

Mémoire pour le diplôme
de professeur – designer en permaculture

Écologie et permaculture

Gildas Véret
Septembre 2013

Table des matières

Introduction.....	3
Intentions.....	3
Brève définition de la permaculture.....	4
Première partie : Science et permaculture.....	5
Science sans conscience n'est que ruine de l'âme.....	9
Deuxième partie : Quelques belles histoires d'écologie.....	11
Symbioses : la coopération dans le vivant.....	11
Poissons-clown / anémone.....	11
Les coraux.....	12
Les lichens.....	13
Racines et symbiose.....	14
Les mycorhizes.....	14
La fixation symbiotique de l'azote.....	15
Lynn Margulis : la symbiose comme base de la vie.....	16
Un peu de biologie cellulaire	17
Capter et stocker l'énergie du soleil : les chloroplastes.....	17
Respirer c'est bon pour la santé !.....	18
Origines inconnues.....	18
La théorie de l'endosymbiose.....	19
Conclusion et hommage à Margulis.....	20
Hypothèse Gaïa et successions végétales.....	20
Successions écologiques: Clements, puis Tansley, vers une théorie mature.....	23
Troisième partie : discussion de certains principes d'écologie utilisés en permaculture.....	26
Permanence dans la nature.....	26
Un environnement en transformation permanente.....	26
Stabilité, diversité et résilience des écosystèmes.....	30
Résilience plutôt que stabilité : Pullulations naturelles de ravageurs.....	31
Diversité et résilience : exemple d'une forêt de chêne et de pin.....	32
Conclusion.....	34

Introduction

Intentions

Le présent mémoire est né d'un questionnement qui m'a saisi lors de mon premier cours certifié de permaculture, en avril 2011, et ne m'a pas quitté depuis : « Que savons nous réellement du fonctionnement des écosystèmes naturels ? Dans quelle mesure notre compréhension de la nature nous permet-elle de l'imiter ? Les principes d'écologie utilisés en permaculture relèvent-ils de la science ou de la croyance ? » Pour tenter de répondre à ces questions, j'ai suivi un DEUG de biologie à la faculté de Jussieu, et me suis documenté dans différents ouvrages spécialisés et articles scientifiques. Ingénieur généraliste avec une spécialité en « Science de Terre et Environnement », j'ai fait de la vulgarisation scientifique mon métier, au Palais de la découverte. C'est avec plaisir que je mets ces compétences au service du mouvement de permaculture. Je présente ici une vision synthétique et abordable de plusieurs « histoires » d'écologie qui ont inspiré Bill Mollison. Dans un second temps, je tenterai d'apporter quelques éléments pour préciser les domaines de validité de certains grands principes d'écologie utilisés en permaculture. J'espère que ce travail pourra être utile à certains amis et collègues professeurs de permaculture. Je serais reconnaissant de tous les retours qui me seront fait sur la pertinence et la justesse des informations présentées ici. (gildas_veret@yahoo.es)

Le mot de Bill Mollison

« All permaculture designers should be aware of the fundamental principles that govern natural systems. [...] We can use the guiding principles and laws of natural systems, as formulated by people such as Watt, Odum, and Birch, and apply some of them to our consciously-designed ecologies. »
A designer's manual, p.13

Avertissement : le présent mémoire a été rédigé à l'intention de personnes déjà familières de la permaculture. Aussi je n'ai pas explicité les concepts et pratiques permaculturels bien connus auxquels le texte se réfère. J'ai, par contre, **surligné en vert les passages qui font un lien direct entre l'écologie scientifique et les principes de la permaculture.**

Brève définition de la permaculture

Au cas où certains lecteurs, malgré l'avertissement ci-dessus, auraient une faible connaissance de la permaculture, j'en propose ici une définition minimaliste :

« La permaculture est une méthodologie de conception d'écosystèmes humains durables inspirés du fonctionnement de la nature. »

On doit ajouter que la permaculture :

- est à la fois une science systémique, une philosophie, un art et un mode de vie
- copie le fonctionnement des écosystèmes naturels
- propose une méthode de conception et d'aménagement d'écosystèmes cultivés (agricoles et culturels) répondant aux besoins humains
- permet de créer des systèmes stables, auto-suffisants et résilients
- dans un contexte de diminution des ressources non-renouvelables, notamment l'énergie
- favorise la diversité biologique et la conservation des écosystèmes naturels
- basée sur une éthique
- produit l'abondance et sert toutes les formes de vie.

Cette définition mériterait commentaires et compléments. J'invite le lecteur en recherche d'information à ce sujet, à se documenter sur les nombreux sites internet traitant du sujet, ou par la lecture du bon ouvrage d'initiation : *Graines de permaculture* de Patrick Whitefield. Le meilleur moyen de saisir ce qu'est la permaculture reste l'immersion, soit dans un cours de permaculture soit en vivant sur un éco-lieu qui la pratique.

Première partie : Science et permaculture

La permaculture se nourrit de la convergence de trois sources : l'observation de bon sens, les sagesses ancestrales des peuples « premiers », et la science écologique moderne.

La première, le bon sens, fait appel à la capacité de chacun de comprendre et analyser ce qui l'entoure. C'est un principe de responsabilité et liberté, dans l'esprit « Do it yourself ! ». Il invite chacun à prendre en main son destin et à se construire son propre mode de vie.

La seconde source, « les sagesses des peuples premiers » constitue un héritage collectif à portée universelle, puisqu'il ne s'agit pas d'imiter tel ou tel peuple, mais bien de saisir dans les pratiques des peuples du monde, la part qui touche à la relation fondamentale de l'humain avec la nature. Qu'il s'agisse du non-agir cher à Masanobu Fukuoka, ou des savoirs des indiens d'Amérique ou des aborigènes d'Australie, cette source invite au travail sur soi, à la contemplation et à la connaissance de « tout ce qui est ». Profondément connecté au sens éthique de chacun de nous, cet héritage collectif prend son sens par la réflexion individuelle et les choix de vie de chacun.

La troisième source, la science écologique moderne, est celle qui s'éloigne le plus de l'échelle individuelle. Notre compréhension du fonctionnement des écosystèmes vient de la collaboration d'un très grand nombre de personnes, « savants », « chercheurs » ou « scientifiques », dispersés dans le temps et les pays de l'occident (et du monde entier depuis quelques décennies). On pourrait d'ailleurs définir la science comme une méthodologie permettant la collaboration de personnes qui ne se rencontrent jamais parce qu'elle vivent loin ou pas en même temps ! Le moyen premier de cette collaboration est la publication d'articles scientifiques, avec ses règles. Toute découverte scientifique est publiée dans une revue à comité de lecture ; de plus, la publication doit décrire précisément les expériences effectuées pour que d'autres puissent les refaire pour les vérifier et les améliorer.

C'est ainsi qu'à travers les siècles, on a construit des théories qui dépassent nettement toute opinion individuelle car elles sont basées sur un très grand nombre d'observations de faits réels et d'expériences répliquables et concordantes effectuées par un grand nombre de personnes de diverses cultures. Est-on pour autant face à une science « objective » ? Loin s'en faut. La science avance avec les croyances et les querelles de son temps¹. Mais « la science » a permis d'accumuler des quantités d'informations qu'il serait impossible de rassembler seul, ne serait-ce que par manque de temps. Je voudrais donner ici un exemple de construction d'une théorie scientifique qui concerne la permaculture² : la

Le mot de Bill Mollison

« There will never be « laws » in the area of biology. »

« Scientists who « know » and observe, don't usually apply their knowledge in the world. Those who « act » often don't know or observe. »

« Scientific method is one of the ways to know about the real world, the world we are part of and live in. Observation and contemplative understanding is another. »

A designer's manual, p.11

1 Les travaux de Bruno Latour montre bien que les « avancées de la science » sont pleinement sujettes aux forces sociales et politiques d'une époque. Notamment dans son ouvrage *Pasteur : guerre et paix des microbes* il montre que l'établissement de l'existence des microbes ne s'est pas fait avant tout par une démarche objective, mais bien par un jeu complexe de tensions sociales et de conflits d'intérêt qui ont été tout aussi déterminants que les faits « scientifiques ».

2 Par exemple le chou cabus, le brocoli, le chou-rave, ainsi que le chou de Bruxelles et le chou frisé sont tous des descendants de la moutarde sauvage (*Brassica oleracea*), créé par les humains qui ont accentué certains caractères via sélection artificielle, respectivement les bourgeons terminaux pour le chou cabus, les fleurs pour le brocoli, les tiges pour le chou-rave, les bourgeons latéraux pour les choux de Bruxelles et les feuilles pour le chou frisé (kale). Biologie Campbell 9ème Edition p 530.

théorie de l'évolution. Cet exemple montre bien qu'une théorie scientifique dépasse largement les travaux de chacun des individus qui l'ont construite durant des siècles. De plus, les naturalistes présentés ci-après ont souvent formulé des idées et méthodes aujourd'hui utilisées en permaculture, je les soulignerai en vert dans ce qui suit.

- ✓ **Carl von Linné**, naturaliste suédois du 18ème siècle. Il accomplit un énorme travail de classification universelle des espèces dans son ouvrage *Systema Naturæ* (1735). Sa conception du monde et de la nature est « fixiste » i.e. chaque espèce est telle que Dieu l'a créée au premier jour et restera éternellement inchangée. Certaines de ses classifications sont tout à fait arbitraires, ou effectuées selon des critères d'harmonie de « l'ordre divin » qui ne sont plus guère reconnus de nos jours. La théorie de l'évolution s'est donc bâtie contre la théorie de Linné, mais en référence à elle. On a d'ailleurs conservé un héritage de sa classification. **Notre manière de nommer les espèces, en donnant à chacune deux noms latin, un pour le genre, un pour l'espèce (nomenclature binomiale)** vient directement de Linné. Par exemple, **la grande ortie a pour nom scientifique *Urtica Dioica*, à distinguer de sa cousine l'ortie brûlante *Urtica urens*. Cette nomenclature présente l'avantage d'être internationale (en latin dans toutes les langues) et de plus elle évite le risque de confusion lié à l'usage de noms locaux qui ne désigne pas toujours la même plante d'une région à l'autre.**



Linné, 1735, Suède



Lamarck, vers 1800, France

- ✓ **Jean-Baptiste Lamarck**, français (1744-1829). Un des fondateurs de la « biologie » tant que science. Il est l'un des premiers à proposer que les espèces se modifient au cours du temps. Il défend une théorie de l'évolution par la transmission des caractères acquis (les girafes auraient un long cou car chaque génération l'aurait un peu étiré en cherchant à atteindre des feuilles plus hautes). Si cette hypothèse a été abandonnée face à la sélection naturelle (les girafes qui ont un cou plus long mangent mieux et se reproduisent plus que les autres), elle est aujourd'hui de nouveau examinée dans le cadre de l'épigénétique.



Darwin, vers 1840, Angleterre

- ✓ **Charles Darwin**, naturaliste anglais du XIXème siècle. Il formule sa théorie de l'évolution via la sélection naturelle dans son ouvrage *Sur l'Origine des Espèces au moyen de la Sélection Naturelle, ou la Préservation des Races les meilleures dans la Lutte pour la Vie*, publié en 1859. Il résume ainsi la théorie qui va profondément bouleverser la biologie, la pensée, la religion et la relation de l'homme à la nature :

« Comme **il naît beaucoup plus d'individus de chaque espèce qu'il n'en peut survivre, et que, par conséquent, il se produit souvent une lutte pour la vie**, il s'ensuit que tout être, s'il varie, même légèrement, d'une manière qui lui est profitable, dans les conditions complexes et quelquefois variables de la vie, aura une meilleure chance pour survivre et ainsi se retrouvera choisi d'une façon naturelle. En raison du principe dominant de l'hérédité, **toute variété ainsi choisie aura tendance à se multiplier sous sa forme nouvelle et modifiée.** »

