

Pierre Gilbert

Le géomimétisme, ou l'art de mettre les symbioses naturelles au service de la lutte contre le changement climatique

Introduction : l'inefficacité énergétique de l'antibiose.

L'humanité vit dans une débauche énergétique permise par les hydrocarbures fossiles. 70 % des émissions de CO₂ cumulées depuis deux siècles sont ainsi liées à leur combustion. Le reste a pour origine ce qu'on appelle le changement d'affectation des sols (défrichage, déforestation, urbanisation, etc.). La combustion des fossiles n'est pas seulement notre principal problème climatique, c'est aussi une hérésie en termes d'efficacité énergétique. En effet, nous misons sur la chaleur dégagée par la combustion de charbon, de pétrole et de gaz (qui représentent 80 % du mix énergétique mondial) pour opérer des changements d'état de la matière, et ainsi actionner toutes nos machines. On brûle de l'essence pour créer du gaz, qui actionne les pistons d'un moteur ; on chauffe du calcaire à 1 500 °C pour en faire de la poudre de ciment, etc. Chaque fois, seule une fraction de l'énergie utilisée est réellement utile dans la transformation. Le taux de déperdition, sous forme d'énergie thermique, est souvent très élevé. Au fond, notre société est donc très peu efficace sur le plan de la thermodynamique. Nous gaspillons la grande majorité de l'énergie que nous utilisons, pourtant si précieuse dans la nature.

La nature, justement, ne mise pas sur de très hautes températures pour transformer de la matière ou créer du mouvement, mais sur d'autres procédés, visant la même finalité, le plus répandu étant ce qu'on appelle communément la chimie ou/et la physique moléculaire : des associations de molécules obtenues par des mécanismes physico-chimiques propres à l'infiniment petit (des phénomènes de cristallisation, de catalyse moléculaire, de liaisons électriques atomiques, etc.). Le tout se fait à température ambiante, avec très peu de déperdition énergétique. C'est de la chimie de pointe, optimisée sur le plan thermodynamique depuis

quelque 3,5 milliards d'années par la sélection naturelle. Qui dit « chimie de pointe » dit hyperspécialisation des organismes et des organes. Or un organisme ne peut pas tout produire, car il est limité par son génome et les ressources environnantes. Aussi, on observe que la nature passe presque systématiquement par des associations d'organismes spécialisés : les symbioses. Ces associations peuvent être internes à un autre organisme (les bactéries contenues dans un estomac « digèrent » telle ou telle substance) ou bien externes (les plantes s'associent aux champignons pour « échanger » du sucre contre des nutriments). On peut en avoir une définition stricte (interdépendance vitale) ou élargie (entraide, associations ponctuelles). Quelle que soit celle que l'on retient, ces associations entre les organismes vivants nous montrent comment utiliser l'énergie avec une efficacité maximale. Ce dont l'humanité a urgemment besoin pour atteindre la neutralité carbone, et s'adapter à la crise climatique.

Concernant nos émissions de gaz à effet de serre, la nature nous montre comment faire passer notre modèle industriel de la thermo-industrie à une industrie « douce » et « organique ». C'est une condition nécessaire pour une économie neutre en carbone, mais pas suffisante, dans le sens où produire mieux n'implique pas que l'on consomme mieux ou que l'on s'organise différemment pour être beaucoup plus économe en énergie et en matière. La nature nous montre également comment piéger bien davantage de CO₂ que toute « solution » artificielle de géo-ingénierie, et de manière durable. C'est ce qu'on appelle le géomimétisme, qui se base sur les principes du biomimétisme pour réguler le climat, donc sur un renforcement ou une reproduction des symbioses végétales et animales permettant aux puits de carbone naturel d'être efficaces dans le cycle du carbone. Dans cet article, nous allons explorer ces deux pistes essentielles à la préservation du climat, liées entre elles par une même logique : mettre les associations du vivant au service de l'humanité.

La sélection naturelle est une optimisation thermodynamique perpétuelle.

