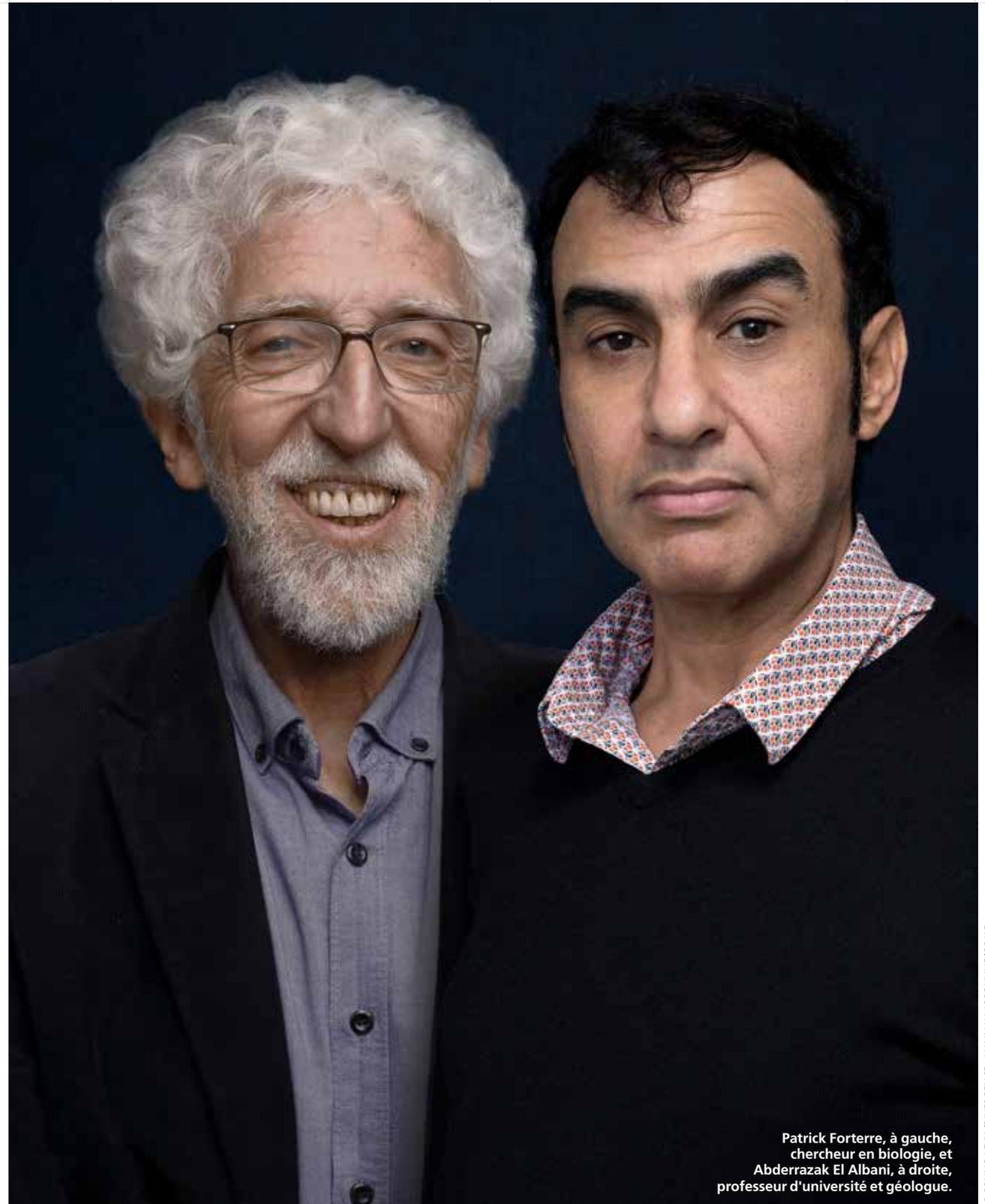


PATRICK FORTERRE

ABDERRAZAK EL ALBANI

# “Il nous faut savoir tout ce qui s’est passé, depuis le commencement”

Comment la vie a-t-elle émergé sur Terre ? Quand et dans quelles conditions ? À quoi ressemblaient les premiers êtres vivants ? Interviews croisées de deux spécialistes dans ce domaine : Patrick Forterre, biologiste spécialiste des premières formes de vie à une cellule (université de Paris-Saclay/Institut Pasteur), et Abderrazak El Albani, géologue (université de Poitiers/CNRS) et coauteur d’un récent livre sur ce sujet, *Comment tout a commencé sur la Terre*. PAR KHEIRA BETTAYEB



Patrick Forterre, à gauche, chercheur en biologie, et Abderrazak El Albani, à droite, professeur d'université et géologue.



