

Le biomimétisme

Par Gauthier Chapelle

Tel que l'a défini l'américaine Janine Benyus, le biomimétisme est « l'art de s'inspirer de la nature pour innover ». Le principe de s'inspirer des méthodes utilisées par nos « collègues » vivants n'est pas neuf. Le processus de l'imitation est à la base de tout apprentissage, et imiter les autres espèces est un phénomène que l'on retrouve dans la plupart des cultures en contact étroit avec le monde vivant. Même la civilisation technologique issue de la révolution industrielle y a fait régulièrement appel de manière dispersée, depuis le profil des ailes d'avion inspiré de celui des oiseaux, jusqu'aux omniprésentes bandes « Velcro » imitant les crochets des graines de la bardane, transportées au loin par les animaux à toison ou à plumes.

Mais l'avancée décisive effectuée par Janine Benyus et ses collègues a été de relier cette approche à la question de la non-durabilité du mode dominant de civilisation proposé par notre XXI^{ème} siècle. L'idée toute simple qui sous-tend le biomimétisme est que par définition, les organismes vivants qui nous entourent aujourd'hui sont des champions en durabilité. Ils ont trouvé ce qui marche, ce qui est approprié, et surtout ce qui résiste sur Terre. Après 3,8 milliards d'années de recherche et développement, les essais malheureux, soigneusement triés par le processus de l'évolution, ont disparu; ce sont les fossiles! Ceux qui sont encore là possèdent les secrets de leur survie, les adaptations à leur milieu et leurs stratégies de cohabitation les uns avec les autres.

Naturel ou artificiel

Au-delà de son objectif avoué de durabilité, le biomimétisme de Janine Benyus s'appuie sur un refus provocateur et éclairant de la différence entre substances naturelles et artificielles.

Dans ses propres mots :

« En tant que biologiste, je considère que nous sommes une espèce parmi d'autres et que tout ce que nous faisons et fabriquons est naturel. Lorsque nous fabriquons un marteau ou construisons un gratte-ciel, nous ne sommes pas différents du rouge-gorge qui fait son nid ; c'est une extension de notre corps soumise elle aussi à la sélection naturelle. La question à se poser n'est donc pas « Est-ce un produit ou un comportement naturel ou artificiel ? » mais plutôt « Est-il bien adapté à une vie prolongée sur Terre ? » Tout ce que nous concevons – forme, procédé ou mode d'organisation – doit en définitive s'accorder avec le règne biologique, et nous aider à prospérer tout en gardant notre environnement intact pour nos successeurs. » En fin de course, que nous jugions nos productions naturelles ou artificielles, c'est de toute façon l'évolution de la Vie sur Terre qui en sera l'arbitre. A l'aune de la durabilité, notre dépendance aux combustibles fossiles n'aura qu'un temps...

A partir de ce constat qui peut sembler évident, le biomimétisme devient alors une approche à tenter systématiquement lorsque l'on cherche des innovations nécessaires à la résolution d'un problème lié à la durabilité.

Innover dans les formes

Un premier niveau où les organismes vivants apportent des solutions potentielles est celui de la forme, tel qu'illustré par l'histoire du design du « Shinkansen », le TGV japonais. L'enjeu était d'optimiser la pénétration dans l'air lorsque le train traversait les nombreux tunnels de la ligne Osaka-Hakata. Les ingénieurs se sont tournés vers un oiseau plongeur, le martin-pêcheur, confronté au même défi : la transition rapide entre deux milieux de densité différente (dans son cas l'air et l'eau). En imitant la forme de son bec et de sa tête pour répondre à l'augmentation subite de résistance de l'air comprimé dans les tunnels, ils ont réduit la consommation électrique de 15%, augmenté la vitesse de 10% et offert une meilleure satisfaction de confort sonore aux voyageurs et riverains.

En même temps, cet exemple met parfaitement en lumière une caractéristique particulièrement excitante du biomimétisme: son interdisciplinarité inhérente. Car c'est bien dans la rencontre entre différentes branches scientifiques, entre différentes cultures même, que jaillissent les solutions biomimétiques.

Pour des ingénieurs et designers confrontés à un problème technique, l'approche biomimétique consiste à poser la question suivante aux biologistes, comme l'ingénieur du Shinkansen l'a fait avec son train : « Quels organismes sont confrontés au même problème, et comment ont-ils fait pour le résoudre ? ». Des ingénieurs s'adressant à des biologistes pour leur demander conseil, voilà bien une révolution des mentalités !