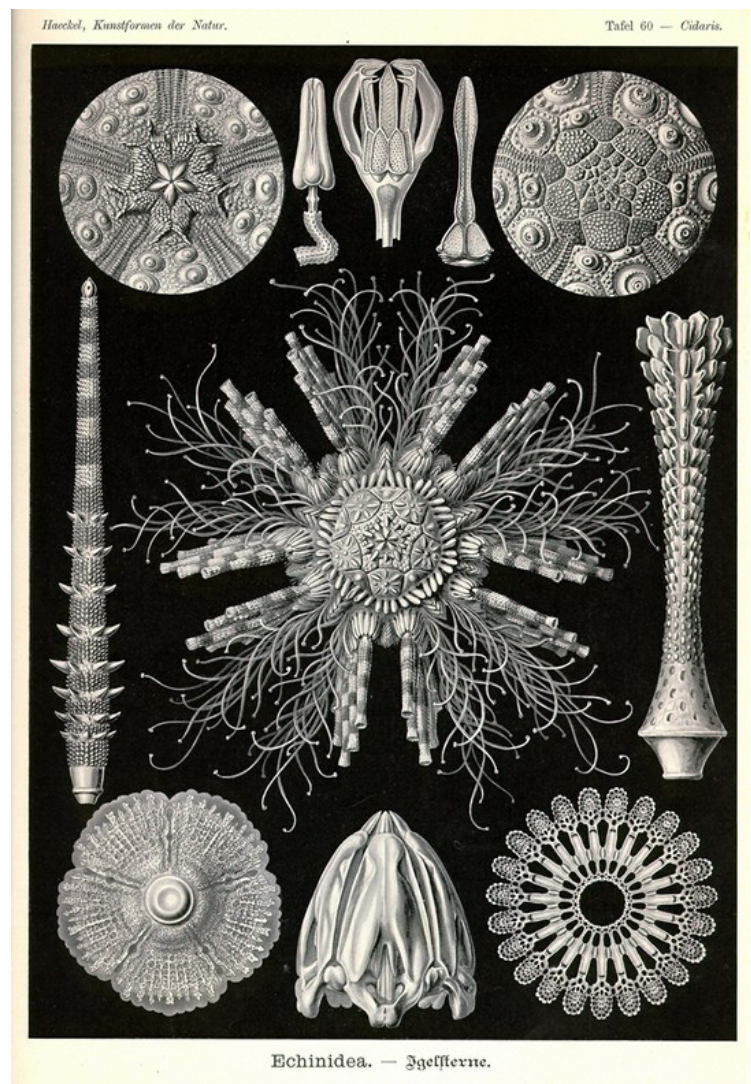
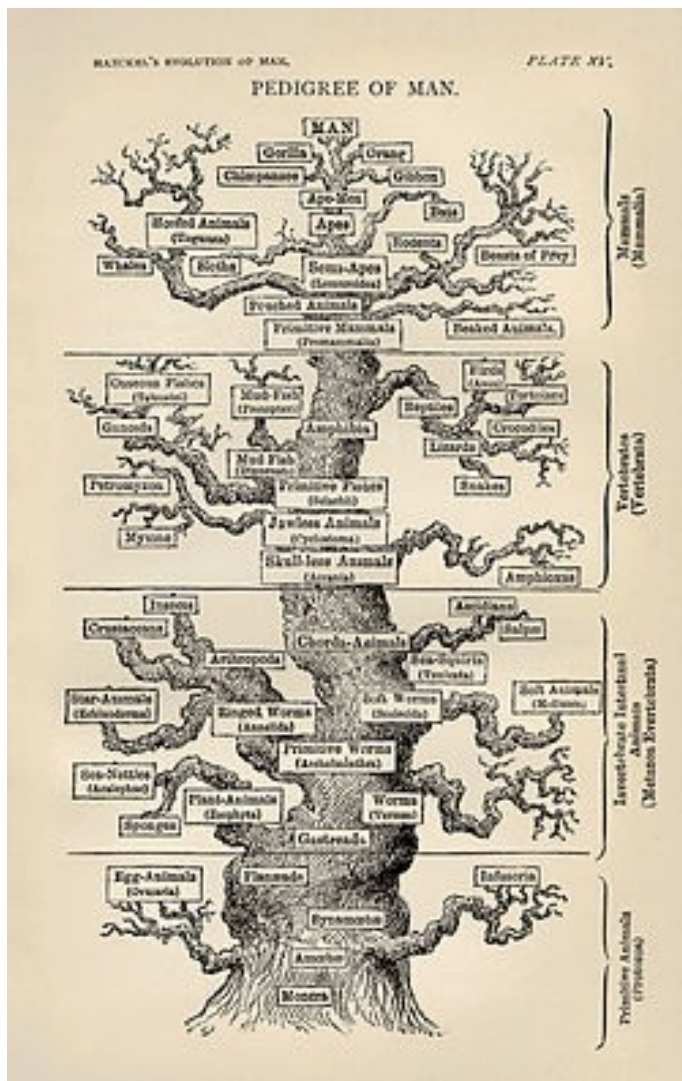
Par ailleurs, il mettra en avant le fait que **les fleurs sont belles pour attirer les insectes et**

favoriser leur reproduction en utilisant les insectes pour la pollinisation. Et il écrira sur le rôle écologique majeur des vers de terre dans la formation des sols !



Ernst Haeckel,
1860, Allemagne

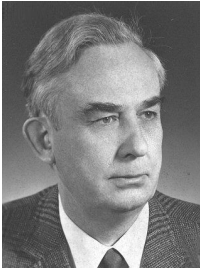
- ✓ Ernst Haeckel (1834-1919) biologiste artiste et penseur allemand. Il fera connaître la théorie de l'évolution de Darwin en Allemagne. Il est le premier à utiliser l'image d'un arbre pour représenter l'évolution des espèces et leur classification. C'est lui qui **crée le terme « écologie »** étymologiquement « science de l'habitat » () qu'il définit ainsi : « science globale des relations des organismes avec leur monde extérieur environnant dans lequel nous incluons au sens large toutes les conditions d'existence. » Il décrira de nombreuses espèces à l'aide de dessins magnifiques et publiera un **livre d'illustration nommé Les formes artistiques de la nature** en 1905 qui sera une des sources d'inspiration de L'art nouveau.





Gregor Mendel
vers 1860,
Tchéquie

- ✓ **Gregor Mendel** (1822-1884), moine Tchèque (à l'époque, faisant partie de l'empire d'Autriche). Naturaliste, fondateur de la génétique (quoique ignorant l'existence des gènes !) il a étudié l'hérédité des caractères, **en croisant différentes variétés de pois. Il a défini les lois de l'hybridation qui permettent de déduire les caractéristiques des hybrides F1, F2 et F3 des caractères de leurs « ancêtres »**. Appelées « lois de Mendel » et devenues célèbres plus de 30 ans après leur publication, elles constituent une des bases de la génétique moderne.



Willi Hennig, 1960,
Allemagne

- ✓ **Willi Hennig**, entomologiste allemand. Il unifie les travaux présentés ci-dessus en élaborant une nouvelle méthode de classification des êtres vivants, la **cladistique ou phylogénie systématique**. Dans cette méthode, les espèces sont regroupées selon leur « filiation », toutes les espèces descendant d'un ancêtre commun sont regroupées. Les espèces sont alors classées selon leur « arbre généalogique » (appelé cladogramme). Cette méthode est la première classification dans laquelle il n'y a pas de choix arbitraire. Si elle paraît simple et logique, elle n'a été formulée que dans les années 1950 à 1970, faisant ainsi se rejoindre la génétique, l'évolution et la classification des espèces. Elle est **aujourd'hui reconnue comme la méthode de classification scientifique des êtres vivants** et a bouleversé un

certain nombre de vieilles habitudes (les « poissons » n'existent plus en tant que catégorie car ils regroupaient des espèces n'ayant pas d'ancêtre commun direct, de même pour les « reptiles », un crocodile étant plus proche parent des oiseaux que des lézards, ce groupe n'a plus lieu d'être. Par contre **les dinosaures existent toujours et les poules en font partie**, ainsi que tous les oiseaux car ils sont leurs descendants...)

Quand les poules avaient des dents :



Archaeopteryx,
150 millions
d'années. Poulet ou
dino ?
Les deux!



Le mot de Bill Mollison

« For every scientific statement articulated on energy, the Aboriginal tribespeople of Australia have an equivalent statement on life. Life, they say, is a totality neither created nor destroyed. [...]

I believe that unless we adopt sophisticated aboriginal belief systems and learn respect for life then we lose our own, not only as lifetime but also as any future opportunity to evolve our potential. Whether we continue without an ethic or a philosophy, like abandoned and orphaned children, or whether we create opportunities to achieve maturity, balance and harmony is the only real question that faces the present generation. »

A designer's manual, p.2

Science sans conscience n'est que ruine de l'âme

Malgré l'utilisation intensive des résultats scientifiques à des fins commerciales souvent destructrices de l'environnement et des peuples, la science reste une des plus grandes entreprises de partage qu'ait mené l'humanité. Ses méthodologies sont précieuses pour distinguer le vrai du faux sur des questions techniques et la communauté scientifique mondiale reste majoritairement intéressée par l'intérêt général, comme le montre l'exemple du Changement Climatique. Ce sont les chercheurs qui tirent la sonnette d'alarme sur le climat depuis plusieurs décennies et qui commencent tout juste à se faire entendre. Sans ces scientifiques, on n'aurait pas les moyens de mesurer et de comprendre ce qui est en train de se passer avec nos émissions de gaz à effet de serre et le climat.

Néanmoins, les agissements des lobby des industries chimiques, nucléaires, pharmaceutiques et des OGM (pour n'en citer que quelques uns) posent nettement le problème de la finalité de la science. Mal utilisée comme elle l'est aujourd'hui, la science permet de causer de graves nuisances. Gardons nous cependant de l'amalgame et gardons à l'esprit que ce sont bien rarement des « chercheurs » qui dirigent ces industries dangereuses. Elles sont gouvernées par des financiers et des ingénieurs dont le métier est d'utiliser la science pour faire du profit³. A mon sens, les choses seraient beaucoup plus claires si on réservait l'appellation de « scientifiques » aux chercheurs en science fondamentale qui font avancer les connaissances indépendamment de leurs potentielles utilisations.

3 Étant moi même ingénieur je puis assurer que, bien qu'ayant une formation scientifique, les ingénieurs qui travaillent dans les grandes entreprises ne sont pas des « scientifiques » au sens de « savant, chercheur, ou amoureux de la connaissance. » Ce sont avant tout des businessmen avec une forte formation technique et la capacité d'utiliser la science à leur profit. De rares ingénieurs basculent du côté de la recherche fondamentale, mais ils font un métier très différent des autres et passent généralement par des études universitaires complémentaires.

Quand Rabelais rejoint Mollison

« Quant à la connaissance de la nature, je veux que tu t'y appliques avec soin : qu'il n'y ait mer, rivière ou source dont tu ne connaisses les poissons; tous les oiseaux de l'air, tous les arbres, arbustes et buissons des forêts, toutes les herbes de la terre, tous les métaux cachés au ventre des abîmes, les pierreries de tout l'Orient et du Midi. Que rien ne te soit inconnu. »

Lettre de Gargantua à Patagruel, en 1532,

Il reste que la science est confrontée à un grand vide, elle n'a rien à proposer sur l'éthique et la morale. Aussi, la pratique des permaculteurs qui passent les apports de la science au filtre de leur propre bon sens et d'un sentiment profond de l'éthique me paraît nécessaire et salvateur. Il s'agit d'une déclinaison pratique de la mise en garde de Rabelais : « science sans conscience n'est que ruine de l'âme »⁴. Sans doute, cette nouvelle version permacole est-elle bien nécessaire car le souci de « l'homme honnête » de « faire ses humanités » n'est plus tellement au goût du jour.

Dans les pages qui vont suivre, je mettrai l'accent sur les aspect scientifiques (car c'est là ma spécialité) mais sans perdre de vue que la science n'est qu'un volet de la permaculture et j'invite le lecteur à exercer son sens critique sur tout cela, à réfléchir aux implications éthiques et surtout à mettre en pratique la permaculture. Même si les considérations qui suivent sont relativement théoriques, j'ai l'espoir qu'elle nourrissent et enrichissent l'action, qu'il s'agisse de culture au jardin, d'observation de la nature, de construction écologique ou de relations humaines.

⁴ Dans la Lettre de Gargantua à Patagruel, en 1532, dont est tirée la citation précédente, Rabelais propose une éducation idéale qui rejoint assez la permaculture.

Deuxième partie : Quelques belles histoires d'écologie

Bill Mollison, lui-même diplômé de biogéographie (entre autres) a été inspiré par les travaux de nombreux scientifiques lors de sa création de la permaculture. Dans *A designer's manual* il cite notamment James Lovelock, Eugène Odum et Lynn Margulis dont certains travaux sont présentés ci-dessous.

Symbioses : la coopération dans le vivant

La symbiose (ou mutualisme), en biologie, décrit l'association plus ou moins étroite et mutuellement bénéfique entre deux organismes d'espèces différentes. Autrement dit, c'est une association « gagnant-gagnant ». Le terme « symbiose » forgé à partir du préfixe *syn*, « avec » et du mot *bios*, « la vie », signifie bien vivre avec, vivre ensemble. Il symbolise l'alliance du vivant, montrant que si dans la nature règne la « loi de la jungle » et une intense « lutte pour la survie », l'ensemble des communautés vivantes est également structuré par la coopération et l'entraide entre espèces. En effet, **la symbiose n'est pas un cas particulier rare, mais bien une des bases générales du vivant**, comme nous allons le voir à travers quelques exemples ci-dessous. **En permaculture, on a généralisé la notion de symbiose à tous les éléments du système, vivant ou non-vivant. C'est de là que vient l'idée de créer le plus d'interactions positives possible lors du design.**

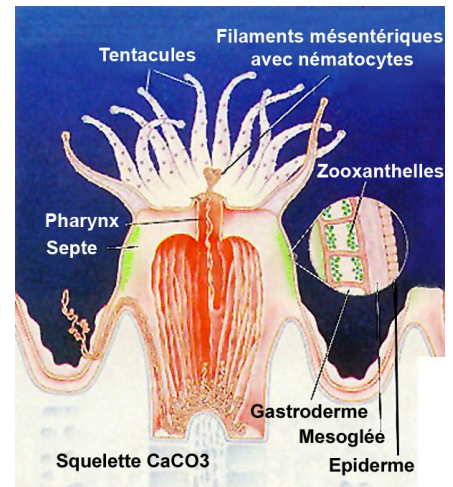
Poissons-clown / anémone

Une des symbiose les plus connues est celle des poissons clown (du genre *Amphiprion*) avec de grandes anémones de mer dans l'océan Indien et l'océan Pacifique. Le poisson reste au contact de l'anémone, de ce fait il est protégé des prédateurs par les tentacules urticants. L'anémone bénéficie des restes des repas du poisson clown qui, de plus la débarrasse de ses parasites. Une étude a montré que la croissance des anémones était trois fois plus rapide en présence de leurs partenaires (Holbrook & Schmitt, 2005).



