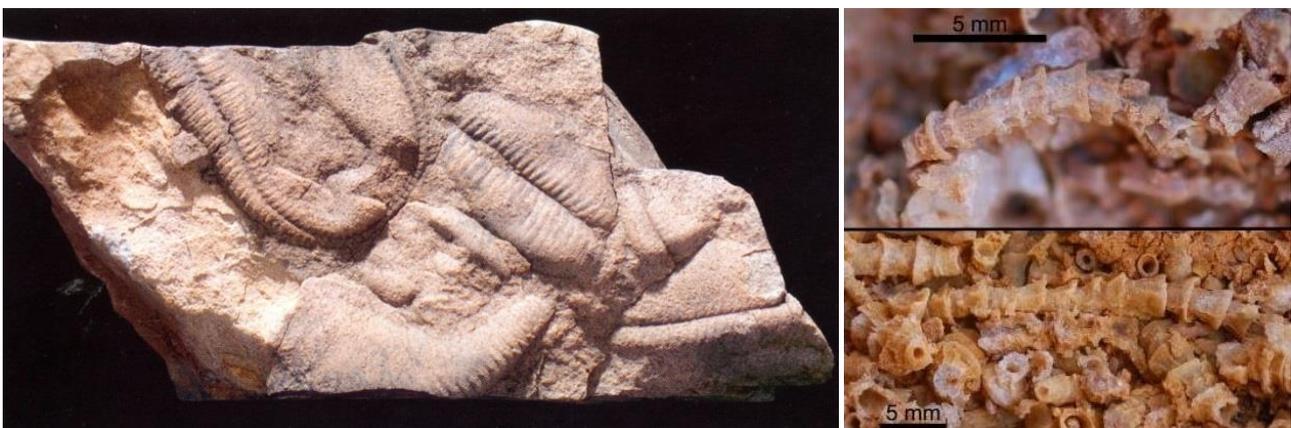
### **Nama, Namibie**

Les sites édiacariens de Nama sont situés dans le sud de la Namibie (figure 7). Les fossiles sont contenus dans des lentilles gréseuses, ou parfois dans des calcaires, datés de – 549 à – 542 Ma, grâce à l'analyse des cendres volcaniques intercalées ; ils correspondent à des milieux agités peu profonds.

La faune y est peu diversifiée (quatre genres : *Rangaia*, *Pteridinium*, *Ernietta* et *Swaripuntia*) et consiste principalement en frondes multifoliées, en terriers (figure 8). Mais la principale innovation observée dans ces gisements, c'est l'apparition de la biominéralisation calcaire (tubes, coquilles, spicules) dans des formes telles que *Cloudina* (figure 8) qui, dans certains sites, ont pu former les premiers récifs.



Figure 7. Affleurement des niveaux édiacariens (Nama Group) dans le sud de la Namibie. (Photo P. Vickers-Rich, in Fedonkin et al., 2007).



Figures 8. À gauche, *Pteridinium*, Nama Group, Namibie. Ce bloc mesure environ 25 cm. (Photo S. Morton in Fedonkin et al., 2007). À droite, *Cloudina carinata*. Ce spécimen provient d'un site d'âge édiacarien en Espagne. (Photo Cortijo, et al., 2010).

### **Ediacara, Australie**

Le site d'Ediacara, en Australie méridionale, est constitué d'un chapelet de petites collines situées au nord d'Adelaïde (figure 9). Les organismes sont contenus dans une succession de faciès marins peu profonds et deltaïques. La faune correspond à des organismes benthiques qui semblent avoir vécu en association étroite avec des tapis microbiens. Ceux-ci ont joué un rôle important pour la conservation de ces organismes à corps mous.



Figure 9. Nilpena Station, Australie, un des principaux sites fossilifères dans les collines d'Ediacara. (Photo : ABC News, Fiona Sewell).

Une quarantaine d'espèces ont été distinguées, appartenant aux genres *Dickinsonia*, *Kimberrella*, *Parvancorina*, *Spriggina*, *Tribrachidium*, *Mawsonites*, *Charniodiscus*, pour ne citer que les plus connus (figure 10).