Pour les biologistes, confronter leurs travaux aux regards des ingénieurs offre brusquement une autre grille de lecture aux découvertes qu'ils font lorsqu'ils étudient de près les adaptations et stratégies de leurs organismes ou écosystèmes favoris. Et débouche sur : « Parmi les méthodes de survie et de cohabitation que je découvre, quelles sont celles qui pourraient vous intéresser, qui sont susceptibles d'être utiles et imitées par les hommes ? »

En ce qui concerne l'imitation des formes de la nature, un autre exemple nous est fourni par les hélices et les turbines « Pax », au design révolutionnaire inspiré par des algues marines. L'Australien responsable de cette invention a pu observer à loisir que, quelle que soit la force du courant sur les côtes rocheuses où elles vivaient, les algues géantes y résistaient. A sa grande surprise, ce n'était pas dans la force de leur pied que résidait leur secret, puisqu'une simple traction suffisait à les arracher. C'est au contraire en s'enroulant sur elles-mêmes en spirale que ces algues laissaient l'eau s'écouler sans résistance et pouvaient ainsi subir les tempêtes les plus violentes. Transférée aux hélices ou aux turbines, cette forme permet des gains considérables d'efficacité grâce à la minimisation des turbulences obtenue. Et les champs d'application sont vastes, depuis les hélices des bateaux – et donc tout le transport de marchandises autour du monde, en pleine explosion – jusqu'aux ventilateurs, en passant par les éoliennes ou les turbines de barrage.

Innover dans les procédés

Au-delà des formes, le biomimétisme offre aussi un terrain fertile pour la mise au point de nouveaux matériaux. C'est ainsi que plusieurs laboratoires dans le monde sont en train d'étudier les mécanismes précis de la photosynthèse, avec en point de mire des capteurs transformant la lumière du soleil en électricité réduits... à une simple couche de peinture, qui plus est biodégradable! D'autres chercheurs se penchent sur la chimie complexe des protéines constituant la soie d'araignée, sachant que chaque espèce en sécrète plusieurs types, et qu'il en existe des dizaines de milliers d'espèces. Différentes équipes sont aussi en train de produire les céramiques les plus performantes du monde en imitant le processus de fabrication des coquilles de mollusques. D'autres encore commencent à fabriquer des fibres optiques en imitant le mode de synthèse des aiguillons de silice fabriqués par des éponges vivant dans les abysses. A terme, la maîtrise des techniques d'auto-assemblage si courantes dans le monde vivant pourrait déboucher sur des bio-textiles, des bio-ciments, voire même des bio-verres à fabriquer directement sur leurs lieux d'utilisation, dégagés de tout circuit industriel.

Toutes ces nouvelles façons d'aborder la fabrication d'un matériau partagent un point commun essentiel; elles s'opposent résolument à ce que les anglophones appellent joliment le « Heat, Beat & Treat ». Ces méthodes, développées ces derniers siècles dans le contexte des énergies fossiles abondantes et bon marché, ont le plus souvent recours à de très hautes températures, de fortes pressions et des réactifs ou des solvants chimiques généralement toxiques. Alors que par définition, toute réaction chimique inspirée ou empruntée au monde vivant se passe à température ambiante, pression ambiante, utilise... l'eau comme solvant et ne laisse que des composés bio-dégradables derrière elle.

Chimie verte, chanvre et algues planctoniques

Cette approche biomimétique des matériaux est en train de conquérir ses titres de noblesse sous les traits de la « Chimie verte ». Le raisonnement à nouveau très simple tenu par ses plus ardents représentants est radical: « Revenons au catalogue primordial des éléments chimiques, et voyons ce que les organismes vivants en ont fait ». Autrement dit, réexaminons le tableau de Mendeleev (que nous avons tous utilisé dans nos cours de science) à travers un oeil... de bactérie. Cet exercice rapide livre un verdict clair: tout n'est pas permis dans la Nature.

Nous trouvons d'abord certains éléments utilisés sans modération, comme le carbone, l'oxygène, l'azote ou l'hydrogène. D'autres encore le sont en quantité plus faible, comme le soufre, le phosphore ou le calcium. Mais on en trouve aussi certains, qui tout en remplissant des fonctions indispensables très particulières, tels que le fer, le cuivre ou le manganèse, sont réduits à des quantités minimales – ce sont les oligo-éléments – bien que certains d'entre eux soient disponibles à volonté dans notre environnement. Enfin d'autres sont définitivement rayés de la liste sélectionnée par l'évolution, tels le mercure, le radium ou le plomb, vraisemblablement parce que la gestion de leur caractère toxique est vraiment trop « coûteuse » pour un être vivant.

