

Ar(t)chimie de la nature : Le vivant

Ar(t)chemistry of nature: The Living

Marie-Christine Maurel¹

¹ Sorbonne-Université et MNHN

RÉSUMÉ. La vie n'est pas une qualité absolue qui serait apparue soudainement. Elle a émergé progressivement, liée à l'environnement et aux conditions de la Terre primitive. La Terre produit de l'argile, ingrédient minéral des débuts de la vie, ce qui n'est pas une idée neuve, puisqu'on la trouve dans de très anciens récits, sources de mythes, de légendes et de créations artistiques, figuratives, poétiques et... même technologiques.

Le vivant qui se forme à partir d'eau et de glaise, prend des formes et des couleurs présentes en nous, au plus profond. Devenue scientifique, la question des origines nous fonde dans une quête à jamais inachevée, indissociable de la nature et de l'art.

ABSTRACT. Life is not an absolute quality that appeared suddenly. It emerged progressively, linked to the environment and the conditions of the primitive Earth. The Earth produces clay, a substance that may have been the ingredient of the beginning of life. That is not a new idea, since it is found in very ancient stories, sources of myths, legends and artistic creations, figurative, poetic and... even technological.

Life, which is formed from water and clay, takes on forms and colors that are present in us, in the depths. The question of origins has become a scientific one and is the basis of an unfinished quest, inseparable from nature and art.

MOTS-CLÉS. Origines de la vie, Terre, Eau, Argile, Céramiques, Alchimie, Ar(t)chimie, Chimie prébiotique, Mythes, Légendes, Nature, Arts.

KEYWORDS. Origins of Life, Earth, Water, Clay, Ceramics, Alchemy, Ar(t)chemy, Prebiotic Chemistry, Myths, Legends, Nature, Arts.

Parcourir l'Arbre

Se lier aux jardins

Se mêler aux forêts

Plonger au fond des terres

Pour renaître de l'argile¹.

1. Mythes et légendes

Le *Mahabharata* conte des faits qui se seraient déroulés à la fin du premier ou deuxième millénaire avant l'ère chrétienne. Ce poème épique hindou, le plus grand poème du monde, relate dans « Les Commencements » la naissance de l'enfant « né d'une terre spéciale, du safran et de rosée »².

Le poète Hésiode (VIII^{ème}-VII^{ème} siècles avant notre ère) relate dans la *Théogonie* le rôle de la Terre-berceau du vivant, « féconde » car « au début, il y avait la Terre, qui a peu à peu enfanté le ciel, puis la vie ».

On trouve ce type de récit à plusieurs époques, chez la plupart des peuples qui décrivent comment les êtres vivants furent conçus à partir de terre, de pierre, de boue. « ... En Chine, les humains sont

¹ Andrée Chedid, « Destination : arbre », dans *Tant de corps et tant d'âme*, 1991.

² *Le Mahabharata* (datant de plusieurs siècles av. J.-C.), premier volume : *La partie de dés*. Adaptation théâtrale et texte de Jean-Claude Carrière. Centre international de créations théâtrales. 1985, Paris.

créés par les démiurges Fuxi et Nuwa, laquelle, pour aller plus vite, trempe le bout d'une liane dans la boue et la secoue : les morceaux qui tombent forment alors les premiers hommes »³.

Modelées dans l'argile, les créatures terrestres étaient issues de la boue chauffée par les rayons du soleil. Selon Anaximandre de Milet (-610 à -547 av. J.-C.) « Quand la Terre se réchauffa pour la première fois dans les abymes, là où le chaud et le froid se mélangent, de nombreuses créatures vivantes apparurent [...] tirant leur substance de la vase⁴ ».

Pour Aristote (-384 à -322 av. J.-C.) la vie naissait spontanément des boues laissées par les inondations du Nil engendrant des grenouilles, des crapauds, des serpents, des souris et même des crocodiles.

William Shakespeare évoquera plus tard dans *Antoine et Cléopâtre*, (acte II, scène 7)⁵, ces serpents et ces crocodiles formés à partir de la boue chaude du Nil :

« Vous avez d'étranges serpents là-bas [...]. Votre serpent d'Égypte est engendré de votre boue par l'opération de votre soleil ; votre crocodile aussi. » ...

Ailleurs encore, Apollodore le Mythographe, auteur de la *Bibliothèque*⁶ écrite aux « alentours de l'an 200 de notre ère »⁷, enseigne que Prométhée aurait créé les hommes à partir d'eau et de terre. Athéna, née en jaillissant de la tête de Zeus, introduisit le souffle de la vie dans ces corps d'argile.