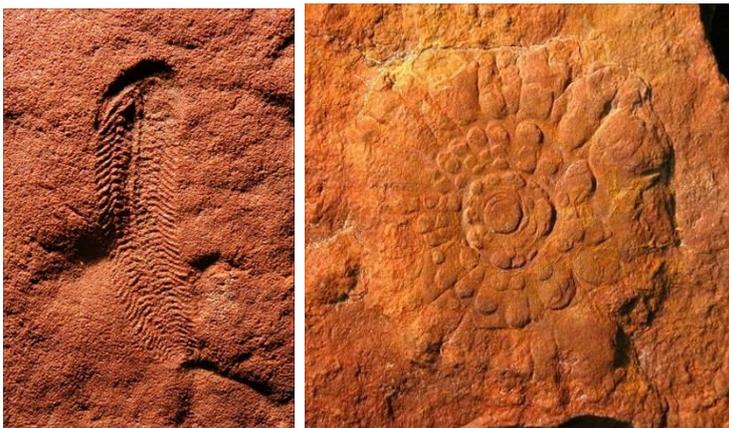


Figure 10. Deux fossiles caractéristiques d'Ediacara. À gauche, *Spriggina floundersi* (env. 4 cm). À droite, *Mawsonites spriggi* (env. 12 cm). (Photos : J. Gelhig, Australian Museum).

Cette faune, apparue vers – 565 Ma, s'éteint 20 millions d'années plus tard. Les faunes du Cambrien seront radicalement différentes.

Parmi les hypothèses évoquées pour expliquer cette

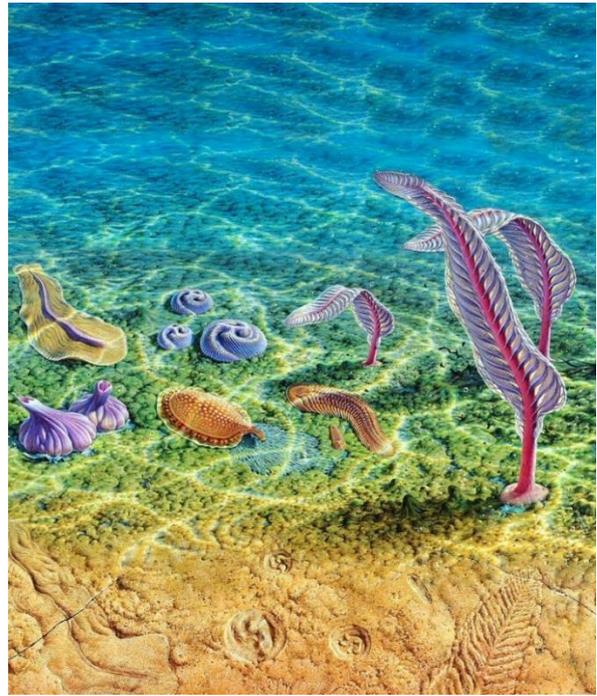


Fig. 11. Vue d'artiste illustrant la vie à l'Édiacarien, en Australie. (Peter Trusler, 2016).

Source : <http://www.environment.sa.gov.au/our-places/Heritage/conserving-our-heritage/ediacaran-fossils>

disparition, des auteurs évoquent une extinction en masse à la fin du Précambrien, liée à des modifications climatiques, des modifications de la teneur en oxygène de l'atmosphère, etc.

### **L'Édiacarien**

La nature et la composition de la faune d'Ediacara sont uniques et très caractéristiques de la fin du Précambrien, de sorte que la Commission internationale de stratigraphie a ratifié, en 2004, une nouvelle période géologique appelée Édiacarien (de – 635 à – 541 Ma, voir figure 3) dont le stratotype se trouve naturellement en Australie (Knoll *et al.*, 2006).