Les énergies fossiles sont extrêmement concentrées : un litre d'essence contient une dizaine de kilowatts-heures, soit l'énergie mécanique d'une dizaine d'ouvriers du bâtiment pendant une journée de travail. Il s'agit d'énergie solaire, transformée en matière organique par les plantes, qui est concentrée pendant des millions d'années par la pression et la température du manteau terrestre, et que nous brûlons subitement. Passer aux énergies renouvelables implique donc que l'humanité trouve le moyen d'utiliser un minimum d'énergie pour une efficacité maximum, puisqu'il semble presque impossible de remplacer l'ensemble des kWh fossiles par des kWh renouvelables. Or, dans la nature, la maximisation du rendement énergétique est la règle d'or de l'évolution dans la plupart des cas.

Si un organisme dépense trop d'énergie pour se nourrir, il souffrira d'un désavantage face aux individus les plus efficaces, qui auront donc plus de chances de survivre et de se reproduire, *a fortiori* pendant une crise. Ces périodes, pendant lesquelles les ressources manquent, sont en effet le « moment du tri », où se produit une grande accélération du mécanisme de la sélection naturelle décrit par Charles Darwin. Le biologiste britannique précise d'ailleurs que cette analyse est aussi valable à l'échelle du groupement d'individus : une société plus efficace sur le plan énergétique aura de meilleures chances de survie, même si la solidarité qui l'anime peut coûter un peu d'énergie, pour aider un individu moins productif, par exemple. La crise climatique nous pousse désormais à nous réinscrire dans cette logique, sous peine d'être balayés – en tant que civilisation – lors d'une crise de ressources majeure.

Mais la théorie darwinienne est incomplète, du moins liée à son époque. Depuis, les progrès scientifiques (observation microscopique, analyse génomique, etc.) ont permis de prendre en compte des éléments nouveaux pour expliquer l'évolution des espèces et l'« optimisation » de la dépense énergétique qu'elles mettent en œuvre.

Pour la biologiste Lynn Margulis, l'évolution est également orientée par des phénomènes de *coopération*, d'*interaction* et de *dépendance mutuelle* entre organismes vivants, en somme, de symbioses¹. La biologiste contribue d'ailleurs à démontrer l'importance de l'endosymbiose dans le développement des cellules eucaryotes (qui contiennent un noyau). Ces cellules renferment généralement des « mini-centrales énergétiques », les mitochondries. Chez les végétaux, ce sont les chloroplastes qui jouent le rôle de petites centrales solaires dans la cellule. Ce sont des « organites », les organes d'une cellule. Mitochondries comme chloroplastes ne sont pas le fruit d'une évolution intrinsèque de ces cellules, mais étaient autrefois des bactéries qui entretenaient une relation de symbiose avec des organismes constitués d'une seule cellule sans noyau (les archées), et qui ont fini par se faire incorporer par cette dernière (endocytose) – c'est la théorie de l'endosymbiose. Ces bactéries, qui se transforment en noyau et organites nous intéressent d'autant plus qu'elles ont permis la complexification du vivant. Les cellules ont ainsi pu se spécialiser, au cours de l'évolution, et créer des matériaux organiques nouveaux grâce à l'énergie fournie par les organites. Une énergie utilisée de manière quasi optimale et, de surcroît, renouvelable. Les mitochondries produisent de l'ATP, un carburant « chimique », grâce à l'oxygène, alors que les chloroplastes transforment le CO₂ et l'eau en glucoses grâce à l'énergie solaire (photons). Tout cela se fait à température ambiante, ce dont nous ferions bien de nous inspirer concrètement dans l'industrie.

L'industrie biomimétique contre l'industrie thermique.

Le verre des éponges marines, le fil d'araignée, les fibres du bambou... sont autant de matériaux dont les propriétés n'ont rien à envier à ce que peut produire l'industrie thermique. Or ces matériaux naturels ne sont que des assemblages de carbone, d'azote, de phosphore, d'hydrogène, d'oxygène, etc. Des éléments omniprésents autour de nous, contrairement aux métaux. Ces assemblages, dissociations et réassemblages se font à température ambiante, par cristallisation (en jouant sur la concentration d'éléments identiques au sein d'organes), par catalyse, c'est-à-dire en jouant sur l'ajout d'ions permettant d'associer ou de dissocier électriquement des éléments, par oxydation, par réduction... et d'autres phénomènes bien identifiés. Ce n'est pas la température qui fait changer la matière d'état, mais une chimie moléculaire opérée avec une grande précision, de manière très ciblée. Grâce à ces processus de transformation, la nature optimise la consommation d'énergie. C'est son efficacité thermodynamique qu'il s'agit désormais de reproduire systématiquement au sein d'unités de production nouvelles, capables de synthétiser à grande échelle, voire d'améliorer, ce qu'il se passe dans des organes naturels.