Cette classification n'a bien sûr pas pu être utilisée au cours de l'histoire des technologies développées par l'humanité. Et maintenant que nous l'avons, rien ne nous oblige à nous y conformer strictement. Mais elle a l'avantage de nous proposer le fruit de plusieurs milliards d'années de travail et de sagesse de l'évolution du vivant, et en tant que telle, elle devient un guide précieux.

Le même exercice pratiqué sur les grandes familles de molécules donne des résultats similaires: certaines sont plébiscitées, certaines à utiliser avec modération, d'autres avec la plus grande prudence, d'autres enfin sont définitivement proscrites. Cette impitoyable grille de lecture a conduit les plus volontaires des chimistes verts à proposer un vaste programme de substitution. Avec pour objectif un remplacement progressif des innombrables molécules issues de la pétrochimie et ne respectant pas ces critères par des molécules remplissant les fonctions recherchées mais déjà passées au crible de la durabilité dans l'histoire de la Vie.

Concrètement, c'est donc bien du monde vivant, en lieu et place des combustibles fossiles, que sera issue la matière première des produits de la chimie verte. A côté du maïs et du colza déjà utilisés, de nombreuses plantes sont à l'étude comme le bambou ou... le chanvre. Mais bactéries et algues planctoniques offrent également d'incroyables perspectives. Et ce d'autant plus que l'anti-« Heat, Beat & Treat » de l'approche biomimétique pourrait diminuer les besoins de confinement caractéristiques de la chimie industrielle.

Calculer comme une cellule

Mais l'apport des matériaux biomimétiques sans doute le plus spectaculaire pourrait bien surgir dans un des domaines où nous nous sentions les plus avancés en ce début du XXI^{ème} siècle: l'informatique. Car contre toute attente, les organismes vivants n'ont pas grand-chose à envier aux facultés de calcul de nos ordinateurs les plus perfectionnés. Le fonctionnement de chaque cellule est lui-même le produit d'innombrables réactions entre des molécules qui s'influencent, changent de forme, s'ajustent et se combinent en permanence les unes avec les autres.

C'est cette complexité d'une biochimie, par définition basée sur le carbone, qui permet d'envisager qu'elle remplace à terme celle que nous utilisons pour nos composés informatiques, basée sur le silicium. Il serait de plus possible d'utiliser les changements de forme de certaines protéines lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Les photons se substitueraient alors aux électrons, ce qui ouvrirait des gains considérables en vitesse de calcul. Enfin les cellules contiennent aussi en leur sein les techniques les plus puissantes de stockage de l'information, puisque les travaux les plus récents ont annoncé qu'un ordinateur d'un mètre cube d'ADN liquide pourrait à lui seul contenir plus d'information que tous les ordinateurs existants réunis !

Innover dans les modes d'organisation

Le biomimétisme apporte encore un niveau supplémentaire, qui englobe celui des formes et des procédés. Il repose cette fois non pas sur l'observation et la connaissance précise des différentes espèces, mais bien sur la compréhension des relations qu'elles entretiennent entre elles au sein de leur écosystème. Et qui a permis aux scientifiques de distinguer plusieurs types d'écosystèmes au fonctionnement différent. C'est la rencontre avec une autre discipline, cette fois l'économie, qui permettra d'en tirer tous les fruits.

Lorsque l'écologue américain Cooper fut pour la première fois invité à une réunion sur l'écologie industrielle, il était le seul biologiste dans la salle. Pour ces spécialistes du business qui cherchaient l'inspiration dans le monde vivant, il avait de bonnes nouvelles. La Nature a en effet de nombreux « écosystèmes matures » à disposition, tels que les forêts primaires ou les récifs coralliens, qui pratiquent exactement ce qu'ils souhaitent. Ces écosystèmes dits de « Type III » s'auto-organisent en une communauté intégrée et diversifiée d'organismes, avec le but commun de se maintenir en un endroit donné, utiliser le mieux possibles les ressources disponibles, et surtout pouvoir le faire sur le long terme.