### **Les faunes du Cambrien inférieur et moyen (de – 535 à – 510 Ma) : « l'explosion cambrienne »**

Au Cambrien inférieur, il se produit une extraordinaire diversification des organismes vivants et on constate que près de la moitié des phylums actuels sont déjà représentés au sein de ces faunes, ce qui montre leur origine très ancienne : arthropodes, échinodermes, chordés (ancêtres des vertébrés), vers, mollusques, etc. Toutefois, certains plans d'organisation sont beaucoup plus énigmatiques, sans équivalents proches dans la nature actuelle.

### Le cas du fossile *Hallucigenia*

Le cas du fossile *Hallucigenia* (figure 12) illustre bien les difficultés d'interprétation de certains organismes. Découvert dans le site de Burgess, il avait initialement été reconstitué « sens dessus dessous » : ce qu'on avait pris pour des pattes (position de gauche dans la vitrine) étaient en réalité des épines, alors que les tubes sur son dos étaient des lobopodes marcheurs. C'est la découverte de plusieurs nouveaux spécimens, en particulier dans des sites chinois, qui a permis une meilleure compréhension de cet animal.



Figure 12. En haut, vitrine présentée dans l'atelier avec les deux reconstitutions d'*Hallucigenia* (la bonne est à droite). (Photo Fromont). En bas, *Hallucigenia fortis*, Chengjiang (jusqu'à 2,2 cm). (Photo Maoyan Zhu in Hou et al. 2003).

Les groupes les plus importants en termes de diversité et de biomasse sont les arthropodes, les vers marins et les éponges.

Ainsi, sur une période relativement brève à l'échelle des temps géologiques, probablement quelques dizaines de millions d'années, le monde marin change profondément. Il passe d'un écosystème relativement simple où dominaient bactéries, algues, éponges et macro-organismes fixés de type « Ediacara » à un écosystème beaucoup plus complexe, avec de nombreuses interactions biologiques : accroissement sensible de l'activité animale à l'intérieur du sédiment, conquête du milieu pélagique, structuration forte de la chaîne alimentaire.

Deux sites exceptionnels, d'âges un peu différents, très emblématiques, ont été choisis pour décrire cette

véritable explosion de la vie au Cambrien inférieur : *Chengjiang*, en Chine, et *Burgess*, au Canada (figure 13, page suivante).

### *Chengjiang, Chine*

Les sites fossilifères de Chengjiang, datés de – 530 Ma (Cambrien inférieur), couvrent quelque 512 hectares de collines, situées à Maotianshan, à 50 km au SE de Kunming, dans la province du Yunnan, en Chine (figure 14). Ils furent découverts par le géologue français Henri Mansuy, dès 1912, et « redécouverts » et étudiés en 1984. La préservation des fossiles, dans un calcaire argileux, très fin, est exceptionnelle (figure 15) ; elle s'explique probablement par des coulées de boues sous-marines subites, qui ont rapidement enfoui les organismes.



Figure 14. Un des sites fossilifères de Chengjiang situés à Maotianshan, à 50 km au SE de Kunming, dans la province du Yunnan, en Chine. Source : <http://www.nhm.ac.uk/discover/eyes-on-the-prize-evolution-of-vision.html>