C'est la condition *sine qua non* pour continuer à produire des biens manufacturés de qualité sans consommer d'énergie fossile, donc en n'émettant plus, ou peu de gaz à effet de serre. Cela permet aussi d'épargner d'immenses quantités d'eau (utilisée par l'industrie thermique pour refroidir, nettoyer, rincer, etc.), tout en s'émancipant progressivement d'une dépendance aux métaux, dont les processus d'extraction sont d'autant plus gourmands en énergie et en eau que leur concentration se réduit dans les mines. Nous avons impérativement besoin de ces métaux pour de nombreux usages, par exemple du cuivre, qui conduit l'électricité. C'est pourquoi ils doivent laisser place aux matériaux organiques ou minéralo-organiques lorsqu'il est possible de les leur substituer, ce qui est très fréquent.

Mais l'industrie thermique ne se transformera pas en un claquement de doigts. Les investissements nécessaires à la réorganisation de tout l'appareil productif sont colossaux, tout comme l'ambition des politiques de recherche à la fois publiques et privées. Les intérêts imbriqués sont ceux d'un monde économique obsolète, basé sur les énergies fossiles, et il sera difficile de les contrer. On observe déjà une contre-offensive qui prend pour prétexte la régulation du changement climatique : la géoingénierie.

**Réguler le changement climatique,
une mission impossible pour l'industrie.**

L'opposition entre géoingénierie et géomimétisme repose sur la même logique que celle existant entre l'industrie thermique et l'industrie organique : les partisans de la géoingénierie de capture du carbone atmosphérique veulent transformer du CO₂ en matière inerte à grand renfort d'énergie thermique/électrique, là où les partisans du géomimétisme s'appuient exclusivement sur la capacité du vivant à transformation du CO₂ en matière organique.

Parmi les impasses où mène la géoingénierie, il y a le DAC (*direct air capture*). Cette technique consiste *grosso modo* à actionner une grande pompe qui pousse l'air ambiant sur un filtre. Une fois ce filtre chargé en CO₂, on le chauffe pour en détacher les molécules et les stocker dans des couches géologiques stables (d'anciennes poches d'hydrocarbures ou des aquifères salins). Il ne faut pas confondre cette technique avec le CCS (*carbon capture and storage*), qui filtre le CO₂ sortant des cheminées d'usines, où il est déjà très concentré. En sortie de cheminée donc, le rendement énergie dépensée par CO₂ capturé est intéressant. Il est difficile d'envisager le DAC comme une technologie capable de faire baisser la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il faudrait en effet tant d'énergie (et d'infrastructures) pour cela que certains proposent d'installer d'immenses dispositifs DAC combinés à de petites centrales nucléaires. Sans parler des difficultés d'acheminement et de stockage du CO₂.

On parle également du BECCS (*bioenergy with carbon capture and storage*, bioénergie avec capture et stockage du CO₂). Cette technique consiste à faire brûler de la biomasse dans de grandes chambres pour en tirer de l'énergie, et à capturer le CO₂ qui s'en dégage, à le concentrer, puis à le stocker. Il existe aujourd'hui une vingtaine de projets pilotes consistant à utiliser cette technologie dans le monde. Mais le GIEC formule la mise en garde suivante : « Certaines solutions terrestres au réchauffement climatique telles que le BECCS peuvent forcer des compromis avec la production alimentaire si elles ne sont pas appliquées de manière réfléchie ou si elles sont adoptées à une échelle inappropriée. » En effet, pour séquestrer une gigatonne de carbone par an sur les dix que l'on produit, il faudrait faire croître de la biomasse dédiée sur une surface équivalant à dix fois celle de la France². Il est donc irréaliste de concevoir le BECCS comme une solution à grande échelle, du moins au stade actuel de développement technologique.