C'est encore le cas dans les religions abrahamiques et en particulier dans la Bible où il est écrit en Genèse 2, 6-7 : « Alors une humidité monta de la terre et abreuva toute la surface de la terre. Alors l'Éternel-Dieu put façonner l'homme poussière de la terre » et en Genèse 2, 7 : « ... de la poussière de la terre, il souffla dans ses narines un souffle de vie et l'homme devint un être vivant » et dans le Psaume 139, 16 « *Galmi* (i.e. mon *golem*) tes yeux ont vu ... Je n'étais encore qu'une masse informe, mais tes yeux me voyaient, et sur ton livre étaient inscrits tous les jours qui m'étaient destinés avant qu'un seul d'entre eux n'existe ».

Dans la tradition juive, le Golem créé à Prague par le rabbin Loew (Yehudah-Leib) au XVI^{ème} siècle, naîtra de ces textes sacrés, semblable à une « masse informe, embryon », personnage géant fait d'argile, dont les lettres gravées sur son front fonctionnent comme un interrupteur. EMET (vérité) et le Golem vit. Si le E s'efface, il est mort : MET.⁸

Le géant d'argile aura une nombreuse descendance en arts, littérature, philosophie, biologie et... robotique.

Pensons à Victor Frankenstein, imaginé en 1818 par Mary Shelley, et qui créa lui-même un monstre sans nom.

Et à Auguste de Villiers de L'Isle-Adam⁹, auteur de l'une des œuvres fondatrices de la science-fiction, *L'Ève future*, copie d'un être-projection du regard masculin, œuvre de « chair

³ D'après Jean-Pierre Vernant, *L'Univers, les dieux, les hommes*, Paris, Seuil, 1999, et Jean-Loi Le Quellec, Bernard Sergent, *Dictionnaire critique de mythologie*, Paris, CNRS Éditions, 2017.

⁴ *Les Écoles présocratiques*, édition établie par Jean-Paul Dumont, Paris, Gallimard, Folio essais, 1991.

⁵ Pièce de théâtre de William Shakespeare. La première représentation eut lieu en 1606 ou 1608 et la première publication en 1623.

⁶ Grand abrégé de la mythologie grecque.

⁷ Jean-Claude Carrière, Bertrand Massonie, *La Bibliothèque d'Apollodore*, Collection de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Antiquité, Besançon, 1991.

⁸ « *Le Golem. Avatars d'une légende d'argile* » sous la direction d'Ada Ackerman, édition du mahj.www.mahj.org Paris, 2017.

⁹ Auguste de Villiers de L'Isle-Adam (1838-1889) fréquentait les cercles occultistes de l'époque. Le roman *L'Ève future* paru en 1886, est un archétype de misogynie. Poche, Folio-classique, Paris, 1993.

artificielle » mue par un « agent vital », l'électricité, inventée par le héros du roman, un Edison¹⁰ fictif. La créature « électro-humaine » l'Andréide inspirera l'Androïde de Fritz Lang dans le film *Metropolis* (1927)¹¹.

Ou encore à l'écrivain tchèque Karel Čapek auteur en 1921 d'une pièce de théâtre *R.U.R.* pour *Robots Universels de Rossum*, dans laquelle on voit l'humanité menacée par des humains « mécaniques » qui déploient une force physique inquiétante, comme cela fut parfois le cas pour Le Golem.

« Tous les artistes sont des faiseurs de Golem » nous dit Tobi Kahn¹². Et l'on est émerveillé par la très longue liste¹³ de légendes narrant le pouvoir créateur de l'argile, le passage de l'inanimé à l'animé à travers contes, fictions et autres œuvres d'arts.



Figure 1. *Le Golem, monstre sympathique œuvrant pour la paix.*

Sculpture de Niki de Saint Phalle -1972-, parc Rabinovich, Jérusalem.

Communément appelé Mifletzet (Le Monstre), cette attraction du parc est une immense sculpture de 2 étages (9 x 14 x 16 m) qui représente une grosse tête dont 3 langues servent de toboggan.

Ces 3 langues évoquent selon Niki de Saint Phalle les 3 monothéismes.

(Photographie de Mihal Shema, 20 février 2021).

¹⁰ En 1878, Thomas Edison inventeur américain, fonde l'Edison Electric Light Co. à New York. L'année suivante, il présente la première lampe électrique à incandescence avec filaments de carbone.

¹¹ Céline Dubois : le7egenre.fr/de-la-femme-a-landroide-genre-et-sexualite-dans-metropolis-de-fritz-lang/

¹² Entretien du 21 avril 2015 cité par Emily D. Bilski dans « *Le Golem. Avatars d'une légende d'argile* ».