#### SVHS: Pourquoi étudier les origines de la vie ?

**Patrick Forterre :** Pour satisfaire notre curiosité ! Mais aussi pour répondre à une grande question existentielle qui taraude l'humanité depuis ses débuts : d'où venons-nous ? La quête des origines est inhérente à la nature humaine.

**Abderrazak El Albani :** Jusqu'à la fin des années 2000, nos connaissances sur l'évolution de la vie sur Terre portaient essentiellement sur les dernières 520 millions d'années ; ce qui laissait dans le noir plus de 4 milliards d'années (Ga) de l'histoire de la vie sur Terre. Or, pour comprendre dans son ensemble ce grand chemin qu'est l'évolution, il nous faut savoir tout ce qui s'est passé depuis le commencement.

**P. F. :** Après, savoir dans quelles conditions la vie a émergé sur Terre peut aussi aider à déterminer si elle peut exister ailleurs

**^ Au Gabon, l'équipe d'Abderrazak El Albani (ci-contre) a découvert dans des sédiments vieux de 2,1 milliards d'années, des restes fossiles d'une impressionnante variété d'organismes coloniaux complexes, les plus anciens documentés à ce jour.**

dans l'Univers, notamment sur Mars, et sous quelles formes.

#### SVHS: Comment explorez-vous les débuts de la vie sur Terre ?

**A. E. A. :** Il s'agit d'un travail d'enquête – sans témoin vivant ! – minutieux et très multidisciplinaire, qui implique notamment des géologues, spécialistes des roches sédimentaires où sont souvent imbriquées les traces des premières formes de vie ; des microbiologistes, experts en micro-organismes, qui ont été certainement les premières formes de vie terrestre ; et des biologistes généticiens, capables de remonter "l'horloge moléculaire".



“ Pour les toutes premières formes de vie, datant de plus de 3,5 Ga, il est illusoire d'espérer trouver des archives sédimentaires ”

**P. F. :** Ces derniers recherchent et étudient les protéines partagées par des organismes actuels, pour en déduire celles déjà présentes chez leurs ancêtres communs à la base de l'arbre du vivant, et ainsi dresser le portrait-robot de ces ancêtres. Certaines protéines sont en effet si importantes qu'elles ont été conservées chez tous les organismes, et peuvent être encore reconnues aujourd'hui en comparant leurs séquences en acides aminés.

#### SVHS: En pratique, comment procédez-vous ?

**A. E. A. :** Pour trouver des traces de vie remontant au Précambrien (avant -542 millions d'années), nous étudions des terrains très anciens. Par exemple, au Gabon, au Maroc, au Brésil, en Mauritanie et en Ukraine – où travaille mon équipe –, certaines roches remontent à plus de

2 Ga. Là, nous faisons un travail d'observation et de prélèvement d'échantillons. De retour au laboratoire, nous les analysons grâce à plusieurs instruments de pointe : le microscope électronique à balayage, qui permet d'analyser leur surface à l'échelle nanométrique (0,000 001 mm) ; le microtomographe aux rayons X, qui dévoile leur organisation interne en 3D sans compromettre leur intégrité ; la sonde ionique, qui mesure leur teneur en différents isotopes (atomes avec un nombre de protons identique, mais pas le même nombre de neutrons), ce qui permet de s'assurer de leur biogénicité [origine biologique, NDLR], les êtres vivants renfermant, par exemple, plus de soufre 32 (<sup>32</sup>S) et de carbone 12 (<sup>12</sup>C) que de <sup>36</sup>S ou de <sup>13</sup>C.

**P. F. :** Pour les toutes premières formes de vie, datant de plus de 3,5 Ga, il est illusoire d'espérer trouver des archives sédimentaires. Et pour cause : plus une roche est ancienne, plus elle risque d'avoir été transformée par des impacts de météorites ou des processus géologiques (érosion, tectonique des plaques, etc.), et plus la probabilité d'y trouver des traces de vie s'amenuise. Dans ce cas, la seule solution est d'émettre des hypothèses et de les tester en recourant à la génétique ou à la chimie prébiotique [une discipline qui vise à identifier l'ensemble des réactions chimiques qui ont rendu possible l'apparition de la vie, NDLR].