Mais Cooper apportait aussi de mauvaises nouvelles. Car vue à travers les lunettes d'un écologue, notre civilisation industrielle actuelle se comporte exactement à l'opposé, à savoir comme un écosystème pionnier, dit de « Type I ». Dans la nature, ces écosystèmes pionniers sont normalement minoritaires et éphémères. Ils apparaissent généralement après des événements ponctuels créant de nouvelles surfaces à envahir ou réenvahir, tel qu'après la naissance d'un îlot volcanique, un incendie de forêt ou un glissement de terrain. Mais surtout, ils se caractérisent par une faible diversité, une utilisation gourmande de l'eau et des ressources nutritives, favorisant une croissance rapide, préférant la quantité à la qualité, extrêmement prodigues en production de déchets et en utilisation d'énergie.

Tant l'invention de l'agriculture que la révolution industrielle ont fait leur ce « choix » de fonctionnement. Grisés par une disponibilité de ressources et d'énergie paraissant sans illimitée, nous avons cru avoir toujours un endroit où migrer et cette stratégie de colonisation de « type I » a fini par nous faire oublier la réalité. Mais aujourd'hui tous les endroits colonisables l'ont été et nous devons apprendre à boucler la boucle en nous tournant cette fois vers les écosystèmes matures. De leur observation est née une longue liste de leçons de durabilité qu'il nous faudra appliquer si nous voulons rester en équilibre avec les cycles de notre planète. Une liste qui s'appuie bien entendu déjà sur les trucs et astuces de forme et de procédés décrits ci-dessus.

1. Utiliser les déchets comme ressource :

Comme dans la nature où chaque déchet produit par un organisme servira de ressource pour un autre, cela implique de faire disparaître presque entièrement la notion même de déchets. En concevant dès le départ nos biens dans des matériaux qui peuvent soit être facilement biodégradés, soit circuler indéfiniment d'une utilisation à l'autre, comme pour le métal. Au-delà d'un simple trajet circulaire, la matière devrait idéalement se déplacer à travers un véritable réseau puissamment ramifié.

2. Se diversifier et tisser au maximum des liens de coopération :

Cette leçon découle de la première. En effet, pour parvenir à une civilisation en boucle, il est indispensable de ne pas seulement assurer la récolte des ressources, comparable à un réseau d'artères, mais aussi de développer les coopérations et synergies nécessaires pour que les déchets puissent être utilisés comme ressources pour les suivants, c'est le réseau de veines.

3. Récolter et utiliser l'énergie de façon optimale :

Pratiquement toute l'énergie qui circule dans le monde vivant provient de la fusion nucléaire... du soleil ! En attendant de maîtriser mieux l'énergie solaire, il nous faut être le plus économe possible. Diminuer notre consommation d'énergie dans les transports et les habitations. Mais aussi du côté de la fabrication des matériaux, qui pour être la moins gourmande possible en énergie, doit faire appel aux procédés chimiques utilisés dans le monde vivant qui ne demandent ni chauffage, ni haute pression.

4. Optimiser plutôt que maximiser :

Notre système actuel tend à favoriser une croissance indéfinie de sa production industrielle, avec une utilisation toujours plus importante de ressources naturelles, dont 85% sera éliminé en tant que déchets. Dans une civilisation inspirée par le biomimétisme, la production des biens et services sera calquée sur le modèle des écosystèmes matures, et recherchera donc d'abord la qualité plutôt que la quantité. Dès lors les produits seront conçus pour durer le plus longtemps possible, et pour pouvoir être réparables facilement.

5. Utiliser nos ressources de façon économe :

Faire plus avec moins. Les organismes vivants multiplient par exemple les structures atteignant une résistance élevée grâce à leur forme plutôt qu'en augmentant la quantité de matière utilisée ; c'est notamment le cas des cellules en cire des ruches des abeilles, ou celui des os creux des oiseaux.

6. Ne pas épuiser ses ressources :

Ce qui revient à ne pas utiliser de ressources non renouvelables plus vite qu'on ne développe de produits de substitution d'une part, et d'autre part à ne pas utiliser les renouvelables... plus vite qu'elles ne se renouvellent. Ce qui suppose un nouveau rapport au temps, demandant à la fois plus de patience et d'attention.

7. Ne pas souiller son nid :

Les êtres vivants mangent, respirent, se reproduisent et dorment sur leur « lieu de production ». Ils ne peuvent se permettre d'empoisonner leur habitat. Tout le contraire de l'« Homo industrialis ». Mais comme nous l'avons vu, la chimie verte et les énergies renouvelables offrent de solides alternatives.

8. Acheter local :

Parce que les organismes vivants ne peuvent pas se permettre de dépendre de ressources lointaines, ils sont devenus des experts locaux de leur propre jardin. Cette priorité donnée aux ressources locales permet de réduire les flux d'énergie nécessaires en minimisant les distances. Elle s'obtient notamment à travers un éco-aménagement du territoire, où habitations, espaces naturels, et surfaces cultivées s'imbriquent étroitement.