¹³ Très brièvement résumé ici.

2. De l'(ar)chimie¹⁴ à la fabrication d'une œuvre d'art

L'archimie est l'ancienne science du personnage biblique Tubal-Caïn, suivi par les auteurs alchimiques médiévaux arabes et latins. On lui attribue aussi l'invention de l'alchimie.

L'un des plus grands noms de la céramique, Bernard Palissy (1510-1590) a contesté l'alchimie aurifique. Ayant échoué à découvrir le secret de la porcelaine chinoise, il innove en adaptant à la céramique un naturalisme exubérant qui eut une immense postérité jusque dans les arts décoratifs du XX^{ème} siècle. Ses pièces les plus connues sont des vases, statuettes, bassins, plats, ustensiles divers qu'il nomme ses *rustiques figulines* incluant des fruits, des feuilles ou des animaux en relief.

Kaolin provient du chinois *gaoling* (高岭), ou « Collines Hautes », emplacement de carrières situées à Jingdezhen en Chine, là où furent inventées et fabriquées au VII^{ème} siècle les premières porcelaines. La technique de la porcelaine dure fit son apparition plus tard en Allemagne au début du XVIII^{ème} siècle, grâce à la découverte de l'ingrédient manquant : le kaolin. C'est l'alchimiste Johann Friedrich Böttger (1682 -1719) qui, alors qu'il se livrait aux sciences occultes, découvrit en 1709 le kaolin d'Aue (en Saxe), argile blanche (mélange de silicate d'alumine hydraté) avec laquelle on fabrique la porcelaine de Saxe. Aujourd'hui, l'ajout de certains matériaux au kaolin permet de le rendre plus plastique et d'abaisser son point de fusion afin d'obtenir des pièces vitrifiées. Les poudres de kaolin sont ainsi préparées industriellement par broyage, extraction des résidus de fer et cuisson à 1 400 °C pour éliminer les impuretés d'origine organique.

Une céramique est un objet en argile cuite, une *lutite* (roche sédimentaire détritique dont les grains ont une dimension de 20 à 60 micromètres) souvent imprégnée d'eau. Lutite provient du latin *lūtum* qui correspond aux mots gaulois *bawa* ou *baua*, les deux décrivant la boue, la fange, la matière salissante ou la texture argileuse fine. Ces roches à grains très fins constituent la fraction fine et colmatante des vases et se caractérisent par une forte capacité de rétention de l'eau. Le terme fut abandonné au profit d'argile et argilites pour les roches consolidées¹⁵. La céramique faite de composantes d'argile émaillées est plus poreuse que la porcelaine fabriquée à partir de différents minéraux fusionnés pour former un produit solide qui est prêt à recevoir l'émail coloré¹⁶.

L'alchimie ne se limitera pas à une connaissance de la nature matérielle du monde. Ainsi Charles Baudelaire évoque l'essence des choses dans les Appendices des *Fleurs du Mal* à la lueur de l'or poétique :

« Comme un parfait chimiste et comme une âme sainte.
Car j'ai de chaque chose extrait la quintessence,
Tu m'as donné ta boue et j'en ai fait de l'or »¹⁷.

¹⁴ L'alchimie est une « chimie spiritualiste » qui « tente de pénétrer le mystérieux dynamisme qui préside à la transformation des corps naturels ». L'archimie poursuit à peu près le même but, mais elle utilise « uniquement des matériaux et des moyens chimiques », elle se cantonne au « règne minéral ». Voir Patrick Rivière, *Alchimie & archimie - L'art des Particuliers, des teintures auriques ou Manuel de procédés pratiques pour "produire l'Or et l'Argent archimiques" suivant les méthodes authentiques des anciens Philosophes*. Éditions du Cosmogone, 2002.

¹⁵ Jean Claude Fischer, *La géologie*, MA Éditions, 1986.

¹⁶ L'exposition du Musée de la céramique de Limoges, *Formes Vivantes*, dirigée par Jean-Charles Hameau et Céline Paul en 2019, a montré des pièces d'une exceptionnelle beauté. Voir le Catalogue de l'exposition : Silvana Editoriale, 2019. Et Ruth Scheps, *Les fabriques du vivant*. <https://www.openscience.fr>, Arts et Sciences, Vol 4, N°1, 2020. DOI : 10.21494/ISTE.OP.2020.0469.