Dans la nature, le CO₂ est stocké initialement sous forme de biomasse avec une efficacité thermodynamique optimisée. Toute l'énergie ne vise pas la production primaire de biomasse – elle est en grande partie consacrée à assurer la bonne santé des organismes – mais le phénomène de photosynthèse est extrêmement puissant. 15 % de l'ensemble du CO₂ atmosphérique passe par les plantes

chaque année, grâce à l'énergie solaire. Seule une petite partie de celui-ci est convertie en biomasse, et une petite partie de cette biomasse, en biomasse pérenne (humus, lignine, tourbe, etc.). Mais cette quantité varie surtout en fonction de l'action de l'homme, du fait qu'il détruit les puits de carbone ou que le changement climatique les empêche d'être performants. Le géomimétisme veut au contraire que l'homme protège et étende ces puits, en reproduisant toujours ce qui leur permet d'être durables : les interactions complexes entre les espèces qui les composent originellement.

Les symbioses permettent le stockage du carbone dans les sols.

Penchons-nous sur le processus qui permet de transformer le plus de CO₂ en forme stable du carbone : la fabrication de l'humus dans les forêts.

On estime qu'entre 20 et 40 % du carbone fixé par la plante par photosynthèse est exsudé sous forme liquide dans la rhizosphère³ (la partie du sol entourant la racine). Ces sucres attirent ensuite les bactéries, champignons et autres microbes, qui en veulent toujours plus. Parce qu'une plante en bonne santé pourra consacrer plus de ressources à la production de ces exsudats, les microbes n'ont pas d'autre choix que de lui fournir un maximum de ressources. La communauté microbienne est constituée à 90 % de champignons et de bactéries, dont le ratio exact varie selon les sols.

Les bactéries ont des propriétés chimiques uniques. Les rhizobactéries (qui viennent se concentrer autour des racines), par exemple, favorisent la croissance des plantes en produisant des substances spécifiques. Les différentes espèces fixent et solubilisent de l'azote et du phosphore, synthétisent des phytohormones qui améliorent la pousse, produisent des fongicides et des antibiotiques naturels pour protéger les plantes des maladies, etc. Les champignons dits *mycorhiziens* (liés aux racines) sont à l'origine de 85 à 90 % de l'apport en nutriments de la plante, qu'ils échangent contre des exsudats sucrés. Grâce à son long hyphes, le champignon prolonge les petites racines de milliers de filaments qui permettent de récolter eau et nutriments. Les mycorhizes ont la capacité de dissoudre la surface de cailloux grâce à des enzymes, de manière à libérer des minéraux assimilables par la plante : 80 % des plantes terrestres bénéficient de l'association avec cette espèce.

Les champignons sont les seuls organismes terrestres à pouvoir digérer et dégrader complètement la lignine, composante principale du bois. À l'automne, les arbres perdent beaucoup de matière organique. Les feuilles et les petites branches qui tombent sont attaquées par une microfaune dite *épigée* (qui se trouve en surface). Celle-ci est constituée de milliers d'espèces de petits insectes, d'acariens, de vers, etc., qui broient la lignine pour consommer une partie des sucres qu'elle contient. Ils produisent ensuite des déjections où les morceaux

de lignine sont assez fins pour être facilement exploités par les champignons, qui produisent ensuite de l'humus.

L'humus est un complexe organominéral composé d'environ 60 % de carbone, de 6 à 8 % d'azote, et lié chimiquement aux minéraux du sol comme le phosphore, le soufre, le fer et l'aluminium. Les champignons sécrètent par ailleurs une sorte de colle appelée glomaline, qui structure le sol, le retient et « éponge » l'eau. La glomaline contiendrait le tiers du carbone séquestré dans les sols de la planète, et de façon stable⁴. C'est certainement l'un des meilleurs puits de carbone au monde.