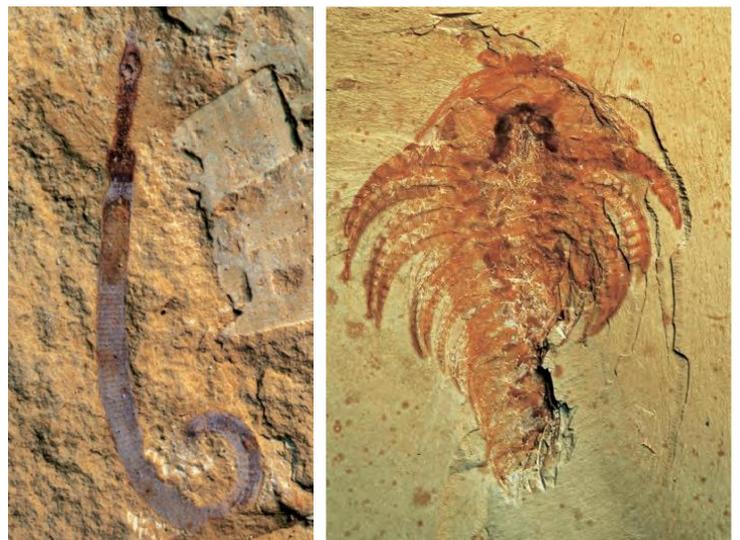


Figure 15. Deux fossiles emblématiques de Chengjiang. À gauche, *Maotianshanian cylindrica*, un ver d'environ 4 cm ; à droite, *Chengjiangocaris longiformis*, un arthropode d'environ 10 cm. Source : <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1388.pdf>

## Faunes du Cambrien

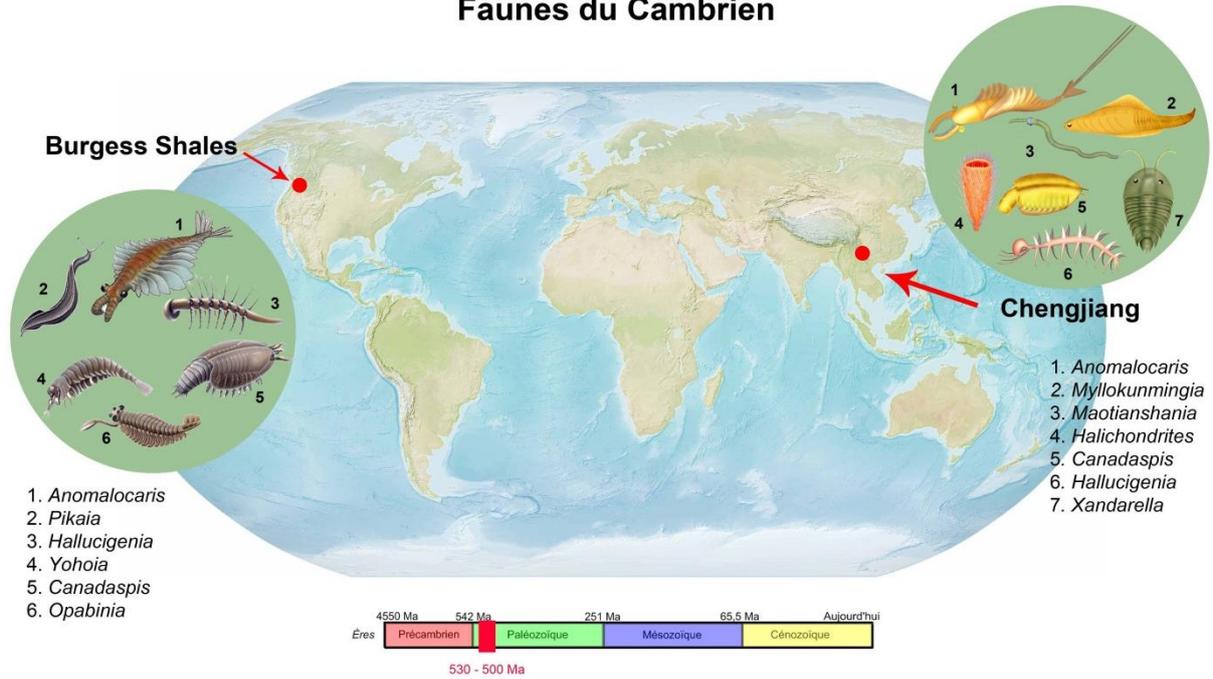


Figure 13. Localisation des faunes du Cambrien. Panneau présenté dans l'atelier.

La faune comporte 196 espèces, réparties dans une vingtaine de phylums (figure 16) : les arthropodes représentent près de 50 % de la faune, les éponges, 13 %, et les vers non segmentés, 8 %. Cette époque voit également l'émergence des premiers vertébrés : découverte d'un chordé nommé *Haikouella*, et de deux autres formes.