Les coraux

Les coraux sont un exemple de symbiose encore plus étroite. Un récif corallien est constitué de colonies très nombreuses de petit animaux invertébrés, les polypes madrépores constructeurs de récifs coralliens. Leur succès écologique vient du fait que des algues microscopiques, les zooxanthelles vivent à l'intérieur du corps des polypes, juste sous la peau⁵. Le polype et les algues s'échangent de la nourriture : les algues fournissent du sucre qu'elle fabrique par photosynthèse et l'animal fournit des sels minéraux aux algues. De plus, les algues interviennent dans le dépôt du calcaire qui constitue le squelette externe du polype (le récif corallien). Cette association intime entre une plante et un animal permet une forte productivité de biomasse qui fait que les récifs coralliens sont de véritables oasis débordant de vie de toute sorte alors que les eaux des océans environnants sont relativement pauvres en organismes.



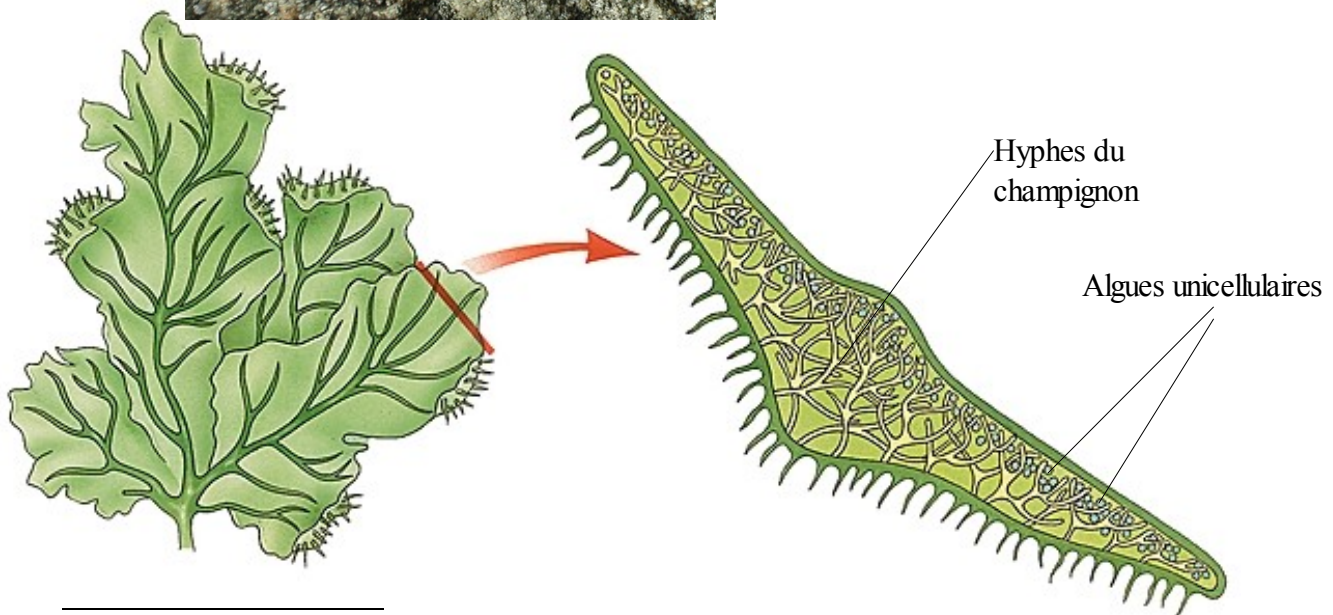
⁵ Eléments d'écologie, écologie fondamentale, 3ème édition, François Ramade p. 276

Les symbioses ne sont pas pour autant une spécificité des tropiques. Elles sont très communes sous nos latitudes et sont essentielles au fonctionnement de nos écosystèmes.

Les lichens

Les lichens jouent un rôle écologique considérable car ils sont capables de croître dans des milieux inhospitaliers, comme de la roche nue, et les transforment. Ce sont des « pionniers de la végétation » car ils altèrent chimiquement la roche et la fissurent, participant à la première étape de la pédogenèse (formation des sols) qui va transformer la roche en terre et permettre à des espèces végétales de s'implanter ultérieurement. **Ils sont des acteurs essentiels de la première étape des successions végétales (voir plus bas) quand la vie colonise un milieu rocheux inhospitalier (lave après une éruption, roche libérée par le recul des glaciers, parking abandonné...)**

Leur capacité à résister à des températures et des sécheresses extrêmes vient d'une symbiose entre des algues unicellulaires et un champignon. Les cellules d'algue vivent enveloppées dans les filaments (hyphes) du champignon. Les algues produisent des sucres et autres composés et nourrissent le champignon grâce à la photosynthèse. Le champignon protège l'algue du dessèchement et fournit des minéraux, entre autres en produisant des acides qui attaquent la roche. L'alliance de ces deux organismes leur permet de vivre ensemble sous forme de lichen dans des lieux où ils seraient incapables de vivre seuls. En effet sur de la roche nue, le champignon n'arriverait pas à se nourrir et l'algue seule mourrait de soif. Il s'agit pourtant bien de deux organismes différents puisqu'il « a été possible de décomposer les lichens en leurs deux espèces symbiotiques ou au contraire d'en faire la « synthèse » in vitro en réunissant des cultures séparées de l'algue et du champignon. »⁶



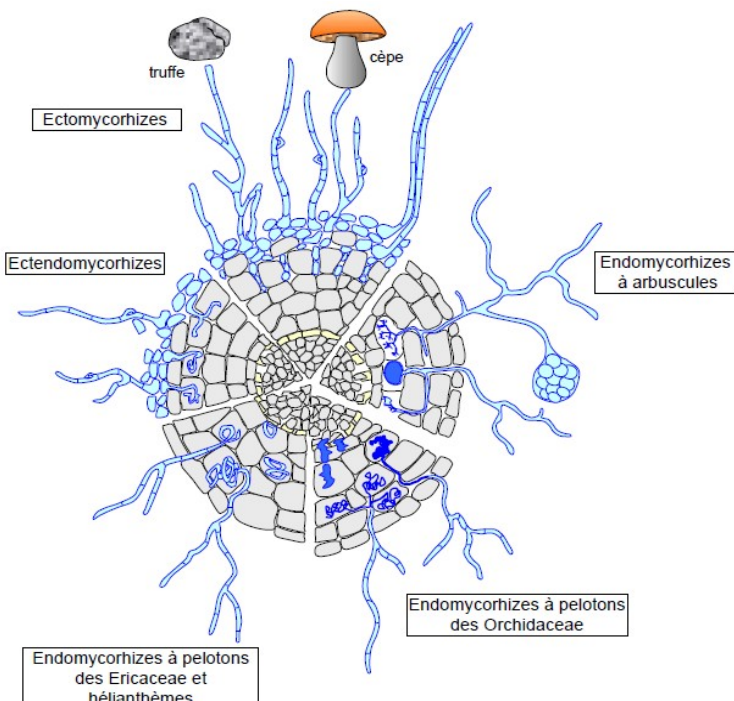
6 Ramade p. 274

Racines et symbiose

La grande majorité des plantes vivent en symbiose avec des bactéries (rhizosphères et rhizobium) et/ou des champignons (mycorhizes) du sol à qui elles fournissent 10 à 30% des sucres qu'elles fabriquent par photosynthèse en échange de minéraux qui leur sont difficilement accessibles. Sans ces alliances, la croissance des végétaux serait considérablement amoindrie. Malheureusement l'agriculture classique a tendance à détruire ces symbiontes en utilisant des fongicides et des engrais et en labourant profondément annuellement le sol et en l'appauvrissant en matière organique. Il résulte de tout cela que, privées de leurs « fournisseurs » naturels de sels minéraux, les plantes cultivées sont dépendantes des engrais et des produits phytosanitaires. L'ignorance de ces symbioses souterraines mène donc à un cercle vicieux de destruction des sols et de pollution, alors que leur respect permet à la vie de favoriser la vie.

Les mycorhizes

Les mycorhizes sont des champignons qui entrent dans les racines des plantes (parfois même à l'intérieur des cellules de la plante) et fournissent eau et nutriments à la plante en l'échange de sucre. Il en existe différents types, illustrés sur le schéma ci-dessous, classés selon la manière dont s'organise la petite partie du champignon qui vit à l'intérieur de la racine. La majeure partie du champignon vit dans le sol, ses filaments ou hyphes sont beaucoup plus fins et beaucoup plus longs que les radicelles des plantes et de ce fait, sont beaucoup plus efficaces pour absorber l'eau et les nutriments peu mobiles comme le phosphore. Les mycorhizes sont tellement efficaces que certains arbres abandonnent complètement l'absorption d'eau par leurs racines, confiant complètement cette tâche à leur champignon symbiotique. Une grande majorité des plantes vivent en symbiose avec des champignons mycorhiziens. Cette association entre plantes et champignons est aussi ancienne que les plantes terrestres (450Ma environ) et a probablement permis la sortie des eaux des plantes et leur installation sur la terre ferme. Il est avéré que certains arbres connectés à un même champignon se transfèrent des nutriments par son intermédiaire !

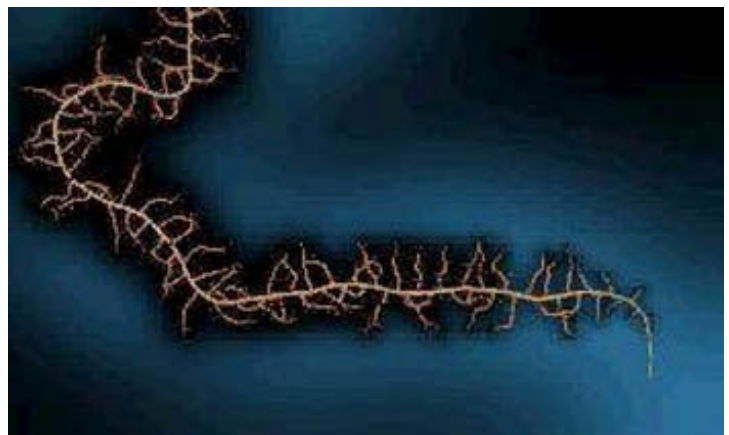
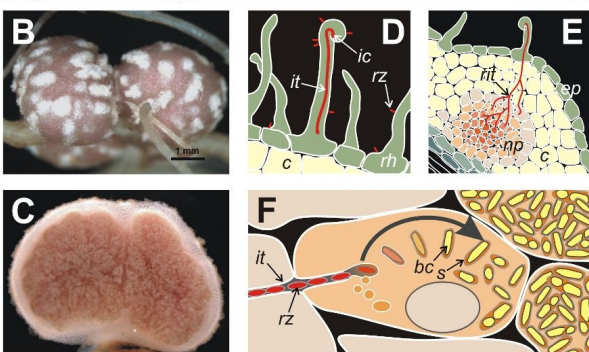


La fixation symbiotique de l'azote



Des bactéries tout à fait particulières sont capables de fixer l'azote de l'air pour le rendre utilisable par le vivant (par réduction du diazote de l'air, N_2 en ammoniac, NH_3 , puis transformation en acide aminés). Cette réaction chimique est très consommatrice d'énergie, ce qui fait que la fixation de l'azote par les bactéries seules est fort limitée. Au cours de l'évolution, des plantes se sont associées avec ces bactéries. Au cours d'un « dialogue chimique » la plante invite les bactéries à rentrer dans ses racines. Il s'agit d'une véritable « infection » volontaire dirigée par la plante qui forme des nodosités (photo ci-contre), sorte de petites boules fixées aux racines où sont « élevées » les bactéries à qui la plante fournit de l'énergie et des conditions physico-chimiques optimales pour la fixation d'azote. La plante peut ainsi couvrir de 20 à 100% de ses besoins en azote grâce aux bactéries symbiotiques. **700 espèces de plantes de la famille des légumineuses (fabacées) s'associent avec des bactéries des genre *Rhizobium* et *Bradyrhizobium* (14 000 espèces). Quelques rares autres plantes comme les aulnes s'associent de la même façon à des bactéries du genre *Frankia*.**

Les graminées ne forment pas de nodosités mais nourrissent des bactéries fixatrices d'azote des genres *Clostridium* et *Azotobacter* qui vivent dans le sol à proximité immédiate de leurs racines (c'est ce qu'on appelle la rhizosphère). Cette association, moins efficace que la précédente, ne couvre en général que 10 à 15% des besoins en azote de la plante.⁷



Lynn Margulis : la symbiose comme base de la vie



L'histoire présentée ici est celle d'une scientifique particulièrement audacieuse, qui a connu de longs et grands déboires avant d'obtenir un succès mondial. Ses travaux ont révolutionné la biologie moderne. Il s'agit de Lynn Margulis et de sa théorie de l'endosymbiose publiée en 1966. Cette théorie propose que les cellules des organismes actuels seraient nées de la fusion de cellules plus simples lors d'une symbiose très ancienne. Cette théorie s'est heurtée à une hostilité considérable à l'époque. Une quinzaine de journaux scientifiques avaient refusé de la publier, la considérant fantaisiste. Sa publication déclencha de très nombreuses et vives critiques. Mais Lynn Margulis continua de défendre sa théorie. Dans les années 1970, de nouvelles données issues d'analyse génétiques sont venues confirmer cette théorie, ainsi que de nombreuses autres données depuis. Cette théorie est aujourd'hui reconnue comme valide et est enseignée dans toutes les facultés de biologie, mais souvenons-nous qu'elle était jugée farfelue par les biologistes des années 60.