L'arbre est donc l'artisan de ce cycle, puisqu'il produit à la fois la matière première et l'énergie nécessaire aux champignons pour la transformer, mais ce n'est pas tout. Les ligneux (plantes qui produisent du bois) possèdent un système de racines spécifique : un réseau horizontal, proche de la surface, et des racines dites *pivots* qui plongent verticalement dans le sol. Ces racines s'enfoncent parfois très profondément, jusqu'à atteindre la roche-mère. À son contact, elles vont sécréter de l'acide pour la ronger et se nourrir de ses minéraux. Cependant, elles ne consomment pas toutes les composantes de la roche et absorbent en priorité des éléments comme le magnésium, le calcium, le soufre, le phosphore... Or les roches de la planète sont constituées majoritairement de silice, de fer et d'aluminium. Si les racines ponctionnent une petite quantité de fer, dont la plante a besoin pour synthétiser certaines enzymes, et un peu de silice pour la composition des membranes cellulaires, ces deux minéraux vont s'accumuler autour des racines, en plus de l'aluminium que les plantes n'utilisent pas. Quand leur concentration augmente, ils cristallisent pour former du silicate de fer et d'alumine, ce que l'on appelle communément des *argiles*, qui sont très importantes pour maintenir un pH optimal dans le sol, absorber des métabolites nocifs ou encore prévenir la dessiccation. En surface, les arbres produisent donc surtout de l'humus et, en profondeur, majoritairement de l'argile.

Un troisième type de faune va venir mélanger et homogénéiser les différentes couches de sols : les vers de terre, ou les termites dans les pays tropicaux. Les vers de terre constituent 50 % de la biomasse animale terrestre. Ils font des allers-retours entre les couches profondes et superficielles, puis mélangent l'argile et l'humus dans leur tube digestif. Dans leur intestin se trouve une glande spécifique qui sécrète une « bile » riche en calcium. L'humus et l'argile sont tous deux formés de molécules chargées négativement ; le calcium (Ca^{2+}), qui est doublement positif, lie donc électriquement ces molécules, créant le complexe argilo-humique. Celui-ci reste stable pour des siècles : c'est un facteur de séquestration de carbone capital à long terme.

Le cœur du cycle qui permet de séquestrer du carbone est donc le fruit d'une symbiose entre l'arbre, le champignon et la microfaune. D'où l'importance de préserver l'arbre partout, et de le réimplanter dans le milieu agricole.

L'agroforesterie fait ainsi partie des pratiques de géomimétisme. Mais si l'on veut saisir pleinement les interactions qui animent le cœur du cycle du carbone dans les sols, il faut comprendre que la bonne santé de ce cycle-cœur dépend également d'interactions plus globales, qui ont lieu à l'échelle d'un territoire. Le rôle des grands animaux est ainsi fondamental.

La biodiversité tout entière est garante de l'efficacité du puits de carbone.

Une série d'interactions entre organismes vivants – généralement les rapports proies/prédateurs – régissent *in fine* la capacité des arbres à absorber efficacement du CO₂ et à en stocker une bonne partie dans les sols. C'est ce qu'on appelle la « cascade trophique ». L'approche géomimétique consiste également à reproduire ces interactions là où cette « cascade » est dégradée, ce qui suppose une connaissance fine des écosystèmes originels. Le parc de Yellowstone aux États-Unis est à ce titre un cas d'école.

Les loups y avaient été massivement chassés durant le XVIII^e et le XIX^e siècle, ce qui a entraîné une prolifération des wapitis (cerfs canadiens). Malgré la chasse dont ils faisaient aussi l'objet, ces derniers étaient venus à bout d'une grande partie de la végétation en lisière du parc, et broutaient les jeunes arbres avant qu'ils ne repoussent. Il en résultait que les pluies provoquaient une érosion des sols qui venaient charger les rivières, au détriment des poissons. Les castors n'ayant plus d'arbres à se mettre sous la dent disparurent, et avec eux leurs barrages, essentiels à la régulation du débit des cours d'eau et à la survie de nombreuses espèces de poissons (donc d'oiseaux, etc.). Avec le retour du loup, après soixante-dix ans d'absence, le parc s'est transformé.

La population de cerfs a diminué du fait de la prédation naturelle. Mais, ce qui est plus important encore, le stress causé par la simple présence du loup les a fait changer de comportement. Les cerfs ont commencé à se déplacer fréquemment et éviter certains endroits du parc où ils pouvaient être facilement chassés (vallées, canyon, etc.), ce qui a permis à la végétation de se régénérer de façon spectaculaire.

Avec le retour des saules et des trembles, pour le plus grand bonheur des oiseaux, les castors ont de nouveau pu construire de grandes retenues d'eau. Des loutres, des canards, des rats musqués, des poissons d'espèces variées, mais aussi des batraciens et autres reptiles aquatiques ont refait leur apparition. Mais en plus de contribuer à la biodiversité, le retour des castors est une bénédiction pour lutter contre le changement climatique.