#### SVHS: Quand la vie est-elle apparue sur Terre ?

**A. E. A. :** Traditionnellement, les chercheurs situent cet événement vers -3,9 à -3,8 Ga, après la formation des océans et après les derniers grands impacts de météorites survenus vers -4 Ga. Ceci dit, régulièrement, des équipes de recherche rapportent avoir

découvert de nouvelles potentielles traces de vie plus anciennes. Mais chaque nouvelle annonce de ce type est en général suivie d'une controverse. Car démontrer rigoureusement la biogénicité d'un supposé fossile est difficile : pour des périodes très reculées, il ne subsiste plus de matière organique dans les échantillons analysés ; il faut donc présenter plusieurs arguments solides allant dans ce sens. Les indices les plus anciens trouvés à ce jour – et encore discutés – remontent à plus de 4 Ga.

**SVHS: Comment est-on passé de l'inerte au vivant ?**

**P. F. :** Cette question est encore débattue. Selon la théorie actuellement dominante, les molécules organiques utilisées par le vivant (notamment les acides aminés, constituant les protéines et les lipides – les graisses – qui forment les membranes des cellules) sont apparues sur Terre, même si certaines d'entre elles ont peut-être été apportées par des comètes ou des météorites. D'après le chercheur russe Armen Mulkidjanian, auteur d'un article sur ce sujet paru en 2012 dans la revue *PNAS*, tout se serait joué dans des sources chaudes terrestres riches en potassium [un minéral essentiel à la vie actuelle, *NDLR*]. Ceci expliquerait pourquoi les cellules de tous les organismes contiennent en abondance cet élément rare sur terre et dans les océans. En revanche, on ignore encore comment est apparu le premier métabolisme capable de fournir l'énergie nécessaire à la formation des molécules géantes caractéristiques de la vie actuelle (protéines, acides nucléiques, etc.).

“ La vie multicellulaire organisée aurait émergé... 1,5 Ga plus tôt que ce qui était admis jusque-là (0,6 Ga) ! ”



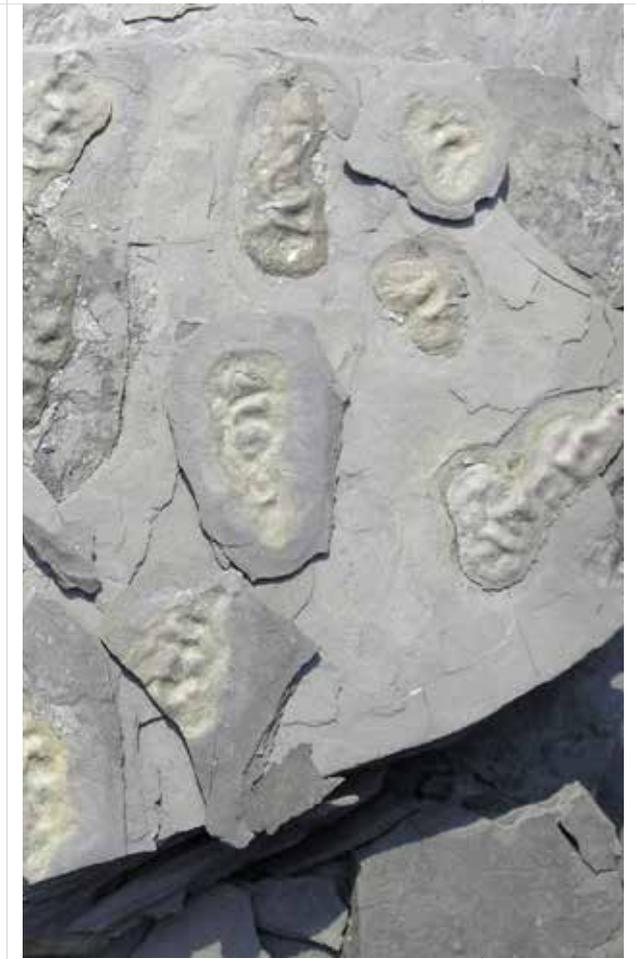
**SVHS: À quoi ressemblait le tout premier être vivant ?**