Elle fut une des première personne à défendre que : **« L'évolution est le résultat de la coopération et non du processus de compétition »**. Ceci va à l'encontre de la vision dominante de l'évolution de l'époque, sensée être dominée par la **« guerre de tous contre tous. »** Cette idée fut reprise par Bill Mollisson dans son principe de coopération (cf ci-dessous).

Le mot de Bill Mollison

PRINCIPE DE COOPERATION

La coopération, et non la compétition, est la base fondamentale des systèmes vivants actuels et de leur survie future.

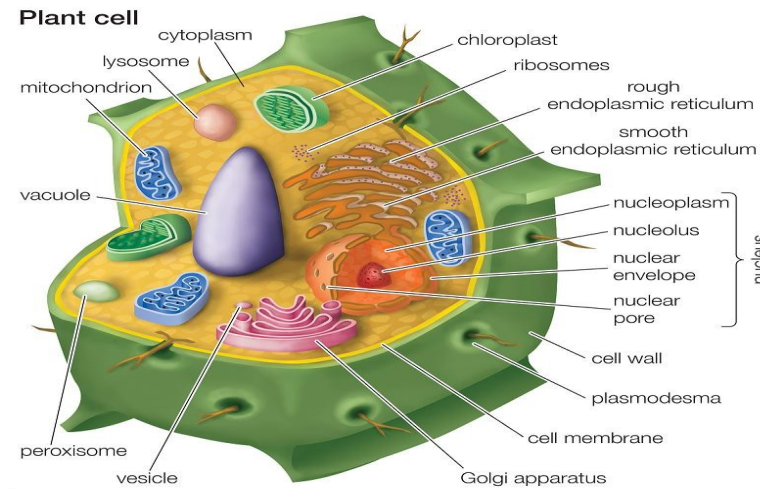
A designer's manual

La théorie de l'endosymbiose est lourde de conséquences car elle implique que toutes les plantes et tous animaux ainsi que les humains (l'ensemble des eucaryotes pluricellulaires) sont le résultat de symbioses primordiales très anciennes entre différentes cellules de différentes espèces. Autrement dit, ce qu'on appelle aujourd'hui « un organisme » est en fait un « composite d'organismes ». Il y a très longtemps (probablement un peu plus d' 1milliard d'années), bien avant que n'apparaissent les premiers animaux ou les première plantes, des cellules d'espèces différentes se sont mises à vivre les unes dans les autre. Avec le temps, cette alliance est devenue si étroite que les partenaires sont devenus complètement indispensables l'un pour l'autre, au point qu'on a eu bien du mal à déceler leurs origines séparées. Mais on en est aujourd'hui certain : **sans symbiose, ni les humains ni les plantes n'existeraient ! On peut donc « scientifiquement » affirmer que la symbiose est une des bases de la vie⁸.**

8 L'émerveillement de cette réalité ne doit pas pousser à l'idéalisation de la nature. La prédation, la compétition, et le parasitisme sont des bases toutes aussi essentielles des relations entre espèces. La nature n'a rien de « gentil ». Pour ne prendre qu'un exemple parmi des milliers, pensons aux nombreuses espèces d'hyménoptères (sortes de petites guêpes) qui pondent leur oeufs à l'intérieur du corps d'un autre insecte vivant qui va se faire dévorer de l'intérieur par les larves...

Un peu de biologie cellulaire ...

Pour comprendre la théorie de Lynn Margulis, il nous faut plonger dans le fonctionnement d'une cellule vivante, celle qui constitue les plantes et les animaux (cellule eucaryote). Ces cellules, bien qu'invisibles à l'oeil nu, sont nettement plus grosses que les bactéries (environ 10 fois plus



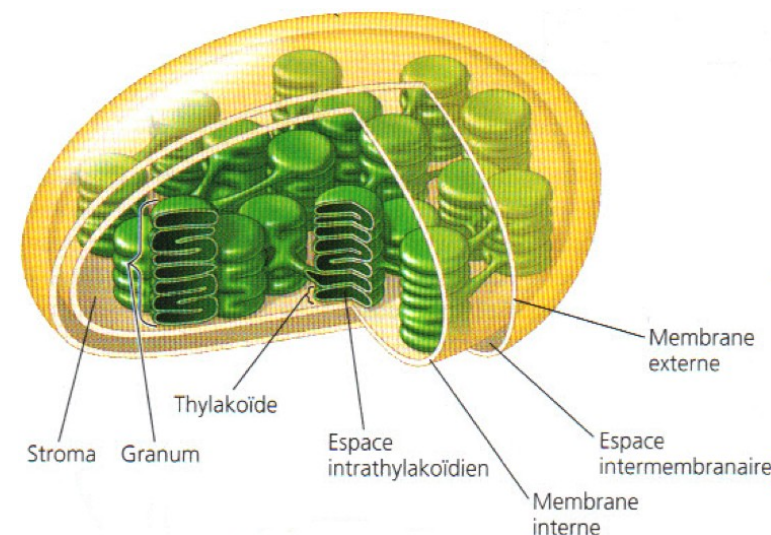
© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

grandes)⁹, et sont également plus complexes dans leur organisations interne. Elle contiennent des « organites », sorte d'organes spécialisés à l'intérieur de la cellule. Le noyau, qui leur donne leur nom (eucaryote signifie cellule ayant un noyau) est une bibliothèque centrale contenant l'ensemble des plans d'exécution des composants de la cellule, consultables à tout moment (informations stockées dans l'ADN).

Les réticulums et appareil de Golgi sont des usines d'assemblage qui fabriquent des molécules de composition et de forme très précises pour tous les besoins de la cellule. Les mitochondries et les chloroplastes sont les usines énergétiques qui permettent au reste de la cellule de fonctionner en l'alimentant en énergie. Nous allons nous intéresser à ces deux derniers organites, notamment en raison des mystères qui entouraient leur origine.

Capter et stocker l'énergie du soleil : les chloroplastes

Les chloroplastes sont de petits sacs ayant plus ou moins la forme d'un œuf et qui flottent dans les



cellules végétales des parties vertes des plantes. Ils renferment la chlorophylle, pigment qui donne aux plantes leur couleur verte et leur permet de capter l'énergie des rayons du soleil. L'énergie est ensuite stockée sous forme chimique en additionnant des morceaux de molécules d'eau à des molécules de CO₂ pour fabriquer des sucres. C'est la fameuse photosynthèse. Toute l'énergie utilisée par l'ensemble des êtres vivants, tant les plantes que les animaux ou les microbes a un jour été captée par photosynthèse dans un chloroplaste¹⁰.

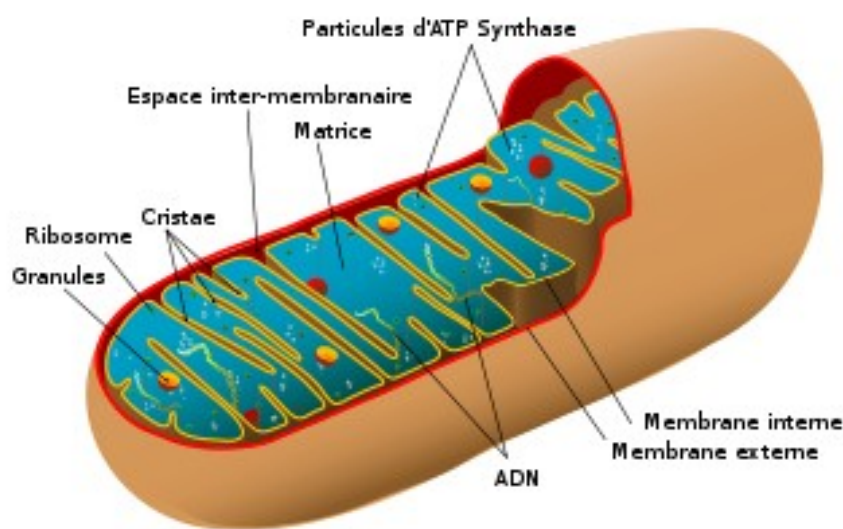
9 La plupart des bactéries mesurent entre 1 et 10 microns, alors que l'essentiel des cellules eucaryotes mesure de 10 à 100 microns. A titre de comparaison, l'œil nu est capable de distinguer comme un point un objet de 300 microns = 0,3 mm.

10 A l'exception de certaines bactéries qui captent de l'énergie chimique en dégradant des composés inorganiques. Certaines sont présentes dans le sol où elles jouent un rôle écologique important. D'autres sont à l'origine des oasis de vie dans les grands fonds océaniques où nulle lumière ne pénètre. Mais cela représente une très petite partie de la biomasse totale qui est essentiellement dépendante de la photosynthèse.

Le chloroplaste est donc le rêve de tout permaculteur qui suit le principe « catch and store energy » : il capte l'énergie abondante et gratuite du soleil et la stocke sous une forme utilisable par tous les être vivants : le sucre ! Tout cela sans pollution et 100% biodégradable...

La quasi totalité des être vivants sont dépendants des chloroplastes car ils utilisent l'énergie qu'ils ont stockée sous forme de sucre. Mais pour pouvoir utiliser le sucre, les cellules ont besoin d'une autre usine énergétique : la mitochondrie.

Respirer c'est bon pour la santé !



Inspirez, expirez... ceci n'est que la partie émergée de l'iceberg de la respiration. La partie immergée se passe au sein de chacune de vos cellules, dans des petits sacs (organites) appelés des **mitochondries**. Ce sont aussi des usines chimiques mais elles effectuent l'opération inverse de celle qu'on vient de décrire dans les chloroplastes. Lors de la respiration, les molécules de sucre sont décomposées en morceaux et de l'oxygène pris dans l'air est fixé à ces morceaux. Cette réaction chimique dégage du CO₂, de l'eau (H₂O) et beaucoup d'énergie. En effet, c'est la même réaction chimique que lorsqu'on fait brûler du bois !¹¹ Toutes les cellules qui utilisent du sucre pour produire de l'énergie le font

via des mitochondries. De ce fait, elles sont présentes dans la quasi totalité des cellules des plantes et des animaux.

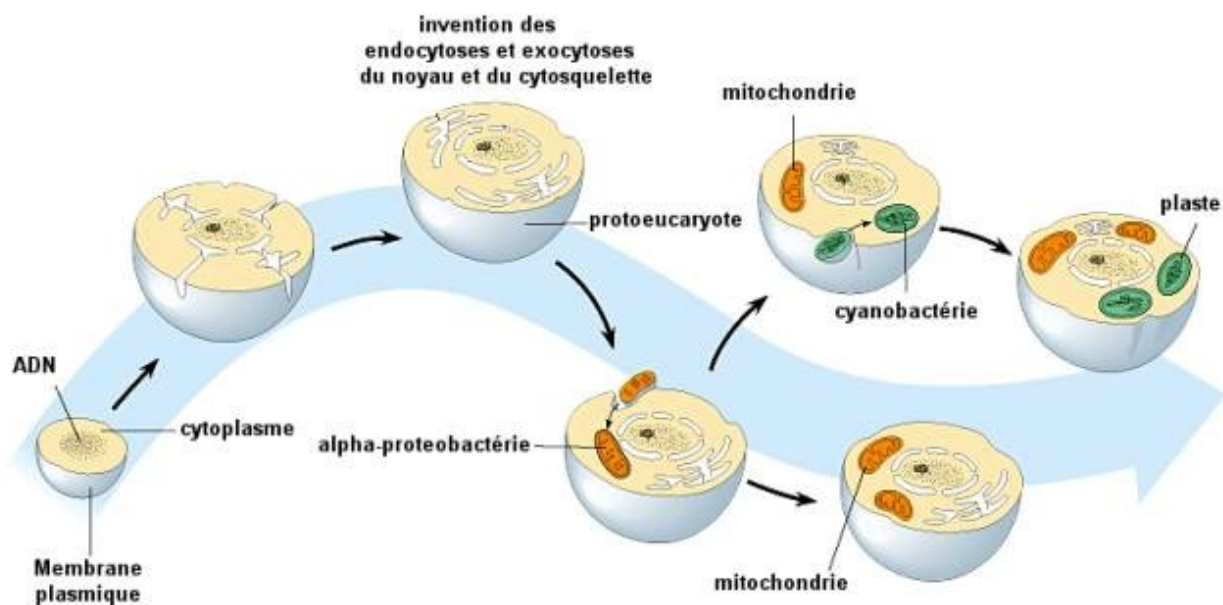
Origines inconnues

D'où viennent ces petits miracles de technologie biochimique qui permettent au vivant de stocker l'énergie du soleil puis de l'utiliser par respiration ? Leur origine est restée longtemps indéterminée. La supposition générale étant que la cellule eucaryote les avait « fabriqués » à un moment ou un autre de son évolution. Mais ce flou était dû à une ignorance quasi complète de l'histoire des cellules vivantes. En 1966, Lynn Margulis propose une autre hypothèse : la théorie de l'endosymbiose.