Les barrages qu'ils forment complexifient la forme des petits cours d'eau, dont les débordements entraînent la création de zones humides. Les plantes mortes y tombent dans une eau pauvre en oxygène. Les bactéries ne peuvent

donc pas transformer cette matière organique en CO₂. De la tourbe très riche en carbone se forme ainsi année après année, séquestrant une grande quantité de carbone. Ce mécanisme est très efficace, puisque les zones humides, qui n'occupent que 3 % de la surface des terres émergées, concentrent 30 % du carbone terrestre⁵.

Les résultats d'une étude conduite dans le parc de Rocky Mountain, publiée dans *Nature*⁶, montrent ainsi que sur le quart du linéaire de rivière occupé par les castors, on compte 75 % du carbone stocké dans le lit majeur et mineur (essentiellement dans les sédiments accumulés par les barrages). Selon les auteurs⁷, les modifications historiques apportées à la complexité des cours d'eau, notamment ceux liés au recul du castor, seraient même probablement à l'origine d'une diminution significative de la quantité de carbone stocké dans les sols de l'hémisphère Nord.

En termes d'adaptation au changement climatique, les zones humides créées par les castors limitent la fréquence, la gravité et la durée des incendies de forêt (également en dégageant de l'humidité) comme des crues, et soutiennent l'étiage des rivières en été grâce à l'eau accumulée dans les sols, permettant l'essor des populations de poissons qui aiment l'eau fraîche.

À travers cet exemple des liens entre la présence des loups, des castors, et la capacité des milieux à stocker du carbone, on observe aisément qu'il n'y a fondamentalement pas de distinction entre lutte pour la biodiversité et lutte contre le changement climatique. On aurait pu choisir de nombreux autres exemples, concernant le permafrost ou encore la pompe biologique océanique⁸. La biodiversité – et plus précisément les interactions entre les espèces qu'elle induit – permet de transformer, sans apport d'énergie anthropique, du CO₂ atmosphérique en forme stable et solide du carbone. C'est l'intuition fondamentale du géomimétisme. Pour lutter contre le changement climatique, mais aussi s'y adapter, il convient donc de déployer une véritable politique publique géomimétique – à grande échelle.

Conclusion : la symbiose doit être érigée en système industriel, et politique.

L'échelle de l'action est en effet déterminante. Une approche géomimétique territoriale est insuffisante, car on ne peut enrayer la diminution de la biodiversité sans s'attaquer à ses causes profondes. Il a été démontré que la biodiversité décline certes principalement parce que certaines espèces perdent leur habitat, mais également sous l'action des pesticides, ou encore du fait des décalages de saisonnalité favorisés par le changement climatique. Même dans les zones éloignées des champs, on observe une diminution drastique du nombre d'insectes, car les pesticides se répandent durablement au gré des vents et des

cours d'eau⁹. Le passage à l'agroécologie – une forme de géomimétisme¹⁰ – doit être une politique globale.

Le géomimétisme est donc interventionniste. Il se distingue ainsi d'une approche strictement conservatrice qui ne jurerait que par la sanctuarisation d'espaces naturels. Aussi vrai qu'il mise sur les symbioses du vivant pour absorber du CO₂, il appelle à mettre en symbiose le système économique humain et les cycles naturels. Plus précisément, il incite l'ensemble de l'industrie à s'appuyer au maximum sur une production primaire de matière biologique issue des surplus des cycles naturels en bonne santé. Il faut donc faire le plus grand usage possible des matériaux d'origine organique, dont on sait désormais exploiter presque toutes les propriétés chimico-physiques, plutôt que les matériaux minéraux, au premier rang desquels les métaux ou le ciment.