¹⁷ Charles Baudelaire, *Les Fleurs du mal* — Appendice - ÉBAUCHE D'UN ÉPILOGUE POUR LA 2e ÉDITION. Le poète traitera explicitement le sujet dans le poème « Alchimie de la douleur ».

Arthur Rimbaud, découvreur de formes, célèbre la poésie-exultation de mélanges, notamment dans « *l'Alchimie du verbe* »¹⁸, décrite par André Breton comme une « *Alchimie mentale* » qu'il convient de prendre au pied de la lettre¹⁹. Les surréalistes furent très influencés par l'alchimie qui se situe « en dehors de toute préoccupation esthétique ou morale ».

Certains se servirent même du symbolisme alchimique dans leur écriture poétique. Ainsi, Apollinaire fit de multiples entorses aux notions de vraisemblance, réalisme ou vérité en art. Sa poésie est gorgée de mythes et de légendes et chez lui comme chez de nombreux poètes, l'imagination dépasse le rationalisme.

Mais Gaston Bachelard (1884-1962) soulignera que sous l'attrait des arts narratifs une pré-science de la vie s'est dessinée, à la fois plausible et vague jusqu'à faire obstacle à la connaissance objective et aux progrès scientifiques²⁰... Rêverie préscientifique²¹ soumise aux affects et désirs inconscients jusqu'à la volonté de créer la vie tout comme les femmes sont capables de mener à bien la gestation et la mise au monde d'un être vivant, ce qui conduira le philosophe à écrire : « ...l'alchimie est uniquement une science d'hommes, de célibataires, d'hommes sans femme, d'initiés retranchés de la communion humaine » ...

3. De l'alchimie à la vie, une chimie particulière ?

Dans la littérature, la boue est la *materia prima* informe qui sert à forger des formes nouvelles. Dans la vallée du Nil, la terre - Kem - est noire et les crocodiles sont issus par *génération spontanée* de la boue chaude du Nil... Le mot « chimie » vient de *Kemi* de l'ancien égyptien *Khemet*, la terre. Il proviendrait aussi de l'arabe *al kemi*, كيمياء (littéralement la *kemia*, la « chimie »), venant du grec *χημεία*, *khemeia*, qui signifie « magie noire », dérivé de l'égyptien ancien *kem* qui désigne la couleur noire.

Et en persan *kimiya*, *kimyaw* ou *kamyâb* signifie rare. Ainsi Rhazès (Razi), *alchimiste* perse du IX^{ème} siècle, cherchait à transformer les métaux en or.

Pratiquée en Égypte, puis dans le monde arabo-musulman à partir du I^{er} siècle, l'alchimie est à ses débuts une discipline technique ayant pour but la transmutation des métaux comme le fer et le plomb, en métaux nobles, tels que l'or et l'argent. Les termes *alchimie* et *chimie* (en latin *alchymia* et *chymia*) sont restés strictement synonymes jusqu'à la fin du XVII^{ème} siècle. Pour transformer la matière les alchimistes ont créé la « Pierre Philosophale » censée convertir le plomb en or, tout à la fois élixir de longue vie et détentrice du changement chimique de la matière que suppose le passage de l'inerte au vivant. La « Pierre Philosophale » est le plus souvent figurée sous forme d'un fœtus/enfant, *le filius macrocosmi* et le corps humain est souvent assimilé à l'athanor, le fourneau de l'alchimiste du XII^{ème} siècle. L'athanor est aussi appelé *four philosophique*, car il doit permettre de réaliser la pierre philosophale (*lapis philosophorum*).

¹⁸ Voir le recueil *Une saison en Enfer*, Bruxelles, 1873.

¹⁹ André Breton, *Manifestes du Surréalisme* (1924), Paris, Gallimard.

²⁰ Gaston Bachelard (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.

²¹ Gaston Bachelard (1938), *La psychanalyse du feu*, Paris, Poche Essais Folio, 1985.

Vincent Bontemps nous livre ainsi l'analyse du « Feu Bachelardien » (<http://www.fabriquedesens.net/Le-feu-bachelardien-par-Vincent>) ... « toute l'alchimie était traversée par une immense rêverie sexuelle, une rêverie de richesse, de puissance, et de rajeunissement. L'alchimie est une technique de combustion symbolique ; c'est uniquement une science d'hommes, de célibataires, d'initiés retranchés de la communion humaine au profit d'une société masculine. Cette doctrine du feu est polarisée par des désirs inassouvis ».