**P. F. :** Il s'agissait sans doute de cellules rudimentaires, ou protocellules : des vésicules entourées d'une membrane lipidique et capables d'un métabolisme primitif fournissant le minimum d'énergie nécessaire à leur stabilité et à leur croissance. En laboratoire, il est relativement facile d'obtenir de telles structures à partir de composants chimiques simples (peptides, minéraux, etc.). Une étape-clé dans l'évolution de ces protocellules a été l'apparition de macromolécules [molécules géantes, *NDLR*] capables de porter et de transmettre une information génétique. La plus ancienne connue à ce jour est l'acide ribonucléique (ARN), une molécule génétique plus simple que l'ADN. L'ARN est capable non seulement de porter une information génétique, mais il peut également catalyser

des réactions chimiques. Il est alors appelé ribozyme, par analogie avec les enzymes classiques, qui sont, elles, des protéines. Une étude japonaise publiée en mars 2022 dans le journal *Science Advances* a confirmé que l'ARN peut évoluer par lui-même pour former des molécules de plus en plus complexes... comme lors du processus d'évolution décrit par le biologiste britannique Charles Darwin ! Reste que pour l'instant, on ne sait pas comment les “briques” complexes qui forment l'ARN, les ribonucléotides, sont apparues au sein des protocellules. Elles sont en effet très difficiles à obtenir en laboratoire par des méthodes non biologiques...

**SVHS: Quid de la cellule Luca ?**

**P. F. :** Contrairement à une confusion courante, cette cellule, qui aurait vécu il y a plus de 3 Ga, n'était pas la première cellule apparue



▲ Abderrazak El Albani analyse les fossiles trouvés au Gabon (à gauche), dont certains atteignent 10 à 12 cm. Parmi eux, des macrofossiles multicellulaires complexes (ci-dessus).

sur notre planète. Comme l'indique son nom (acronyme de “*Last universal common ancestor*” : “dernier ancêtre commun universel”), inventé lors d'un colloque scientifique que j'ai organisé, Luca est le dernier ancêtre commun aux trois grands groupes d'organismes vivants actuellement : les archées (*Archaea*) et les bactéries, des micro-organismes unicellulaires formés pour la plupart de cellules sans noyau (procaryote), et les eucaryotes, constitués de cellules beaucoup plus complexes, avec un noyau, et regroupant tous les champignons, plantes et animaux, mais aussi

© FRANTZ OSSA/CNRS PHOTO THÉQUE

© ABDERRAZAK EL ALBANI/CNRS PHOTO THÉQUE



▲ Les sédiments emballant les organismes fossiles trouvés au Gabon (ci-dessus) sont analysés chimiquement grâce à un diffractomètre de rayons X (à gauche). Cela permet la caractérisation des minéraux constituant une roche, un sédiment ou un fossile.

de nombreux micro-organismes, comme les paramécies et les amibes. Entre l'apparition de la vie et Luca, il y a eu une première longue période d'évolution qui a duré 0,5 à 1 Ga. Après étude comparée avec les ribosomes (structures cellulaires permettant de fabriquer les protéines) des organismes actuels, il s'est avéré que ceux de Luca étaient déjà formés d'une trentaine de protéines (contre

60 à 80). Donc c'était un organisme plus simple que les organismes actuels, mais déjà très complexe, comparé aux protocellules susmentionnées.

**SVHS: Que sait-on du "mode de vie" de cet ancêtre ?**

**P. F. :** Pas grand-chose ! Il n'a pas été possible jusqu'à présent de reconstituer son

“ Entre 2,45 et 2 Ga, le boom du taux d'O<sub>2</sub> a pu enclencher un métabolisme – inconnu à ce jour – qui a permis le passage d'un stade bactérien simple vers un monde plus complexe, eucaryotique ”

© JEAN-CLAUDE MOSCHETTIC/NRS PHOTOTHÈQUE (X2)

métabolisme. Mais certains chercheurs pensent qu'il devait déjà vivre dans un milieu plus pauvre en potassium que ses ancêtres, car il possédait déjà des "pompes" pour puiser cet élément dans son milieu et le concentrer dans ses cellules. Contrairement à certains autres scientifiques, je ne pense pas que Luca était thermophile – qu'il vivait dans un environnement très chaud. Son génome était peut-être encore constitué d'ARN (comme les cellules primitives décrites plus haut) ; or l'ARN est très fragile à haute température. De plus, lors de travaux rapportés en 2019 dans la revue *Molecular Biology and Evolution*, j'ai montré, avec un collègue néo-zélandais, que contrairement à tous les thermophiles, Luca ne possédait pas la *reverse gyrase*, une enzyme qui protège les molécules génétiques des très hautes températures.