Au moins 90 % des espèces de la faune de Chengjiang vivaient sur le fond. Mais cette faune comprend également des organismes non benthiques : par exemple des médusoïdes, certains arthropodes, des chordés,

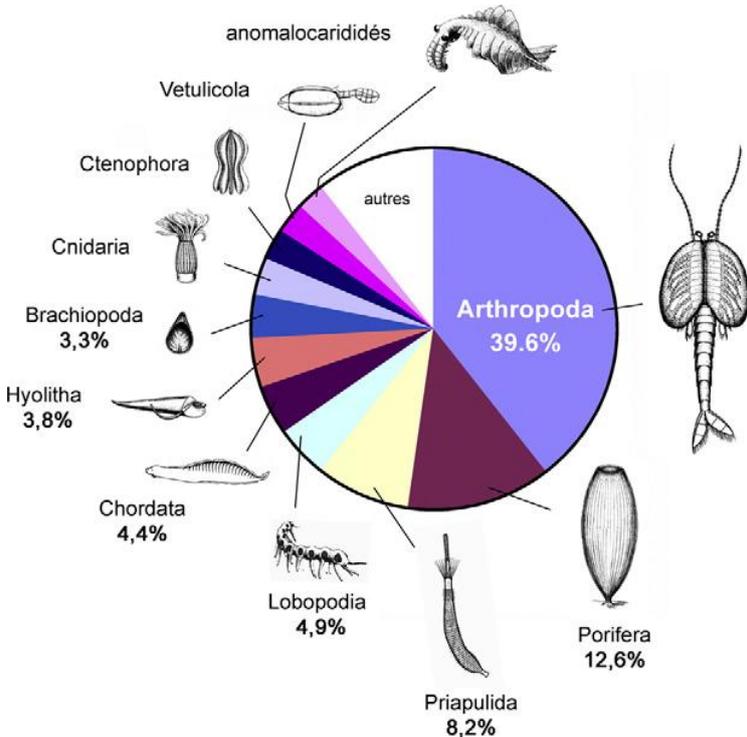


Figure 16. Biodiversité de la faune de Chengjiang, datée du Cambrien inférieur. D'après Vannier (2009).

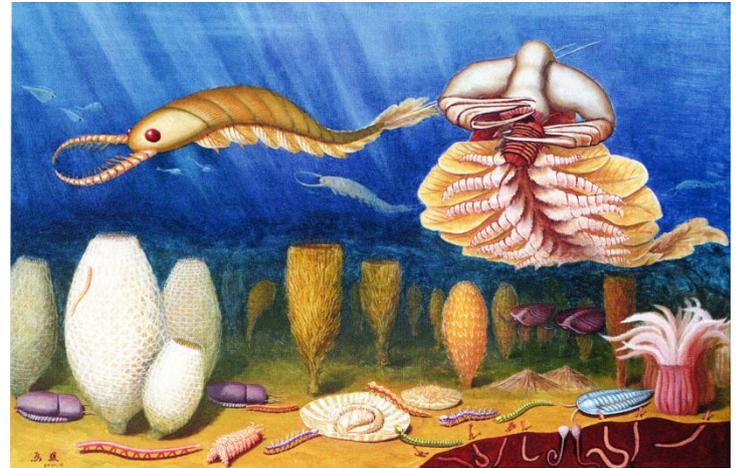


Figure 17. Reconstitution de la vie cambrienne à Chengjiang, par Ma Xiang of Kunming, in Hou Xian-guang, (2003).

ou encore le prédateur *Anomalocaris*, un arthropode nageur de grande taille (parfois de plus d'un mètre) qui vivait à proximité du fond (figure 17).

### *Burgess, Canada*

Au Canada, dans le Parc national de Yoho, situé près de Field (Colombie britannique) et proche du Mont Burgess, le paléontologue Charles Doolittle Walcott trouva, en 1909, de curieux fossiles dans des schistes noirs datés d'environ - 510 Ma (Cambrien moyen). Il

s'agissait de fossiles au corps mou, ou partiellement mou, dans un état de conservation remarquable.