Les inspireurs d'Harry Potter²² seront cependant déboutés par Antoine Lavoisier (1743-1794) qui montra, à l'aide d'expériences solidement étayées, qu'il y a bien un changement d'état de la matière au cours d'une réaction chimique, mais en aucun cas il ne s'agit d'une « transmutation » des éléments²³ car la masse de la matière est conservée du début à la fin du processus de transformation chimique. On connaît la célèbre maxime : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »²⁴ attribuée à Lavoisier.

Fidèle à la voie ouverte par Lavoisier, Marcellin Berthelot (1827-1907), grand chimiste des corps gras et des glucides, proclamera avec un bel optimisme que grâce à la proto-chimie « Le monde est désormais sans mystère ; l'univers entier est revendiqué par la science et personne n'ose s'opposer à cette revendication ». Il est intéressant de rappeler que Marcellin Berthelot parlait en connaissance de cause. Le grand chimiste a en effet collecté des papyrus et des manuscrits des alchimistes-orfèvres d'Alexandrie, documents qu'il a traduits à la fin du XIX^{ème} siècle. Il en rendit compte dans ses travaux consacrés aux origines de l'Alchimie²⁵. Son fils René Berthelot créa en 1938 le concept philosophique d' « Astrobiologie »²⁶ désignant les croyances (mathématiques, esthétiques...) des civilisations anciennes sur les rapports analogiques entre les phénomènes cosmiques et la vie terrestre.

4. Donner forme et vie à la matière inanimée : une logique prébiotique

Dès 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler synthétisa une substance organique, l'urée, à partir d'une substance minérale, le cyanate d'ammonium. La barrière matière vivante/matière minérale était désormais franchie.

En 1867, Moritz Traube, élève de Justus von Liebig, développa une cellule artificielle « minérale ». À partir de ferrocyanure de cuivre et de potassium, il observa la croissance et le bourgeonnement de formes qui ressemblent à des formes cellulaires.

Enfin, et même s'il ne s'est pas réellement consacré à l'étude des origines de la vie, Charles Darwin adressait en 1871 un message personnel à son ami le botaniste Joseph Hooker : « On dit souvent que toutes les conditions pour la première production d'un organisme vivant qui sont maintenant réunies, pourraient ne l'avoir jamais été. Mais si (et oh ! quel grand si) nous pouvions concevoir, dans quelque petite mare chaude, en présence de toutes sortes de sels d'ammoniac et d'acide phosphorique, de lumière, de chaleur, d'électricité, etc., qu'un composé de protéine fût chimiquement formé, prêt à subir des changements encore plus complexes, au jour d'aujourd'hui une telle matière serait instantanément dévorée ou absorbée, ce qui n'aurait pas été le cas avant l'apparition des créatures vivantes²⁷. »

Dans cet énoncé simple et concis sont posées les bases sur lesquelles reposent les travaux actuels sur l'étude du passage de l'inerte au vivant.

²² *Harry Potter and the Philosopher's Stone* est le premier roman de la série littéraire centrée sur le personnage de Harry Potter, créé par J.K Rowling, 1997, Bloomsbury. Dans le film *Big Bang theory*, l'acteur au QI>10 se réclame des 6 livres d'Harry Potter...

²³ En alchimie le terme décrit l'hypothétique possibilité de transformer une substance en une autre, voire un Élément en un autre (l'eau, la terre, le feu et l'air). En physique nucléaire, la transmutation est la transformation d'un élément chimique en un autre par une modification du noyau atomique de l'élément. Elle est aussi appelée transmutation nucléaire.

²⁴ « Antoine Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie* » sur www.lavoisier.cnrs.fr, p. 101.

²⁵ Marcellin Berthelot, *Les origines de l'alchimie*, Paris, Georges Stein Heil Éditeur, 1885.

²⁶ A ne pas confondre avec le terme scientifique actuel d' « Exobiologie ».

²⁷ *Vie et Correspondance de Ch. Darwin - C. Reinwald*, Paris, 1888.

C'est dans un tel type d'environnement minéral (une vase chaude) et aqueux, que des molécules se sont formées. Comment ? comment se sont-elles ensuite associées, diversifiées et complexifiées jusqu'à produire des organismes vivants ?