Les minerais et les métaux sont le fruit de millions d'années de travail physique et chimique ayant eu lieu dans la croûte terrestre. On comprend aisément qu'afin de les transformer dans le cadre d'usages industriels, il va falloir compenser ce long travail naturel par quelques minutes d'un intense travail thermique, fourni avant tout par les énergies fossiles, ces dernières n'étant rien d'autre que de l'énergie solaire concentrée, elle aussi, pendant des millions d'années. Les matériaux organiques sont, quant à eux, fabriqués dans la nature en très peu de temps, et à partir d'éléments largement disponibles dans le proche environnement. Il est aussi évident qu'il faudra donc beaucoup moins d'énergie pour les transformer et obtenir un résultat qui n'a rien à envier à la production de l'industrie thermique. Un fil d'araignée, par exemple, est cinq fois plus flexible et trois fois plus résistant à la traction qu'un fil d'acier de mêmes dimensions. Il ne s'agit pourtant que d'un assemblage de protéines qui se réalise sur le moment dans une glande spécifique. L'émail de nos dents n'a rien à envier au béton ou à la céramique en termes de solidité. Il se crée pourtant à température et pression ambiantes, par un simple phénomène de cristallisation et d'agglomération de calcium.

Mais décréter qu'il faut se baser sur les matériaux organiques dans l'industrie ne suffit pas. Développer ces procédés hautement techniques qui permettent de reproduire à grande échelle les mini-usines de nos organismes nécessite des investissements scientifiques et industriels colossaux. Comme toute rupture dans la nature de l'industrie (à l'instar du passage au moteur à vapeur ou encore de l'informatisation), les nouveaux procédés ne sont pas toujours immédiatement rentables. Les machines hydrauliques qui alimentaient les manufactures de tissu anglaises étaient plus performantes et économiques que les premières machines à charbon. Les robots industriels, lorsqu'ils firent leur apparition, n'étaient pas tous aussi efficaces que les employés qualifiés qu'ils devaient remplacer... S'il y a eu perfectionnement et systématisation, c'est parce que les acteurs de ces innovations se sont montrés persévérants. Désormais, l'impératif de rendement financier à très court terme n'encourage pas les ruptures technologiques, *a*

fortiori quand elles nécessitent une profonde réforme du système productif. De ce fait, l'impératif de la décarbonation rapide veut que la puissance publique pousse les entreprises à s'engager sur ce chemin. Le prix de la tonne de carbone doit être très élevé, de manière à handicaper l'industrie thermique, et un protectionnisme intelligent doit permettre l'essor d'un ensemble de chaînes de valorisation de la matière organique. De plus, la recherche publique, privée et citoyenne doit être orientée (et protégée) pour favoriser une accélération du déploiement des nouvelles techniques.

En somme, miser sur les interactions au sein du vivant pour réguler le changement climatique impose d'exploiter les interactions entre le vivant et l'industrie pour décarboner au maximum le système productif et, plus largement, l'ensemble de nos usages. Le géomimétisme, s'il désigne la part du biomimétisme qui concerne les émissions négatives, remplace le biomimétisme en général au centre des moyens permettant d'atteindre une véritable neutralité carbone. Il s'agit d'une approche systémique : puisque la règle d'or de la nature – « un minimum d'énergie dépensée pour un maximum d'efficacité » – est exactement celle que doit s'imposer l'économie, le biomimétisme ne saurait se résumer à un ensemble de techniques vaguement inspirées de formes ou matériaux présents dans la nature. Il faut sortir de cette perspective d'« ingénieur » pour faire de cette démarche une règle « politique » globale.

Pierre Gilbert
pierre.gilbert@etu-iepg.fr
Laboratoire d'idées Institut Rousseau

NOTES

1. Lynn Margulis, *Symbiotic Planet, a New Look at Evolution*, New York, Basic Books, 1998.
2. « Missing pathways to 1.5°C : The role of the land sector in ambitious climate action », rapport de « Climate, Land, Ambition, and Rights Alliance », octobre 2018, disponible en ligne sur le site de FERN : <https://www.fern.org/publications-insight/missing-pathways-to-1-5-c-the-role-of-the-land-sector-in-ambitious-climate-action-41/>
3. Travis S. Walker, Harsh Pal Bais, Erich Grotewold et Jorge M. Vivanco, « Root exudation and rhizosphere biology », *Plant Physiology*, vol. 132, n° 1, 2003, p. 44-51.
4. J. André Fortin, Christian Plenchette et Yves Piché, *Les Mycorhizes. L'essor de la nouvelle révolution verte*, Versailles, Éd. Quæ, 2016.
5. Jörn Scharlemann, Edmund Tanner, Roland Hiederer et Valerie Kapos, « Global soil carbon : Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool », *Carbon Management*, vol. 5, n° 1, 2014.
6. Ellen Wohl, Kathleen Dwire, Nicholas Sutfin, Lina Polvi et Roberto Bazan, « Mechanisms of carbon storage in mountainous headwater rivers », *Nature Communications*, n° 3, 2012.
7. Patricia Stoffyn-Egli P. et J. H. Martin Willison, « Including wildlife habitat in the definition of riparian areas : The beaver (*Castor canadensis*) as an umbrella species for riparian obligate animals », *Environmental Reviews*, vol. 19, 2011, p. 479-494.