La nature comme modèle, mesure et mentor

Projeté dans l'avenir, le biomimétisme a le potentiel de révolutionner nos objets, nos habitations et notre mode de vie. Mais plus encore, il pourrait s'avérer décisif dans l'évolution de notre rapport à la nature. Une nature que nous considérons depuis trop longtemps comme un simple réservoir de ressources à notre disposition. Loin de cette vision, héritée notamment de la conjonction des religions monothéistes et du cartésianisme dominant de la révolution industrielle, le biomimétisme propose de considérer la nature à la fois comme modèle, mesure et mentor.

Comme modèle, en mettant tout d'abord l'ingéniosité humaine en sourdine, et en réalisant que nos technologies nous acculent dans une impasse. Puis dans un second temps, en redevenant capable d'écouter la nature, de la regarder avec des yeux neufs, les yeux d'une espèce jeune interrogeant nos sages experts en durabilité. Ensuite lui faire écho, en tentant d'imiter ce que nous découvrons, comme abondamment décrit dans ces lignes. Ce processus demandera un échange constant d'idées et de concepts pour lequel Internet et ses successeurs auront un rôle capital à jouer. Le principe étant de graduellement constituer une base de donnée des connaissances biologiques, classées par grande fonctions et potentiellement utiles pour innover. De plus, ce « Google des solutions naturelles » permettrait de placer toutes ces idées nouvelles dans le domaine public, loin de toute tentative d'appropriation abusive. Ces idées issues de la communauté de nos ancêtres, qui nous appartiennent à tous...

La nature comme modèle, pour répondre à la question: « Dans ce cas-ci, que ferait-elle ? »

Mais aussi la nature comme mesure, en tant que moyen d'évaluation de nos inventions, et comme étalon de comparaison avec ce qui les a précédées. Utiliser sa vaste expérience en tant que sagesse des erreurs à éviter. Le biomimétisme nous rappelle que ce qui ne se trouve pas dans la nature a peut-être une raison de ne pas y être. Comme celle d'avoir été déjà testé et éliminé par le garde-fou de la sélection naturelle. C'est d'ailleurs aussi sur ce principe que se base Janine Benyus pour, d'une part refuser les plantes génétiquement modifiées, mais d'autre part, accepter la sélection et le croisement de différentes variétés à l'intérieur d'une espèce: « Si nous utilisions les phénomènes naturels comme filtre de sélection, nous nous interdirions par exemple de transférer des gènes d'une classe d'êtres vivants vers une autre. Nous n'introduirions pas, par exemple, un gène de poisson dans un fraisier. »

La nature comme mesure, pour répondre à la question: « Dans ce cas-ci, que ne ferait-elle pas

? »

Enfin la nature comme mentor. Parce que lorsqu'un architecte étudie la croissance des arbres, ou lorsqu'un ingénieur apprend le fonctionnement des feuilles, après les avoir considérés comme du mobilier urbain ou des stocks de bois, tous deux passent à l'émerveillement, puis à l'humilité. La relation a changé. Et dès lors que la nature devient source d'émerveillements et d'idées nouvelles, la protection de la biodiversité s'impose alors comme une évidence. Une fois que le schisme entre l'espèce humaine et le reste des vivants est dépassé, il ne reste plus qu'une grande famille, forte de millions de milliards de membres reliés dans le temps et dans l'espace. Il ne reste plus qu'un immense arbre généalogique vieux de presque 4 milliards d'années, enraciné sur une toute petite planète...

James Lovelock, le père de l' « hypothèse Gaia », aujourd'hui reconnue en tant que discipline scientifique sous le nom de « géophysologie », a judicieusement comparé notre Terre... au tronc d'un arbre. De même que la vie se concentre en une mince couche de cambium juste sous l'écorce de l'arbre, la Vie sur Terre se réduit à une mince pellicule verte entourant une vaste sphère de matière inerte. L'image n'est pas pour nous déplaire !

Cette vision s'accompagne en plus de la perception de la Vie comme une propriété des planètes, plutôt que des organismes vivants. Si cette idée reste encore controversée, elle parle en tout cas à nos sensibilités: puisque nous comprenons instinctivement ce qu'est une planète morte, est-il si scandaleux de percevoir notre planète comme un être vivant ?

Gauthier Chapelle