Le site le plus célèbre des schistes de Burgess est celui de la carrière Walcott. À ce jour, plus de 150 espèces d'animaux, d'algues et de bactéries provenant de ce site ont été décrites (figures 18 et 19).

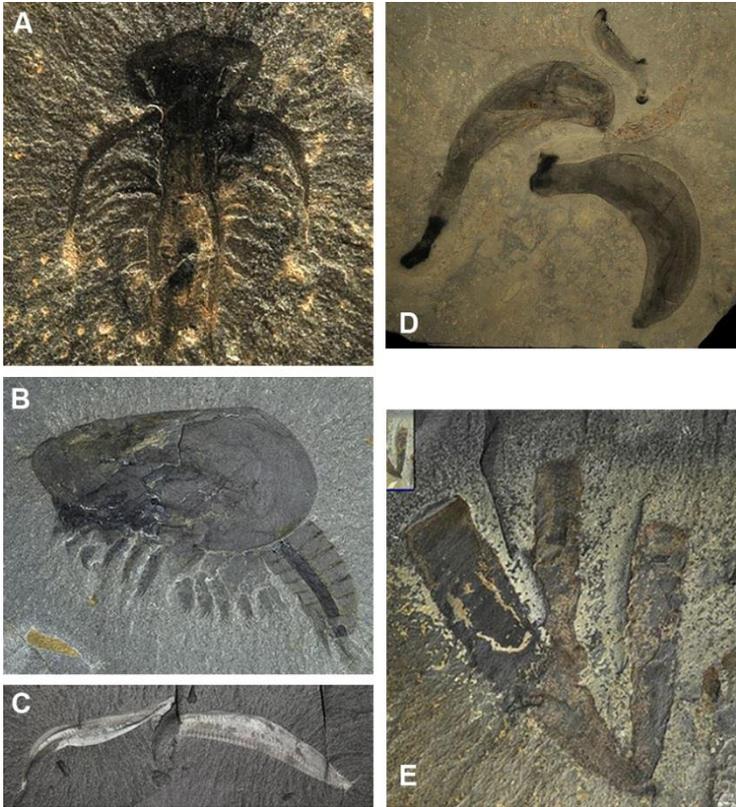


Figure 18. Quelques fossiles de la carrière Walcott.

A. *Marella splendens* ; B. *Canadaspis* (arthropode) ;

C. *Pikaia gracilens* (vertébré) ; D. *Ottoia* (ver) ;

E. *Hazelia delicatula*, éponge la plus commune de Burgess.

Source : <http://burgess-shale.rom.on.ca/fr/galerie-des-fossiles/especes-liste.php>

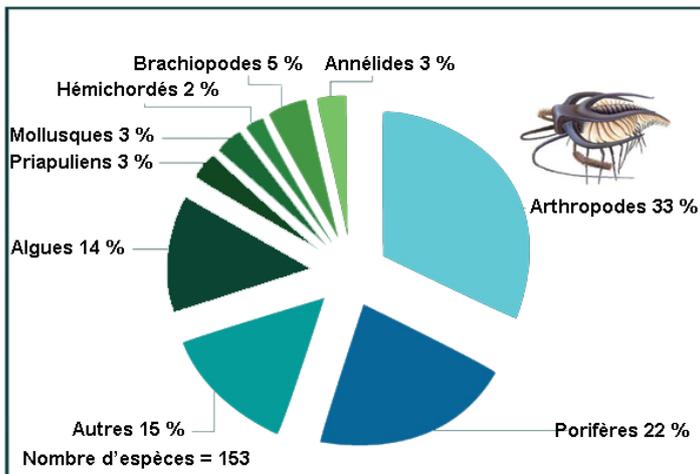


Figure 19. Abondances relatives des espèces dans les schistes de Burgess (carrière Walcott). D'après le site du Musée royal Ontario, modifié.