¹¹ Le bois est largement composé de sucre (la cellulose) qui, lorsqu'il brûle, forme du CO₂ et du H₂O qui partent dans les fumées. Cette réaction de combustion se fait aux alentours de 1000°C et comme elle libère beaucoup d'énergie le feu s'entretient. Si le bilan de la réaction est le même dans la cellule, le mécanisme est complètement différent et au lieu de libérer de grande quantité de chaleur, la respiration produit de l'ATP, stock d'énergie utilisable pour la cellule. C'est un peu la même chose que dans les piles à combustible, mais en microscopique et sans produits polluants.

La théorie de l'endosymbiose

Endo, « à l'intérieur », il s'agit donc d'une symbiose à l'intérieur même de la cellule. Dans sa théorie, Lynn Margulis défend que les chloroplastes et les mitochondries étaient des organismes unicellulaires indépendants qui ont été absorbés par une cellule (l'ancêtre des eucaryotes) il y a très longtemps. Le plus probable est que cette cellule essayait simplement de les manger. Mais, il se trouve qu'une fois, au lieu d'être digérés, les mitochondries et chloroplastes absorbés ont continué à vivre à l'intérieur de la cellule. Ils y trouvaient leur nourriture et s'y multipliaient. Ainsi ils se sont trouvés présents dans tous les descendants que cette cellule a engendrés en se divisant. Certains produits libérés par les mitochondries et chloroplastes étaient utiles à la cellule, aussi les cellules qui en possédaient « réussirent » mieux à se développer et se reproduire¹². Et c'est ainsi que leur descendant ont donné l'ensemble des animaux et des plantes... Cette histoire est évidemment très schématique, mais elle est juste dans ses grandes lignes. Évidemment les mitochondries et les chloroplastes n'ont pas été absorbés par la même « cellule originelle » (ce hasard serait invraisemblable vu la faible probabilité de l'évènement). Les deux absorptions sont donc arrivées successivement. Vu que les animaux ont des mitochondries et pas de chloroplastes et que les plantes ont les deux, l'histoire la plus probable est celle présentée dans le dessin ci-après.



D'après Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

L'ancêtre des eucaryotes a d'abord absorbé une bactérie qui en s'adaptant à la vie à l'intérieur de la cellule est devenue une mitochondrie. Les animaux sont tous des descendants de cette cellule. Puis un jour, une des cellules descendantes a absorbé une algue unicellulaire, qui à la longue a donné les chloroplastes, (et toutes les plantes sont des descendantes de cette cellule.)

¹² C'est ce qu'on appelle un « avantage évolutif ». C'est ce qui permet d'expliquer le très grand succès évolutif des descendants de cette cellule : on voit bien que les plantes et les animaux représentent aujourd'hui une part importante du vivant !

Conclusion et hommage à Margulis

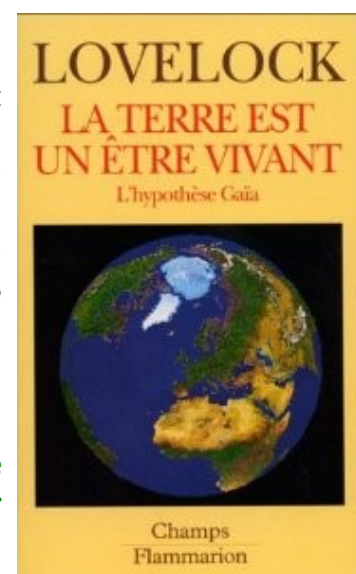
Racontée ainsi et dans le contexte des symbioses présentées précédemment, cette histoire (je l'espère) semble logique. Mais ne perdons pas de vue qu'il fallait un esprit d'une liberté remarquable pour imaginer l'impensable quand tous les scientifiques le croyaient impossible. Les multiples preuves issues de la génétique et des progrès de la biologie cellulaire (les chloroplastes et mitochondries contiennent de l'ADN qui est très proche de celui des bactéries) sont venues après la controverse. Margulis avait dû batailler sur un « faisceau de présomptions » et a ainsi assis l'idée que nous pouvons être le résultat de l'imbrication de différents microbes. Cette idée a fait son chemin et s'est révélée largement exacte. On sait aujourd'hui que l'intestin humain contient 500 à 1000 espèces de bactéries qui sont 10 fois plus nombreuses que la totalité des cellules de notre corps. Elles digèrent des éléments que nous serions incapable de dégrader, synthétisent des composés qui nous sont utiles même si l'ensemble des interactions est encore mal connu.¹³ L'idée que nous sommes un organisme « indépendant » a donc de moins en moins de sens... nous dépendons des microbes qui vivent à l'intérieur de nous pour nous nourrir, et ces microbes sont bien plus nombreux que nos cellules. Où est l'indépendance dans tout cela? **La vie est une toile d'interdépendances que, dans une démarche en permaculture, on imite en créant le plus de liens possibles entre les différents éléments d'un design.**

Hypothèse Gaïa et successions végétales

Je voudrai évoquer ici l'hypothèse Gaïa, non pour l'expliquer en détail car son degré de validité est encore une énigme, mais parce qu'elle est représentative d'une tendance générale de la pensée écologique. Cette hypothèse a fortement marqué Bill Mollison et sa pensée de notre relation au vivant et à l'univers. L'audacieux James E. Lovelock, publie son hypothèse en 1974, en collaboration avec la non moins audacieuse Lynn Margulis (voir plus haut). Leur idée est que la biosphère prise dans son ensemble se comporterait comme un être vivant, régulant son « milieu interne » (l'atmosphère et les sols) de manière à maintenir des conditions favorables à la vie.

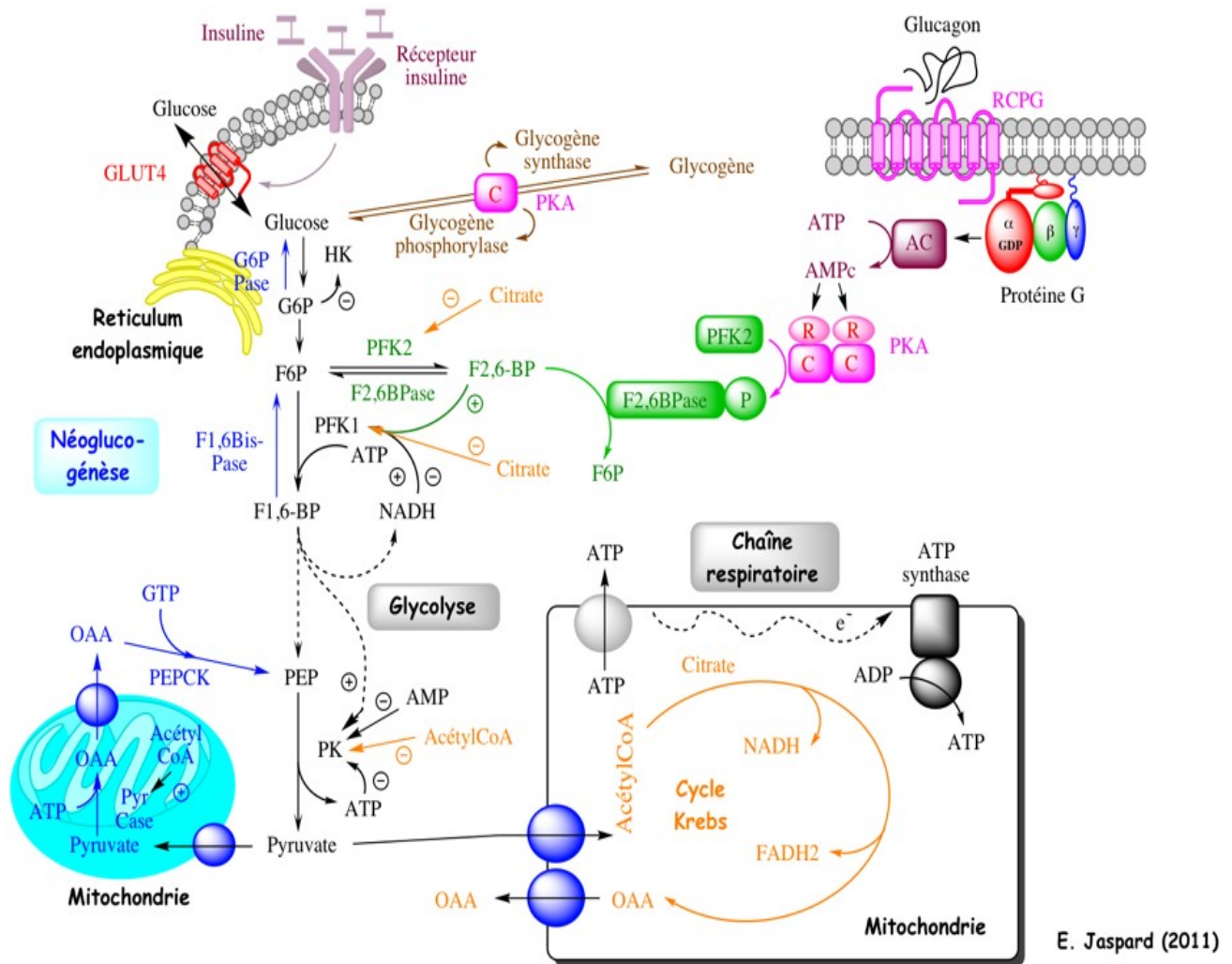
Un des concepts clés de cette hypothèse est l'**homéostasie, c'est à dire la capacité de chaque organisme à réguler son milieu interne pour maintenir ses cellules dans de bonnes conditions de fonctionnement.**

Concrètement, quand vous sortez de chez vous en hiver, la température extérieure passe de 17°C (si vous chauffez votre maison comme un permaculteur) à 0°C (si c'est un jour où il fait suffisamment froid pour l'exemple). Cependant, la température à l'intérieur de votre corps reste rigoureusement constante (en supposant que vous n'êtes pas en train d'attraper la grippe). Ceci n'est possible que grâce à un ensemble complexe de mécanismes internes qui régulent la température. De même, peu de personnes se rendent compte à quel point il est extraordinaire de pouvoir manger des chips ou du miel ! En effet les chips sont très salées, le miel très sucré, ce qui fait qu'aucune bactérie n'est capable de s'y développer. Toute cellule qui se trouve dans un milieu très salé ou très sucré perd son eau par osmose et meurt. C'est pour cela que les chips et le miel ne moisissent pas. Ce sont des milieux « hostiles à la vie ». Quand on les mange, cela constitue une sorte de « choc », le corps doit réguler ce fort apport de sucre ou de sel pour que ses cellules n'en souffrent pas. A l'inverse, si on ne mange pas de sucre pendant longtemps, le



13p 659 Campbell

corps dispose de nombreuses boucles de régulation pour maintenir un niveau de sucre minimum dans le sang, sous peine de « tomber dans les pommes » lors d'une crise d'hypoglycémie car le cerveau est très exigeant en sucre.



Ci-dessus, un schéma simplifié (!) de l'homéostasie pour le glucose (régulation du niveau de sucre dans le sang).

On voit que l'homéostasie est un phénomène complexe qui fait jouer un grand nombre de boucles de rétroaction. Ce processus est indispensable à la vie. Il est étudié en détail et assez bien connu chez les humains et chez de nombreux organismes complexes.

Mais si l'homéostasie est clairement définie pour un organisme, son sens concernant un ensemble d'organismes vivants est beaucoup moins net. Parler d'homéostasie au sein de la biosphère suppose une action coordonnée de différents organismes appartenant à différentes espèces. Il paraît difficile d'imaginer la même coordination entre les pingouins et les vers de terre qu'entre notre foie et notre rein ! Pourtant il est bien connu que les différentes espèces de la faune du sol « collaborent » dans la dégradation de la matière organique morte.