**SVHS: Quelle évolution après Luca ?**

**P. F. :** Vers - 3 Ga, cet organisme aurait divergé en deux lignées de cellules. L'une aurait donné l'ancêtre de toutes les bactéries actuelles. La seconde aurait conduit aux archées et aux eucaryotes. Ici, deux écoles de pensée s'affrontent à ce jour. La première affirme que les archées seraient apparues en premier, et qu'ensuite un groupe particulier de ces micro-organismes aurait donné les eucaryotes. L'autre postule qu'archées et eucaryotes découlent de deux branches évolutives distinctes. Quoi qu'il en soit, pendant très longtemps, la vie terrestre est restée majoritairement unicellulaire. Puis certaines lignées d'eucaryotes ont donné naissance à des organismes de plus en plus complexes et organisés, formés de plusieurs cellules et tissus, comme les plantes et les animaux actuels.

**SVHS: Quand a eu lieu cette transition du mono- au pluricellulaire organisé ?**

**A. E. A. :** Il y a au moins 2,1 Ga. C'est ce que



▲ Une fois récupérés, les macrofossiles sont classés et prêts à être étudiés. La microtomographie permet de modéliser en 3D la structure interne et externe d'un fossile de façon non invasive. Ci-dessus, l'écran montre une reconstitution d'un spécimen fossile du site gabonais de Franceville.

suggèrent des fossiles en excellent état de conservation, mis au jour par mon équipe dans des strates d'argile noire déposées il y a plus de 2 milliards d'années à Franceville, au Gabon, et que nous avons interprétés comme des organismes multicellulaires complexes. Décrite la première fois dans un article de 2010 [qui a fait la couverture de la revue scientifique *Nature*, NDLR], cette découverte indique que la vie multicellulaire

organisée aurait émergé... 1,5 Ga plus tôt que ce qui était admis jusque-là (0,6 Ga)! Ces organismes représentent à ce jour les traces d'eucaryotes pluricellulaires les plus anciens jamais décrits.

**SVHS: Quelle apparence avaient ces premières formes de vie complexes?**

**A. E. A. :** Après analyse de la structure 3D de plus de 250 spécimens grâce à la technique de

microtomographie aux rayons X, nous avons conclu qu'il devait s'agir de corps avec une texture "médusaire" (gélatineuse), dotés d'une impressionnante diversité de formes (lobés, allongés, arrondis, etc.) et de tailles (de 1 à 23 cm). L'étude des sédiments où ils étaient imbriqués a montré qu'ils vivaient sûrement dans un environnement marin d'eau peu profonde (20 à 30 m) et photique – où la lumière parvenait encore.

“ Nos travaux suggèrent que la capacité à se mouvoir est apparue très tôt lors de l'évolution du vivant ”

**SVHS: Comment expliquer l'émergence du vivant complexe?**

**A. E. A. :** Nos travaux indiquent que cela serait le fait de l'augmentation temporaire, mais significative, de la concentration d'oxygène (O<sub>2</sub>) dans l'atmosphère, entre -2,45 et -2 Ga : ce boom du taux d'O<sub>2</sub> a pu enclencher un métabolisme – inconnu à ce jour – qui a permis le passage d'un stade bactérien simple vers un monde plus complexe, eucaryotique – l'oxygène étant le carburant du vivant complexe et organisé. À l'inverse, l'extinction des formes de vie complexes découvertes au Gabon, vers -1,9 Ga, pourrait s'expliquer par la chute drastique du taux d'oxygène océanique.

**SVHS: Quand les êtres vivants ont-ils commencé à se mouvoir?**

**A. E. A. :** D'après d'autres travaux publiés par mon équipe en 2019 dans la revue *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), cette innovation biologique majeure, complexe, remonte à au moins 2,1 Ga également. En effet, en analysant des sédiments du site de Franceville, au Gabon, datés de cette époque, nous avons observé de petits tunnels fossilisés mesurant jusqu'à 170 mm de long et 6 mm de large, affleurant en surface ou à l'intérieur des roches. Ces galeries correspondent aux plus vieilles traces de mobilité jamais découvertes à ce jour. Nous soupçonnons qu'elles ont été produites par des organismes similaires aux amibes coloniales, des micro-organismes unicellulaires capables de s'agréger pour former une sorte de limace et aptes à se déplacer comme un organisme unique. Il est possible que ces entités se soient déplacées pour trouver des éléments nutritifs... Quoi qu'il en soit, nos travaux suggèrent que la capacité à se mouvoir est également apparue très tôt lors de l'évolution du vivant. ■