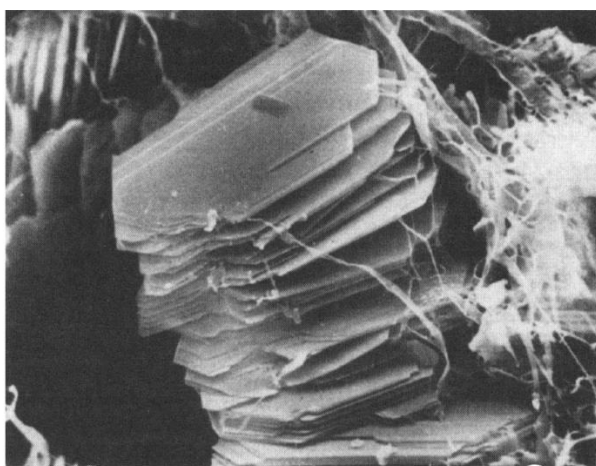
C'est, en quelques mots, tout le programme de la chimie prébiotique qui fut énoncé il y a plus de 160 ans, par le fondateur de la science de l'évolution !

Le cristallographe anglais Desmond Bernal (1901-1971) a suggéré dans les années 1950 que l'adsorption de molécules par l'argile permettait leur polymérisation (du grec *polus*, plusieurs, et *meros*, partie). Bernal a collaboré avec les meilleurs scientifiques de son temps : Rosalind Franklin, Aaron Klug, Max Perutz... et développé un scénario original des origines de la vie sur des surfaces minérales telles que l'argile.

Les argiles ont une structure lamellaire qui se caractérise par une alternance de feuillets épais de quelques angströms (1 angström = un dix-millième de micron), chargés positivement ou négativement, et empilés comme les pages d'un livre (voir figure 2 ci-dessous). Les phyllosilicates (kaolinite, montmorillonite...) sont construits par empilement de couches de tétraèdres qui partagent 3 sommets sur 4, le 4^{ème} sommet étant relié à une couche octaédrique occupée par des cations différents.

Des éléments simples ont pu se glisser entre les feuillets d'argiles à la faveur d'une hydratation du milieu. En période de sécheresse les feuillets se rétractent et les éléments chimiques piégés se rapprochent puis se lient les uns aux autres. C'est ainsi que des acides aminés ont pu s'assembler dans l'argile et former des petites protéines (peptides), ce qui fut reproduit en laboratoire. Une argile mondialement connue sous le nom de montmorillonite²⁸, est ainsi considérée comme un mini-réacteur prébiotique capable d'emmagasiner, de concentrer la matière organique et de contraindre une réaction chimique à se produire dans un plan plutôt que dans l'espace à trois dimensions que constitue le vaste océan.

Le chimiste israélien Aharon Katchalsky (1913-1972) a étudié en laboratoire l'action catalytique de la montmorillonite. L'argile concentre des acides aminés entre les feuillets de sa structure lamellaire, et favorise ainsi leur rapprochement et la condensation de ces éléments.



Empilement de kaolinite et ruban d'illite vus au microscope électronique à balayage
Macrophotographie de Mc Hardy.

Figure 2. Dr. William Mc Hardy, kaolinite stacks with illite tapes (Macaulay Institute for soil research- Aberdeen, Scotland. Courtesy of G. Cairns-Smith, 1994.

²⁸ Origine Montmorillon, commune du Centre-Ouest de la France, de la sous-préfecture du département de la Vienne, en région Nouvelle-Aquitaine.

La pérennité et le renouvellement de ces réactions sont assurés par répétition. Selon Graham Cairns-Smith (1931-2016) les premiers recommencements furent de nature géochimique, ce pouvait être le fait de cristaux d'argiles grâce auxquels le système actuel se serait développé et aurait « appris » à se répliquer. La substitution par « relève génétique » ou « *take-over* » fut une étape clé au cours de l'évolution (figure 3). On peut simuler en laboratoire ce type de générations, transfert d'informations par répllication simple d'un système moléculaire vers un autre, et ceci sans perte d'information « génétique »²⁹.

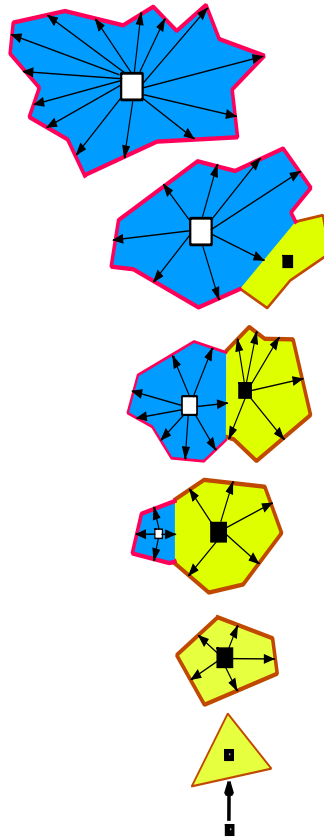


Figure 3. A l'origine les « gènes » (carrés noirs), éléments d'un matériel inconnu, sont nus. Petit à petit ils contrôlent leur environnement immédiat en produisant des formes (phénotypes) de plus en plus spécifiques et élaborés. Il apparaît alors un nouveau type de « gène » (carrés blancs) fonctionnant uniquement dans un phénotype assez sophistiqué et plus efficace que les gènes d'origine. Ils prennent peu à peu le contrôle du phénotype et les premiers gènes sont supprimés. Ainsi, au cours du processus évolutif, un premier matériel de nature géochimique est progressivement remplacé par un autre, distinct, de nature organique.