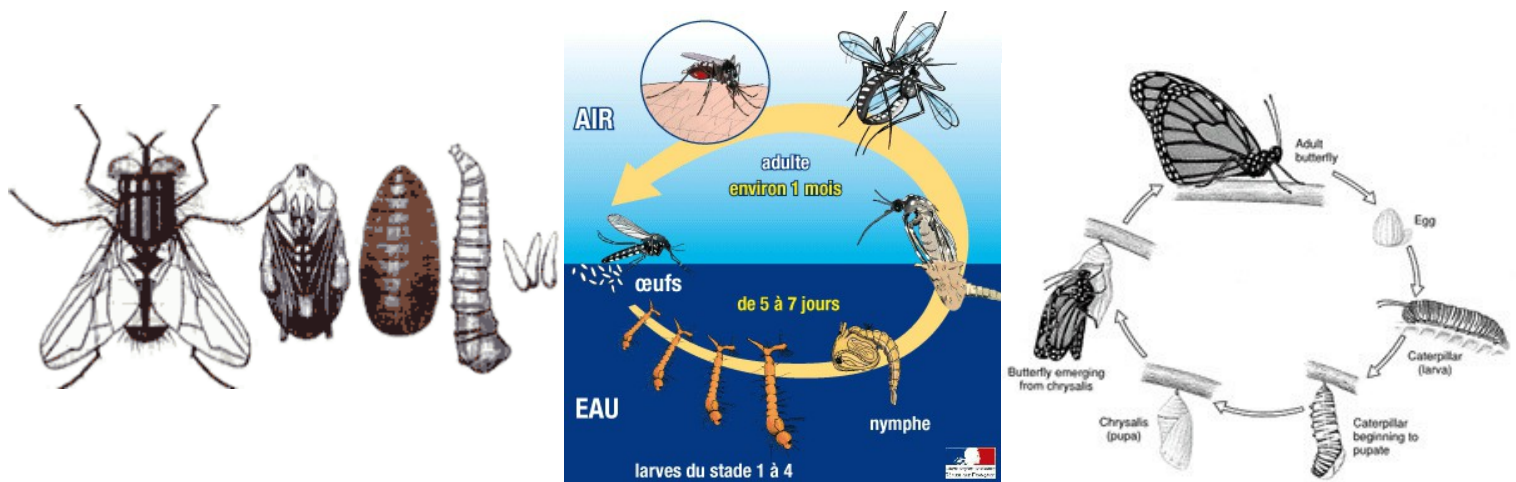
L'argumentation de Lovelock ne se situe pas au niveau des interactions entre espèces, mais au niveau mondial à l'échelle des temps géologiques. Il met notamment en avant que **l'atmosphère de la Terre a été « produite » par les être vivants**. Sans la vie, l'atmosphère de la Terre serait proche de celle de Vénus et Mars, les deux planètes les plus proches de la notre. **La présence de certains gaz dans notre atmosphère, en premier lieu le dioxygène, est une conséquence directe de l'action des être vivants. On sait également que la biosphère continue d'avoir une action importante sur la composition de l'atmosphère (entre autre par absorption de CO₂).** Tous ces faits sont reconnus par l'ensemble de la communauté scientifique, mais Lovelock va plus loin. Pour lui, le fait que la température à la surface de la Terre soit restée de tout temps compatible avec la vie depuis des milliards d'années alors que l'activité solaire a fortement varié, ne peut pas être expliqué par le hasard. Il propose que les êtres vivants (notamment le plancton) ont adapté la composition de l'atmosphère par rapport à la variation de l'activité solaire de manière à permettre le maintien de la vie sur Terre !

Cette hypothèse a été étonnamment peu étudiée, probablement en raison de ses implications philosophiques. Son appropriation par le mouvement « new age »¹⁴ n'a probablement pas joué en sa faveur auprès de la communauté scientifique. Elle est néanmoins aujourd'hui présentée comme une hypothèse importante dans les manuels d'écologie les plus sérieux. Elle a nettement influencé les avancées scientifiques des dernières décennies. L'idée d'un « système Terre » auto-régulé où biosphère, lithosphère, atmosphère et océan sont étroitement couplés par un ensemble d'interactions et de rétroactions est aujourd'hui largement acceptée. Cette vision est à la base de modèles globaux extrêmement complexes, principalement utilisés dans l'étude du réchauffement climatique. Peu de scientifiques reprennent la formulation de Lovelock « la Terre est un être vivant », mais le terme d'homéostasie est aujourd'hui largement utilisé pour caractériser la capacité d'un écosystème à se maintenir en « absorbant » des perturbations. Nous allons voir que Lovelock n'est pas le premier à généraliser nos connaissances du fonctionnement des organismes pour les appliquer à des écosystèmes.

14 Courant spirituel occidental développé au XX^{ème} siècle, notamment aux Etats-Unis. Il s'inspire de multiples spiritualités orientales et autres. Le new-age recherche des modes de vie en harmonie avec la nature. Il considère l'hypothèse Gaïa comme vraie et en fait une lecture spirituelle.

Successions écologiques: Clements, puis Tansley, vers une théorie mature

La notion de succession écologique est un des concepts d'écologie scientifique qui a été intégré par la permaculture. Comme pour l'hypothèse Gaïa, l'idée centrale est d'appliquer les concepts de biologie bien connus au niveau d'un organisme à une communauté d'organismes. Concernant les successions écologiques, il ne s'agit plus de l'homéostasie mais du développement. Les êtres vivants se développent selon un schéma très précis, déterminé par le « pool génétique » de leur espèce. Pour l'humain : cellule œuf, différents stades de l'embryon, bébé, enfant, adolescent puis adulte. Cette succession est immuable et programmée. Les stades successifs du développement peuvent être plus surprenants chez certains insectes chez qui l'adulte ne ressemble pas du tout au « bébé ». Ces insectes sont appelés « holométaboles », ce qui signifie « qui se métamorphosent complètement. » Les coléoptères (ex : charançon), diptères (mouches et moustiques), les hyménoptères (fourmis, abeilles, guêpes) et les lépidoptères (papillons) sont des insectes à métamorphose complète. Ils passent souvent par différents stades larvaires, chaque mue engendrant une larve plus grosse (« gros vers blanc », chenille). La mue du dernier stade larvaire est en fait une première métamorphose qui donne une nymphe (appelée aussi pupa ou chrysalide selon l'espèce). La nymphe, immobile vivant sur les réserves accumulées lors du stade larvaire, effectue une seconde métamorphose qui donne un adulte, papillon ou moucheron ou autre, qui n'a rien à voir avec la forme de la larve initiale.



Cycle de développement de quelques holométaboles

L'idée d'un développement par étapes successives impliquant une transformation complète des êtres concernés a été transférée à l'étude des communautés végétales. Nous allons voir comment.

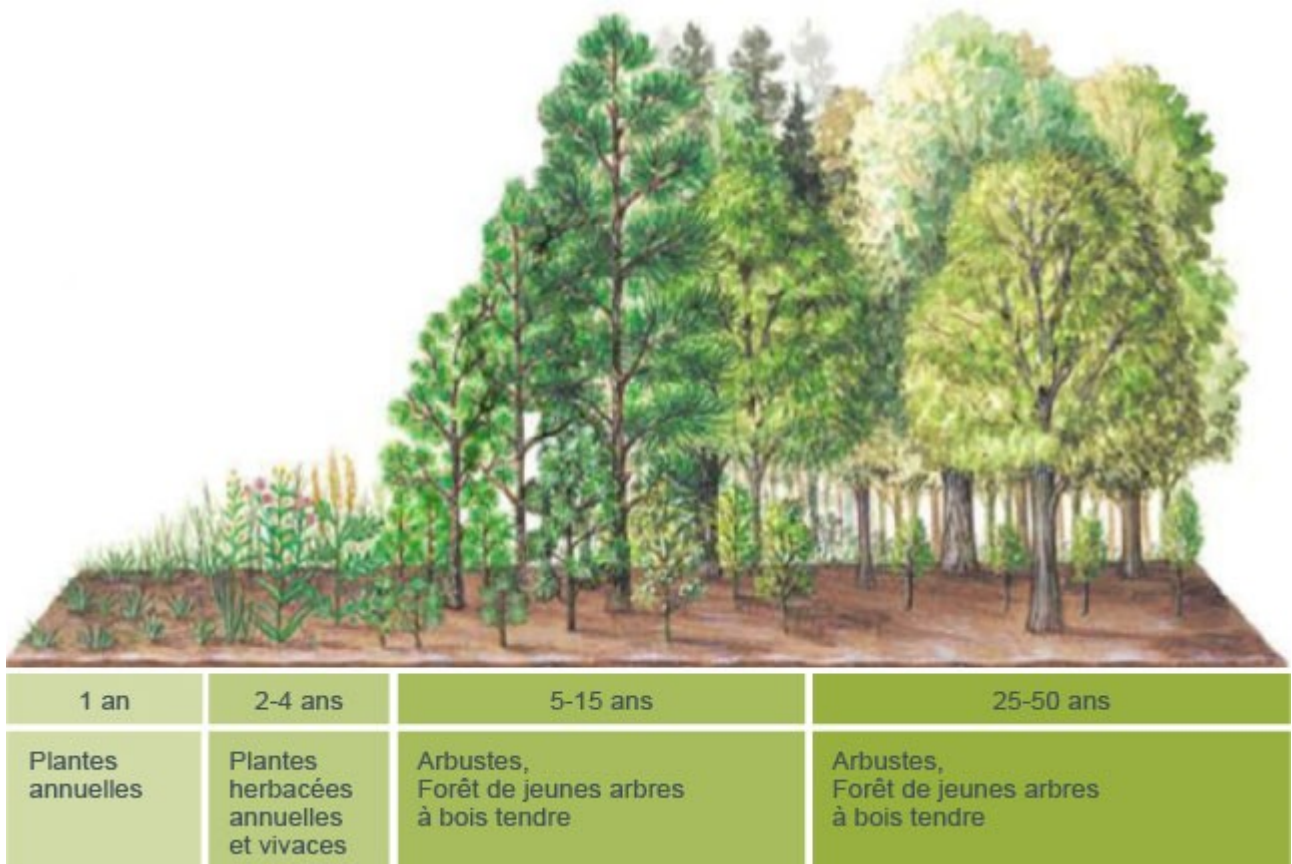
En 1916, Frederic E. Clements publie sa théorie des successions végétales¹⁵, qui défend qu'une communauté végétale se transforme en évoluant vers un « état adulte » appelé « climax » selon le même type de développement que les insectes. Ainsi, même si le stade initial (prairie) n'est en rien comparable avec la communauté végétale stable qui s'installe après une longue évolution, le stade final serait déjà programmé dès le début de l'évolution. Le climax, étant complètement déterminé par les conditions climatiques, représenterait un unique « état adulte » de l'écosystème. Aussi Clements et ses successeurs considèrent que la communauté végétale est un organisme vivant, régi par des règles du même ordre que celles qui s'appliquent aux animaux :

¹⁵ Une idée n'est jamais celle d'une personne... avant lui Henry Chandler Cowles, en 1899 avait publié d'importants travaux sur les successions végétales. La vision de Clements a été reprise et défendue ensuite par John Phillips, entre autres.

« *The developmental study of vegetation necessarily rests upon the assumption that the unit or climax formation is an organic entity. As an organism the formation arises, grows, matures, and dies... Furthermore, each climax formation is able to reproduce itself, repeating with essential fidelity its development.* » Clements, 1916

Difficile de ne pas voir là une grande similitude avec l'hypothèse Gaïa !

La vision de Clements a été rapidement et fortement critiquée par la communauté scientifique. Henry Gleason, notamment, défend en 1920 que les associations de plantes se font largement au hasard. En 1935, Tansley (botaniste et écologue créateur du terme « écosystème ») souligne que « l'organisation dans une association de plantes complexes et matures est quelque chose de tout à fait réel. »¹⁶ mais que le parallèle avec le développement animal est excessif et qu'on ne peut pas considérer une communauté de plantes comme un organisme, mais au mieux comme un « quasi-organisme ».



Exemple de succession végétale présentant les différents stades d'évolution de la friche vers la forêt tempérée, climax naturel à nos latitudes.

Nous avons maintenant presque un siècle de recul sur ces réflexions. Le temps et les travaux scientifiques ont permis d'éclaircir ces questions. Il est apparu que le concept de succession est essentiel en écologie scientifique et qu'il s'applique à de nombreux cas : recolonisation d'une plaine par la forêt, établissement de la vie sur la lave et les cendres après une éruption, installation d'une communauté de plantes sur le sol vierge laissé par le recul d'un glacier, ou même dégradation progressive du sol et de la végétation suite à une déforestation, qu'on appelle alors « succession régressive. » Malgré l'utilité du concept, la formulation initiale qu'en donnait Clements apparaît aujourd'hui excessive et dogmatique. En effet, pour appuyer le fait que

¹⁶ Tansley 1935, *Use and abuse of vegetational concepts and terms*

l'ensemble d'une communauté végétale *constitue un organisme vivant*, elle supposait que son développement est régi par des règles aussi strictes que celui d'un animal. De plus, Clements soutenait qu'il existe un seul Climax par climat. Cette supposition est en contradiction avec les faits constatés depuis dans les écosystèmes naturels. Par exemple, on a la certitude que le « climax » n'est pas unique pour un climat donné mais qu'il dépend également du type de sol sur lequel se développent les plantes. Il s'agit de l'état d'équilibre stable dans lequel une communauté végétale se maintient après différentes évolutions, et en ce sens il est comparable à un état « adulte » de la communauté végétale. Mais le fait qu'un même écosystème, dans des conditions climatiques similaires, puisse évoluer vers différents états d'équilibres est contraire à la théorie excessive de Clements. Comme si une larve d'insecte pouvait donner un adulte d'une autre espèce après métamorphose !!! Les « lois » qui régissent l'évolution des communautés végétales ne sont donc pas du même ordre que celles qui régissent la croissance des organismes animaux.