La faune de Burgess (Cambrien moyen) est très semblable à celle de Chengjiang (Cambrien inférieur) et ne présente pas d'innovation significative pour ce qui est des plans d'organisation et de la diversité morphologique.

La plupart des espèces découvertes dans la carrière Walcott étaient des organismes benthiques qui vivaient probablement dans des eaux relativement profondes au pied d'un escarpement (figure 20).

Des déstabilisations occasionnelles de cet escarpement auraient provoqué des coulées de boue et de débris qui auraient rapidement enfoui les organismes. Cette rapidité de l'enfouissement a permis la conservation des organismes y compris ceux à corps mous (qui représentaient jusqu'à 98 % de la faune).



Figure 20. La vie au pied de l'escarpement de Burgess. Cette illustration est extraite d'une vidéo présentée sur le site du Musée royal de l'Ontario. Celui-ci propose une « Odyssée virtuelle de la mer » qui reconstitue en sept vidéos la vie des différents groupes de la faune de Burgess, jusqu'à l'ensevelissement final.

Source : <http://burgess-shale.rom.on.ca/fr/odysee-virtuelle-de-la-mer/>

Pour faire découvrir ces « étonnantes créatures de Burgess », un jeu a été proposé aux enfants à l'aide de quelques figurines reproduisant des animaux de Burgess à identifier et replacer sur une reconstitution très simplifiée de leur milieu de vie (figure 21).



Figure 21. Le jeu imaginé pour l'atelier. (Photo F. Tran).

## Conclusion

Tous ces gisements constituent des sites rares, à conservation exceptionnelle, ou *Lagerstätten*, qui ont permis d'étudier ces périodes clés dans l'évolution de la vie sur la planète : la diversité des organismes, les traces laissées par ces organismes, la reconstitution des milieux dans lesquels ils vivaient, le mode de vie propre à chacun. Ces sites exceptionnels doivent bien sûr être préservés et reconnus comme sites du patrimoine géologique de valeur internationale. Plusieurs d'entre eux sont déjà classés Patrimoine mondial de l'Unesco ; d'autres sont protégés au niveau national dans leur pays :

- **Ediacara**, le site de Nilpena, est inscrit depuis 2007 sur la liste du *National Heritage* d'Australie ;
- **Burgess** est inscrit au Patrimoine mondial de l'Unesco (inclus dans site du Parc des Rocheuses) depuis 1980, de même que *Chengjiang* en 2012 et *Mistaken Point* en 2016.

### Pour en savoir plus

*Cet article n'est qu'un survol très rapide des caractéristiques principales de la vie à la fin du Précambrien et au Cambrien. Ces deux périodes ont été très étudiées et la littérature associée est abondante. Les quelques références et adresses de sites Internet qui suivent permettent d'aller plus loin.*

- . Chen J.Y., Zhou G.Q., Zhu M.Y. *et al.* (1997 ?) – The Chengjiang biota : a unique window of the Cambrian explosion. National Museum of natural science, Taiwan, IX-222 p.
- . Dodd M., Papineau D., Grenne T., Slack J.F., Rittner M., Pirajno F., O'Neil J. & Little C.T.S. (2017) – Evidence for early life in Earth's oldest hydrothermal vent precipitates. *Nature*, 543, 2 March 2017, 60-64.
- . El Albani A., Bengtson S., Canfield D.E., Bekker A., Macchiarelli R., Mazurier A., Emma U., Hammarlund E.U., Boulvais P., Dupuy J.J., Fontaine C., Fürsich F.T., Gauthier-Lafaye F., Janvier P., Javaux E., Ossa Ossa F., Pierson-Wickmann A.C., Riboulleau A., Sardini P., Vachard D., Whitehouse M. & Meunier A. (2010) – Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago. *Nature*, 466, 1 July 2010, 100-104.
- . El Albani A., Bengtson S., Canfield D.E., Riboulleau A., Rollion Bard C., Macchiarelli R., Ngombi Pemba L., Hammarlund E., Meunier A., Moubiya Mouele I., Benzerara K., Bernard S., Boulvais P., Chaussidon M., Cesari C., Fontaine C., Chi-Fru E., Garcia Ruiz J.M., Gauthier-Lafaye F., Mazurier A., Pierson-Wickmann A.C., Rouxel O., Trentesaux A., Vecoli M., Versteegh G.J.M., White L., Whitehouse M. & Bekker A. (2014) – The 2.1 Ga Old Francevillian Biota : Biogenicity, Taphonomy and Biodiversity. *PLOS ONE*, 9(6) : e99438. doi:10.1371/journal.pone.0099438, 26 June 2014.