« Ce qui gîte
Près du jaillissement originel ne quitte
Un tel lieu qu'à grand peine »³⁰

Nous ne pouvons dans le cadre de cet article multiplier les exemples de travaux illustrant le rôle des argiles ayant favorisé les premiers pas du vivant³¹. Des lits de boue souples et protecteurs,

²⁹ M-C Maurel et M. Cassé, *Xénobiologie*, Odile Jacob, 2018.

³⁰ Hölderlin (*La migration, 1801, 1806*) : *La migration* a été publiée en novembre 1806 dans l'Almanach des Muses de Seckendorf. Traduction Gustave Roud, dans *Odes, élégies, hymnes*, Coll. Poésie/Gallimard, 1993.

³¹ J. D. Bernal, *The physical basis of life*, Proc. Phys. Society, vol. 62 (1949) ; A.G. Cairns-Smith, *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life* Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

alternativement secs et humides, réunissent un ensemble de propriétés aujourd'hui considérées comme indispensables pour la formation de briques élémentaires³².

La distinction vivant - non-vivant, longtemps reléguée à une simple démarcation organique - minéral, s'affirme peu à peu au profit d'une diversité originelle dynamique et profondément liée à son milieu.

Depuis 3,8 milliards d'années la vie n'a cessé de se transformer en se diversifiant. Pour s'adapter aux changements plus ou moins accusés de son environnement, le vivant joue de cette capacité intrinsèque à se diversifier. L'interaction dynamique minéral - vivant est le principe moteur du fonctionnement de tout écosystème³³ et il n'y a pas d'être vivant sans relation avec son milieu.

Des formes cellulaires primitives, fossilisées sous forme de *stromatolithes*, littéralement des couches de pierres, proviennent de l'activité de petites structures semblables à certaines bactéries filamenteuses modernes appelées cyanobactéries. Identifiés dans la région du Pilbara en Australie occidentale (Baie des requins), les premiers stromatolithes sont datés de 3,45 milliards d'années. On en trouve également, remarquablement conservés depuis 2,3 milliards d'années, dans le Transvaal en Afrique du Sud. Emmanuelle Gérard et ses collaborateurs ont récemment découvert l'existence de ce type de formations dans leur milieu d'origine, produisant les stromatolithes du lac Dziani Dzaha à Mayotte³⁴.

Notons enfin qu'une vie intra-terrestre a été détectée depuis peu dans des profondeurs abyssales au sein même de la roche. 70% des microbes de la Terre vivent dans ces profondeurs, dans des roches autrefois considérées stériles mais où l'on découvre aujourd'hui que des bactéries « intra-terrestres » et autres organismes unicellulaires abondent.



Figure 4. Les stromatolithes résultent de l'activité de bactéries qui piègent et cimentent avec du carbonate de calcium CO_3Ca des particules détritiques. Une fine lamination se forme et la croissance se produit par encroutements successifs.

En laboratoire des chimistes ont créé des « jardins chimiques », une « végétation métallique », produits de la mise en contact d'un sel métallique avec une solution aqueuse basique de silicate³⁵,

Maurel M.C., Lambert J.F. *Naissance de la vie sur des argiles*, catalogue de l'exposition *Formes Vivantes*, dirigé par Jean-Charles Hameau et Céline Paul, Silvana Editoriale, 2019, pp. 34–37.

³² M.-C. Maurel, *Les origines de la vie*, Paris, Édition Syros, 1994.

M.-C. Maurel et B. Brun, *Mésogée*, 1999.

M.-C. Maurel, *Les origines de la vie*, Paris, Édition Poche-Le Pommier, 2017.