La vision de Clements a marqué la communauté scientifique, et permis au concept de succession écologique de s'établir comme une notion fondamentale de l'évolution des écosystèmes. Mais au cours de sa généralisation, sa vision initiale, « un ensemble de plantes est un organisme vivant », a été nuancée et corrigée. Les « successions » telles que pensées par les écologues actuels sont bien plus souples que celles décrites par Clements.

Il se peut que la théorie de Lovelock, « la Terre est un être vivant », subisse le même type de transformations que la théorie de Clements. On peut s'y attendre au vu des évolutions actuelles des approches systémiques de la biosphère et du système Terre qui reprennent l'idée initiale tout en la nuancant et sans reprendre sa formulation « provocatrice ». **Sans doute est-il nécessaire que des esprits libres formulent une « idée » choc qui sera nuancée par leurs successeurs mais aura permis la prise en compte d'une réalité jusque là ignorée ... Je me demande à quel point cette réflexion s'applique à la permaculture telle que formulée par Bill Mollison et David Holmgren.**

Troisième partie : discussion de certains principes d'écologie utilisés en permaculture

Permanence dans la nature

Le mot « permaculture » vient de l'idée d'une agriculture permanente¹⁷ et a évolué vers celle d'une culture de la permanence. En opposition au développement exponentiel de l'économie et de l'impact humain, au-delà de l'idée d'un développement « durable », le terme « permanent » est la marque d'une exigence éthique toute particulière : aucune dégradation pérenne de l'environnement, si lente soit-elle, n'est alors acceptable. Seule la méthode du vivant peut faire face à cette exigence : agrader son environnement, c.à.d. améliorer son biotope tout au cours de sa vie et après sa mort par sa propre décomposition : c'est ce que font les arbres, les plantes et un grand nombre d'animaux, voir la totalité du vivant si on suit Lovelock vers l'hypothèse Gaïa (voir plus haut). Dans cette perspective, on pourrait approcher la permanence par la question : « Et si nous devions vivre 10 000 ans ici, notre mode de vie serait-il viable sur cette durée ? » La question de la permanence est d'abord une question éthique, mais on voit que pour lui trouver une réponse, j'ai été tenté « d'abrégé » l'éternité en 10 000 ans... En effet, l'idée d'une permanence absolue se heurte à l'absurdité de la notion d'éternité de notre situation¹⁸ ainsi qu'à l'aspect hautement anti-naturel d'une situation figée dans un état permanent¹⁹ et qui n'évolue pas. Nous allons voir que seule la transformation est permanente ! Dans la nature comme en permaculture, la permanence ne peut être qu'une capacité d'évolution importante pour s'adapter à un environnement en transformation permanente avec, de plus, une forte résilience. Ce sont ces caractéristiques qui ont permis une permanence du vivant à travers tous les changements naturels.

Un environnement en transformation permanente

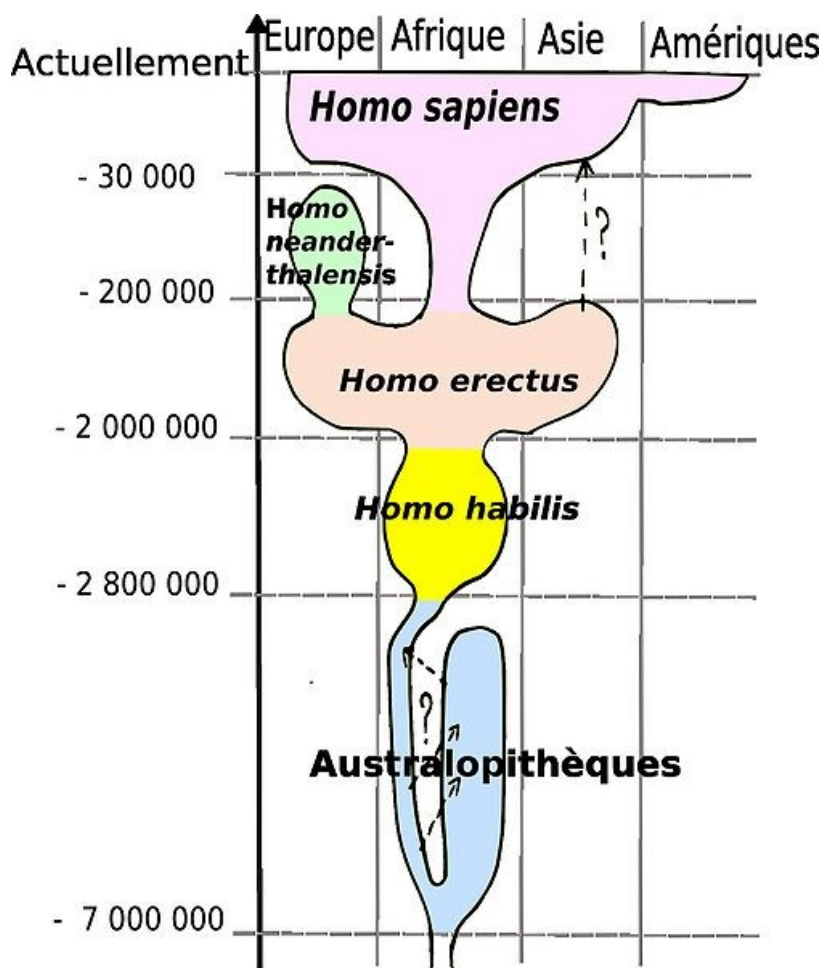
La vie a toujours eu à s'adapter à de fortes modifications de son environnement. Lorsqu'elle est apparue, il y a plus de 3,5 milliards d'années, l'atmosphère était très riche en CO₂ et très pauvre en oxygène. L'absence de couche d'ozone rendait toute vie terrestre impossible en raison des rayonnements ultra-violet qui « bombardaient » la surface. La vie est donc apparue dans l'eau, milieu qui arrête les UV. Environ trois milliards d'années plus tard, l'atmosphère a profondément changé : elle a perdu une grande part du gaz carbonique, la photosynthèse des algues a permis l'accumulation du dioxygène et la formation de la couche d'ozone. La vie conquiert les continents. Les plantes qui n'existaient que dans l'eau « inventent » les racines et les tiges et le bois pour pouvoir vivre sur la terre ferme... Le monde fut rapidement couvert de fougères arborescentes de 40m de haut et prêles géantes qui perdirent du terrain quand les conifères apparurent et recouvrirent la quasi totalité des terres émergées. Puis, récemment (il y a 125 millions d'années environ) les plantes à fleur (angiospermes) virent le jour et avec elles les arbres feuillus. Ces

17 En 1911, Franklin Hiram King qui a été fortement marqué par la stabilité des systèmes agricoles asiatiques et leur capacités à se maintenir à travers les siècles, publie « *Farmers of Forty centuries : Or Permanent Agriculture in China, Korea and Japan* ». L'ouvrage sera étudié par P.A.Yeomans qui le fera connaître en Australie. Bill Mollison et David Holmgren se sont inspirés des travaux de Yeomans sur le design et la gestion de l'eau. Ils prennent connaissance du livre de Franklin Hiram King et forment le mot permaculture en contractant l'expression « permanent agriculture. »

18 le soleil explosera dans 5 milliards d'année, et l'entropie de l'univers est strictement croissante

19 Cette conception « fixiste » du monde était celle de Linné, cette vision irréaliste a été rendue caduque par les travaux de Darwin sur l'évolution et tous ceux qui suivirent. (cf l'introduction de ce mémoire). Gardons néanmoins à l'esprit que de plus en plus américains défendent aujourd'hui l'idée fixiste d'une nature « permanente » créée par Dieu en 7 jours... à chacun de ne pas se tromper de permanence !

derniers ont repoussé les conifères dans les régions au climat difficile (hautes latitudes et montagnes) car ils sont mieux adaptés²⁰. En somme, les conditions de vie sur Terre n'ont jamais cessé d'évoluer et de se transformer radicalement. Mais nous sommes là à des échelles de temps géologique, qu'en est-il pour la période humaine ?



On estime qu'il y a environ 4 à 8 millions d'années, quelques primates qui ressemblaient à de petits singes ou à des lémuriens ont commencé à modifier leur mode de vie et à se dresser sur leurs pattes arrières. Leurs descendants ressemblent à l'idée qu'on se fait des hommes préhistoriques, mi-singe mi-homme. On les appelle Australopithèques. Il y a un million d'années, l'Homo erectus commence à nous ressembler fort. Il confectionne des outils élaborés et découvre l'utilisation du feu. On pense que notre espèce, l'Homo sapiens, est apparu il y a 200 000 ans, on connaît bien sa culture depuis 40 000 ans (homme de Cromagnon). Les analyses de sa physiologie, de ses outils et de ses productions artistiques et religieuses convergent : ces Homo sapiens étaient aussi intelligents, sensibles et humains que nous²¹ !

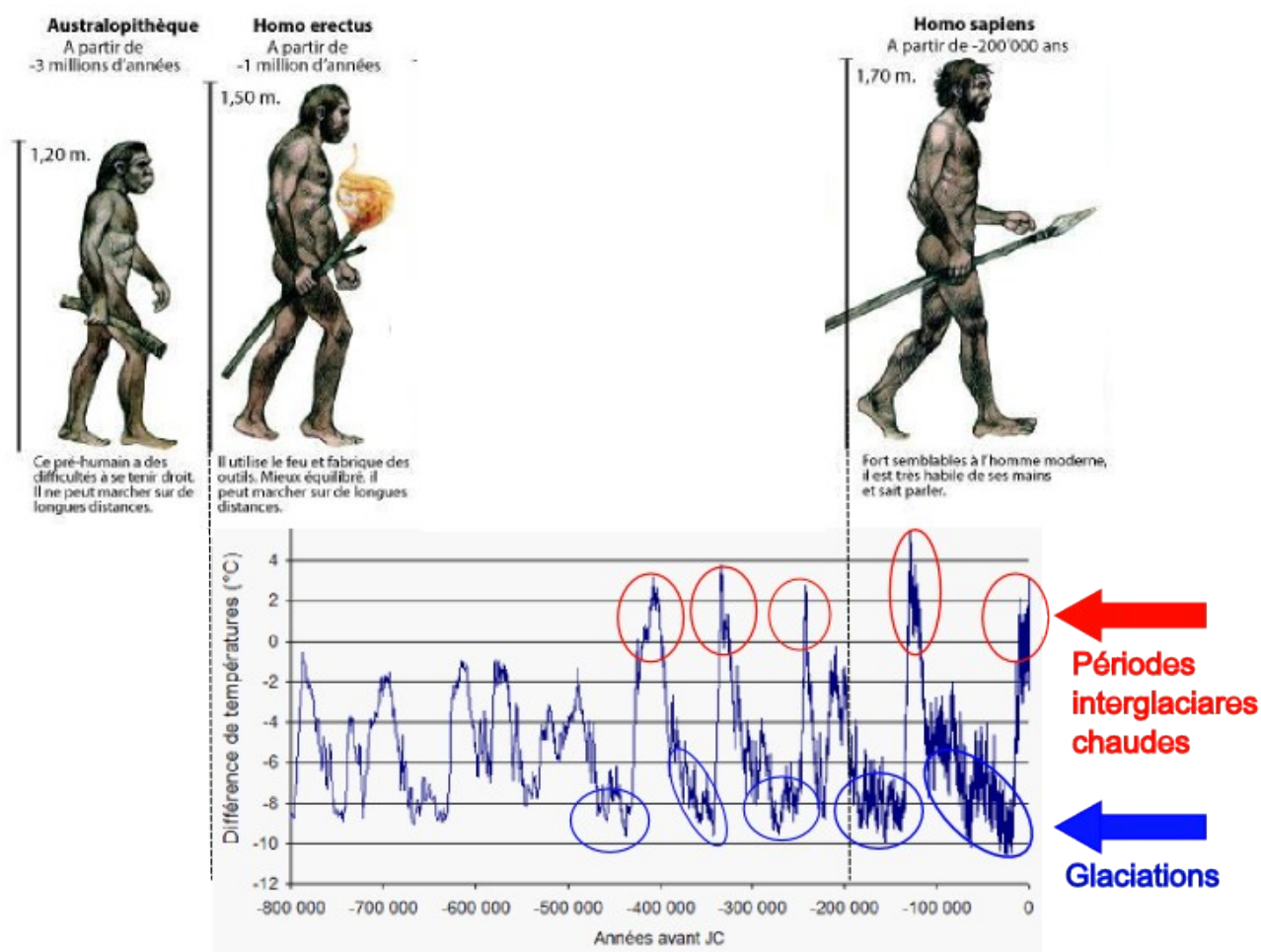
Cela fait donc environ 200 000 ans que nous, les humains, avons à nous adapter aux évolutions de la nature. Et quelles évolutions !