- . Fedonkin M.A., Ivantsov A.Yu., Lenov M.V., Lipps J.H., Serezhnikova E.A., Malyutin E.I. & Khan Y.V. (2009) – Paleo-piracy endangers Vendian (Ediacaran) fossils in the White Sea, Arkhangelsk region of Russia. In Lipps J.H. & Granier B.R.C. (eds.), *Paleo-Parks. The protection and conservation of fossil sites worldwide*. Carnets de Géologie/Notebooks on Geology, Brest, Book 2009/03, Chapter 09 (CG2009\_BOOK\_03/09). Téléchargeable sur le site de la revue en ligne : Carnets de géologie.
- . Fedonkin M.A., Gehling J.G., Grey K., Narbonne G.M. et Vickers-Rich P. (2007) – The rise of animals. Evolution and diversification of the kingdom Animalia. The John Hopkins University Press, XV-326 p.
- . Hou X., Aldridge R.J., Bergstrom J., Siveter D.J. & Feng X-H. (2003) – The Cambrian Fossils of Chengjiang, China. The Flowering of Early Animal Life. Wiley-Blackwell, 248 p.
- . Knoll A.H., Walter M.R., Narbonne G.M. & Christie-Blick N. (2006) – The Ediacaran Period : a new addition to the geologic time scale. *Lethaia*, 39, 13-30.
- . McCall G.J.H. (2006) – The Vendian (Ediacaran) in the geological record : Enigmas in geology's prelude to the Cambrian explosion. *Earth-Science Reviews*, 77, 1-229. Téléchargeable à l'adresse : [http://old.geology.lnu.edu.ua/phis\\_geo/fourman/library-Earth/The%20Vendian%20\(Ediacaran\)%20in%20the%20geological%20record.pdf](http://old.geology.lnu.edu.ua/phis_geo/fourman/library-Earth/The%20Vendian%20(Ediacaran)%20in%20the%20geological%20record.pdf)
- . Narbonne G.M. (2005) – The Ediacara biota : Neo-proterozoic Origin of Animals and Their Ecosystems. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 421-42.
- . Nutman A.P., Bennet V.C., Friend C.R. L., Van Kranendonk M.J. & Chivas A.R. (2016) – Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures. *Nature*, 537, 535-538 (22 September 2016).
- . Vannier J. (2009) – L'explosion cambrienne ou l'émergence des écosystèmes modernes. *C. R. Palevol*, 8, 133-154.
- . Xia-Guang H., Aldridge R.J., Bergström J. *et al.* (2004) – The Cambrian fossils of Chengjiang, China : the flowering of early animal life. Blackwell Publishing, XII-233 p.

### Références Internet

- . Langlois C., De Burgess à Franceville (Gabon) : les plus anciennes traces fossiles de pluricellulaires sur : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/fossiles-pluricellulaires.xml>
- . Vannier J., L'explosion cambrienne sur : [http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/cha\\_p2/vannier.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/cha_p2/vannier.html)
- . Pour une synthèse sur le site de Chengjiang, voir : <http://whc.unesco.org/fr/list/1388> et pour télécharger le dossier de candidature complet (496 pages en anglais) voir : <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1388.pdf>
- . Pour les schistes de Burgess, voir un dossier très complet (textes, galerie de photos, films) sur le site du Musée royal de l'Ontario : <http://burgess-shale.rom.on.ca/fr/>