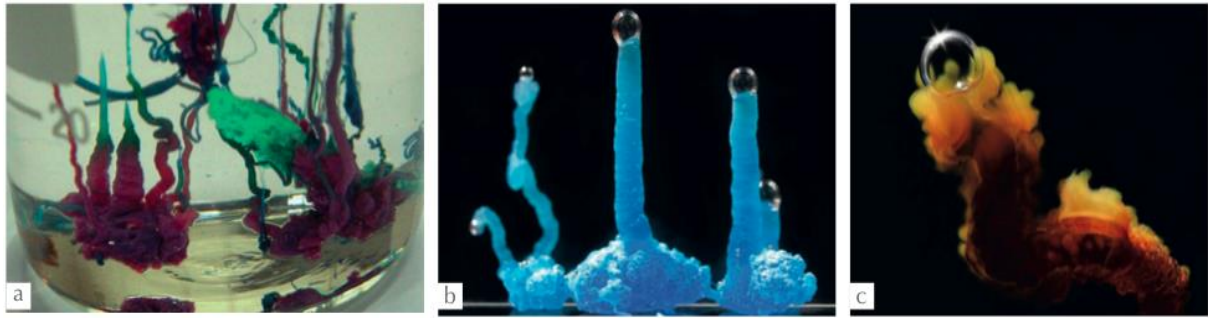
M.-C. Maurel et M. Cassé, *Xénobiologie*, Paris, Odile Jacob, 2018.

³³ Écosystème : ensemble d'êtres vivants qui vivent au sein d'un milieu ou d'un environnement spécifique et interagissent entre eux au sein de ce milieu et avec ce milieu. Les écosystèmes sont les unités écologiques de base.

³⁴ Gérard, E et col. *Key Role of Alphaproteobacteria and Cyanobacteria in the Formation of Stromatolites of Lake Dziani Dzaha (Mayotte, Western Indian Ocean)* 22 May 2018, *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00796>

³⁵ L'argile est une matière rocheuse naturelle à base de *silicates* ou d'aluminosilicates hydratés.

carbonate ou phosphate. Les motifs ainsi créés sont appelés fleurs. Ces « jardins chimiques » désignent des figures *auto-organisées* qui ressemblent à une diversité végétale³⁶.



2. Photos de jardins chimiques. (a) Jardins chimiques produits dans notre laboratoire dans un simple b cher rempli d'une solution de silicate dans laquelle on a déposé des cristaux de chlorure de cobalt. (b-c) Photos artistiques de jardins chimiques réalisés avec (b) des cristaux de cuivre et (c) des cristaux de fer [S. Querbes et les Atomes Crochus, www.stephanequerbes.com/portfolio/science/, www.atomes-crochus.org/article23.html]. L'ordre de grandeur du diamètre des tubes est de quelques millimètres.

5. Rapprocher l'art de la nature et vice versa

La pierre, célébrée par le peintre et critique d'art John Ruskin (1819-1900), renvoie à des profondeurs primordiales, élémentaires, archaïques. Elle est selon lui « la quintessence de la nature ».

Désormais, quantité de productions naturelles minérales inspirent des innovations esthétiques et techniques qui trouvent de multiples applications biophysiques, biomimétiques, robotiques, électroniques, automatiques, aéronautiques et architecturales dans les arts industriels, les arts appliqués, le design... Des pratiques artistiques contemporaines prennent en compte et explorent les interdépendances biologiques et géologiques dans l'environnement. Des artistes questionnent non seulement les formes et les couleurs³⁷, mais aussi les odeurs³⁸ de la nature. S'interrogent également sur le passé et l'avenir géo-biologiques de la Terre et au-delà. Leurs travaux nous interpellent et soulignent combien il est important de remémorer les alliances entre le vivant et son milieu géologique.

« *Il n'y a pas de nature morte* ». Ces propos de Carl Gustav Carus (1789-1869), introduit par Pascal Pierlot lors du colloque « Avoir une  me pour les pierres »³⁹, réveille en nous le souvenir de Carus peintre, médecin, savant naturaliste, ami de Caspar David Friedrich, d'Alexander von Humboldt et de Goethe, précurseur de la découverte de l'inconscient, dont il fut l'un des premiers à développer une théorie pour l'avenir...

Arts et Sciences étaient alors l' me et le cœur de la *Naturphilosophie*.

³⁶ Florence Haudin, Fabian Brau, Anne De Wit. *La chimie génératrice de forme : végétation métallique et jardins chimiques*. <https://www.openscience.fr>, Arts et Sciences, Vol 2, N 1, 2018. DOI : 10.21494/ISTE.OP.2018.0273

³⁷ Exposition *La Fabrique du vivant, Mutations/Créations 3*. 20 février-15 avril, 2019. Centre Pompidou, Paris

³⁸ Anaïs Tondeur : <https://anaistondeur.com/>

³⁹ Colloque « Avoir une  me pour les pierres ». Fondation Les Treilles (83) du 8 au 13 avril 2019.