8. Voir les chapitres v et vi de Pierre Gilbert, *Géomimétisme, réguler le changement climatique grâce à la nature*, Paris, Les Petits Matins, 2020.

9. Sebastian Seibold, Martin M. Gossner, Nadja K. Simons *et al.*, « Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers », *Nature*, n° 574, 2019, p. 671-674.

10. Voir le chapitre iii de Pierre Gilbert, *Géomimétisme...*, *op. cit.*

RÉSUMÉ

Le géomimétisme, ou l'art de mettre les symbioses naturelles au service de la lutte contre le changement climatique

Alors que nous envisageons les manières les plus efficaces d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, la nature nous offre un laboratoire riche de 3,5 milliards d'années de perfectionnement sur le plan de la consommation d'énergie. Le géomimétisme – le biomimétisme au service du climat – propose ainsi des pistes pour décarboner les procédés industriels (passer d'une industrie thermique à une industrie organique) et renforcer les puits naturels de carbone. Les symbioses entre les êtres vivants sont une clé pour le biomimétisme, que ce soit pour la synthèse de matériaux ou bien pour le cycle de transformation du CO₂ atmosphérique en forme stable et inerte de carbone. Dès lors, il s'agit d'étudier en profondeur ces symbioses et de les mettre à « notre service », dans le but de remplacer les hydrocarbures ou de prévenir de la tentation pour la géoingénierie. Ce qui passe par une véritable politique publique climatique.

MOTS-CLÉS : neutralité carbone, biomimétisme, géomimétisme, industrie organique, géoingénierie, symbioses, cycle du carbone

SUMMARY

Geomimicry, or the art of using natural symbioses to tackle climate change

As we consider the most effective paths to achieve carbon neutrality by 2050, nature provides us with a laboratory of 3.5 billion years of energy efficiency improvements. Geomimicry – biomimicry at the service of the climate – opens up leads into decarbonizing industrial processes (moving from a thermic to an organic industry) and to strengthen natural carbon sinks. Symbioses between living beings are key to biomimicry, whether for the synthesis of materials or for the cycle of transformation of atmospheric CO₂ into stable and inert forms of carbon. Therefore, it is critical to study these symbioses in depth and place them at “our service”, with the aim of replacing fossil fuels and resisting the temptation for geoengineering. This requires an actual public climate policy.

KEYWORDS : carbon neutrality, biomimicry, geomimicry, organic industry, geoengineering, symbiosis, carbon cycle

RESUMEN

La geomimesis, o el arte de utilizar las simbiosis naturales para combatir el cambio climático

Si buscamos las formas más eficaces de alcanzar el equilibrio de las emisiones de carbono para 2050, la naturaleza nos proporciona un laboratorio de 3.500 millones de años de mejoras en la eficiencia energética. El geomimetismo (biomimetismo al servicio de la protección del clima) ofrece vías para descarbonizar los

Le géomimétisme

procesos industriales (pasando de una industria térmica a una orgánica) y mejorar los sumideros naturales de carbono. Las simbiosis entre los seres vivos son elementos clave para el biomimetismo, ya sea para la síntesis de materiales o para el ciclo de transformación del CO₂ atmosférico en formas estables e inertes de carbono. Se trata por tanto de estudiar a fondo estas simbiosis y ponerlas “a nuestro servicio”, con el fin de sustituir los hidrocarburos o evitar la tentación de la geoingeniería. Para ello, es necesario adoptar políticas públicas reales sobre el clima.

PALABRAS CLAVES : neutralidad del carbono, biomimetismo, geomimetismo, industria orgánica, geoingeniería, simbiosis, ciclo del carbono