20 Pour les écologues, ils ont une meilleure « fitness », ce qui signifie qu'il ont un meilleur « succès reproductif », notion qui combine la capacité de survie des individus, leur capacité à se reproduire et le taux de survie des descendants. Au global, à chaque génération, les feuillus gagnent un peu de terrain et les conifères en perdent un peu. Il s'agit donc d'une « conquête du monde » à l'échelle des milliers d'années.

21 C'est d'ailleurs ce qui « justifie » le nom de l'espèce. Homo sapiens signifie « humain sage », quelle ironie ! A défaut de sagesse notre espèce est qualifiée par le volume de sa boîte crânienne qui indique le développement de son cerveau.

Notre espèce a du faire face à plusieurs glaciations et déglaciations, comme le montre le graphique ci-dessous qui présente les évolutions de température de l'Antarctique au cours des derniers 800 000 ans (plus précisément, il s'agit de la différence avec la température moyenne des 1000 dernières années)²² En période glaciaire (quand la courbe est en bas vers -8°C) la calotte glaciaire recouvrait le nord de l'Allemagne et la quasi totalité de l'Angleterre et toutes les terres plus au nord. Le niveau de la mer était plus de 100m en-dessous de son niveau actuel. La France était couverte d'une « toundra arctique », sorte de steppe froide et désolée au climat proche de celui de la Sibérie actuelle. Les périodes interglaciaires (au niveau des « pics » sur le graphique, quand le trait est aux alentours de 0), quant à elles, présentent un climat proche de celui que nous vivons aujourd'hui. Ce type de variation est peu compatible avec une idée de permanence. La nature, et notamment le climat est en permanente transformation, et ce bien avant que les activités humaines ne viennent provoquer le réchauffement actuel.²³

L'humanité et les cycles de glaciation et déglaciations



²² [Jouzel, J., et al. 2007, Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years, Science, Vol. 317, No. 5839, pp.793-797, 10 August 2007](#) Disponible sur le site internet ClimObs.

Reconstitution des températures en Antarctique depuis 800 000 ans à partir des carottes de glace issue du site *Dôme C*. Le graphique représente la différence des températures par rapport à la moyenne des 1000 dernières années. Attention, il s'agit bien des températures en Antarctique, qui donnent une bonne indication pour la température globale, mais non une représentation exacte. La température globale a bien connu les cycles visibles sur la figure, mais avec des niveaux de variation légèrement moins prononcés.

²³ Qui est néanmoins avéré, de grande ampleur et très rapide par rapport aux changements climatiques naturels. Il représente une très sérieuse menace pour la biodiversité et les activités humaines durant ce siècle et ceux qui suivront.

La dernière déglaciation (depuis 16 000 ans environ) a considérablement transformé les conditions de vie des humains dont la présence est largement attestée en Europe et en France depuis 40 000 ans (et plus dans une moindre mesure). Le réchauffement a permis à la toundra aride et froide d'être colonisée par de nombreux végétaux pionniers, qui, améliorant les sols, ont permis l'établissement de la forêt. Avant les déboisement considérable du Moyen-Age et de la Renaissance, la forêt recouvrait la quasi totalité de la surface de la France actuelle. C'est ce même réchauffement qui a offert les conditions favorables à l'invention de l'agriculture entre le Tigre et l'Euphrate il y a 10 000 à 8 000 ans. Cette région, souvent dénommée « croissant fertile », proche de l'Irak actuel n'a plus rien de fertile aujourd'hui, mais elle était verdoyante à l'époque.



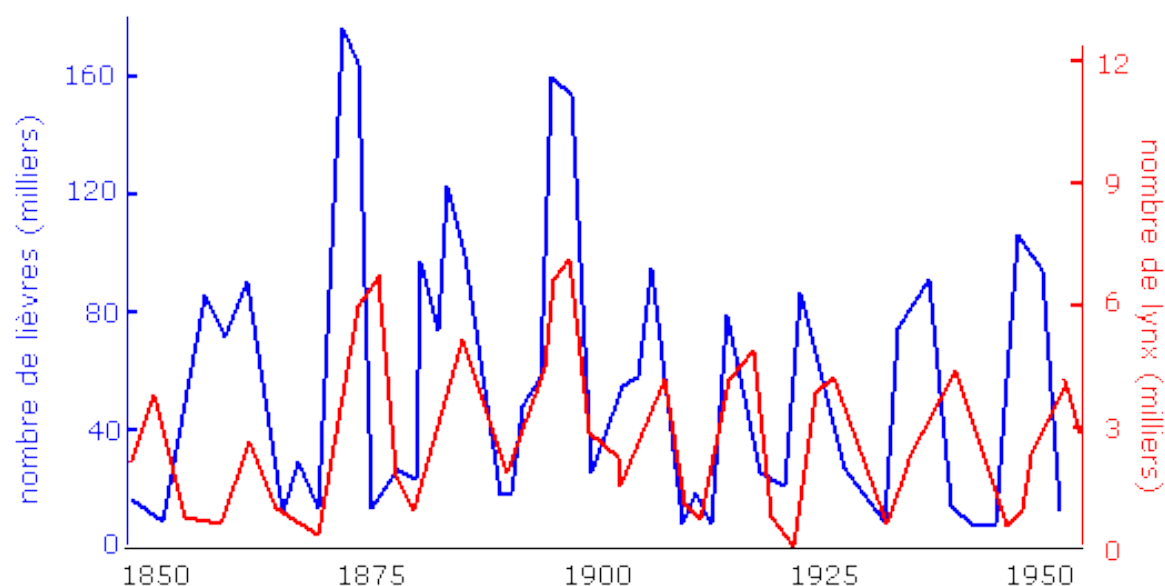
Croissant fertile ou désert ?

On notera de même qu'il y a 6 000 ans (au temps de l'Egypte des pharaons) le Sahara n'était pas un désert mais une zone humide couverte de plantes! On voit que des changements importants peuvent se dérouler sur des périodes relativement courtes du point de vue historique, mais qu'en est-il à l'échelle d'une vie humaine ?

Stabilité, diversité et résilience des écosystèmes

On indique parfois, lors des cours de permaculture, que les techniques de jardinage naturel (non travail du sol, aucun traitement phytosanitaire ni engrais de synthèse, paillage, rotation des cultures, choix de variétés anciennes, herbacées pérennes et arbres au potager ...) visent à recréer un écosystème stable où les maladies et les ravageurs seraient contrôlés par leurs prédateurs naturels, la diversité étant présentée comme un gage de stabilité.

Cette vision, juste dans une large mesure, doit être nuancée par l'examen d'un certain nombre de faits écologiques. L'idée qu'un écosystème équilibré par la présence de prédateurs naturels, soit protégé des pullulations de ravageurs semble excessivement optimiste. En effet, on connaît de nombreuses évolutions cycliques de populations de proies en « équilibre » avec leurs prédateurs. Le modèle de « Lodka-Volterra » basé entre-autre sur l'analyse des pics de populations de Lynx et de lièvres en baie d'Hudson, montre qu'un « équilibre proie prédateurs » n'est pas une situation stable et figée, mais une succession cyclique de pics de population et de forte diminution sur quelques années. Dans le grand nord canadien le maximum de densité du lièvre est atteint tous les dix ans avant de s'effondrer à une valeur de l'ordre du dixième de sa population maximale.



Variation d'abondance des populations de lièvre variable et de lynx dans le Grand Nord canadien. (D'après Mac Lulich, in Odum, *op. Cit*, 1959, p 193)

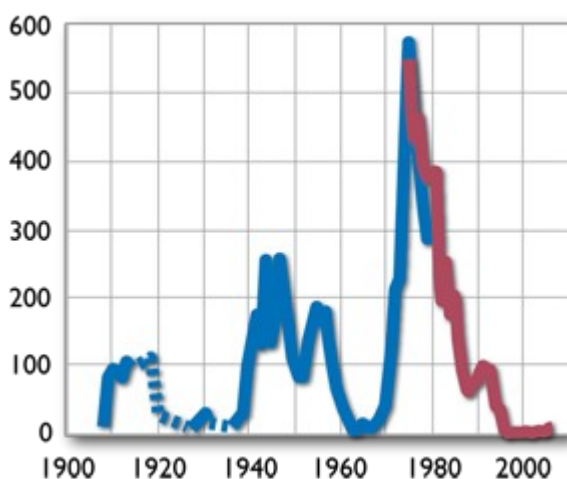
Résilience plutôt que stabilité : Pullulations naturelles de ravageurs

Certains rongeurs et insectes peuvent causer des dégâts dans les cultures. Ceci a justifié l'emploi quasi systématique d'insecticides et de procédés d'extermination des campagnols. **La permaculture, à l'opposé de ces pratiques, est en recherche d'un équilibre avec ces « ravageurs » avec qui l'on choisit de partager notre production. Néanmoins, on n'est pas à l'abri de pullulations ponctuelles de grande ampleur comme le montrent les deux exemples suivants :**

La tordeuse des bourgeons de l'épinette



Dans l'Est du Canada et des États-Unis, certains parasites des grandes forêts de conifères ont causé plus de destruction que les incendies de forêt entre 1960 et 1980. Une chenille, la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) ou Spruce budworm est la cause de défoliations massives (des dizaines de millions d'hectares) sur plusieurs années qui peuvent causer des dépérissements importants. Il apparaît que cette espèce pullule tous les 40 ans environ²⁴. Cette perturbation de l'écosystème forestier est considérée comme naturelle car elle était déjà connue dans les siècles passés. La question est néanmoins posée de savoir si le réchauffement climatique est la cause de l'augmentation de l'intensité des pics de pullulation.



Milliers de km² de défoliation modérée à sévère due à la tordeuse de l'épinette, de 1909 à 2007

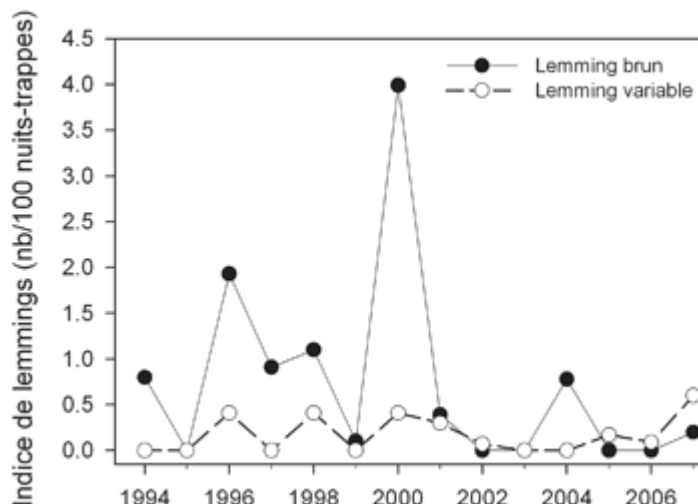
Ces pics de population d'un ravageur nuisent nettement aux activités humaines de production de bois, alors qu'ils ont lieu dans un écosystème naturel « équilibré », la forêt. Il est néanmoins remarquable que ces pullulations aient lieu dans des écosystèmes peu diversifiés. Sans être des monocultures, les grandes forêts de conifères du nord sont pauvres en espèces en comparaison à d'autres milieux. De plus, les pullulations sont plus importantes dans les forêts ininterrompues de sapin baumier (*Abies balsamea*) et d'épinette blanche (*Picea Glauca*). On voit donc que la diversité apporte de fait une plus grande résilience alors que les grandes cultures pauvres en espèces sont les plus vulnérables.

²⁴ <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=En&n=5DBC0BDD-1&offset=2&toc=show>

Si le cas de la tordeuse de l'épinette est un de ceux ayant le plus fort impact, ce type de pullulations n'est pas rare. Par exemple, en Europe, les pullulations de hannetons (*Melolontha melolontha*) surviennent tous les trois ans avec une régularité assez remarquable. La tordeuse du mélèze, en Suisse, présente une période de latence de 10 ans entre deux pullulations successives. Les lemmings, en Scandinavie et en Alaska pullulent tous les 4 ans en moyenne, ce qui entraîne une pullulation décalée dans le temps des prédateurs de ces rongeurs.

Tous ces exemples nous montrent que la notion « d'écosystème stable » est toute relative et que les fluctuations des populations naturelles sont importantes. Les années qui se suivent ne se ressemblent pas. Aussi la meilleure stratégie pour une permaculture n'est pas tant de rechercher « un parfait équilibre » que de développer une grande résilience pour traverser les déséquilibres sans problème majeur.

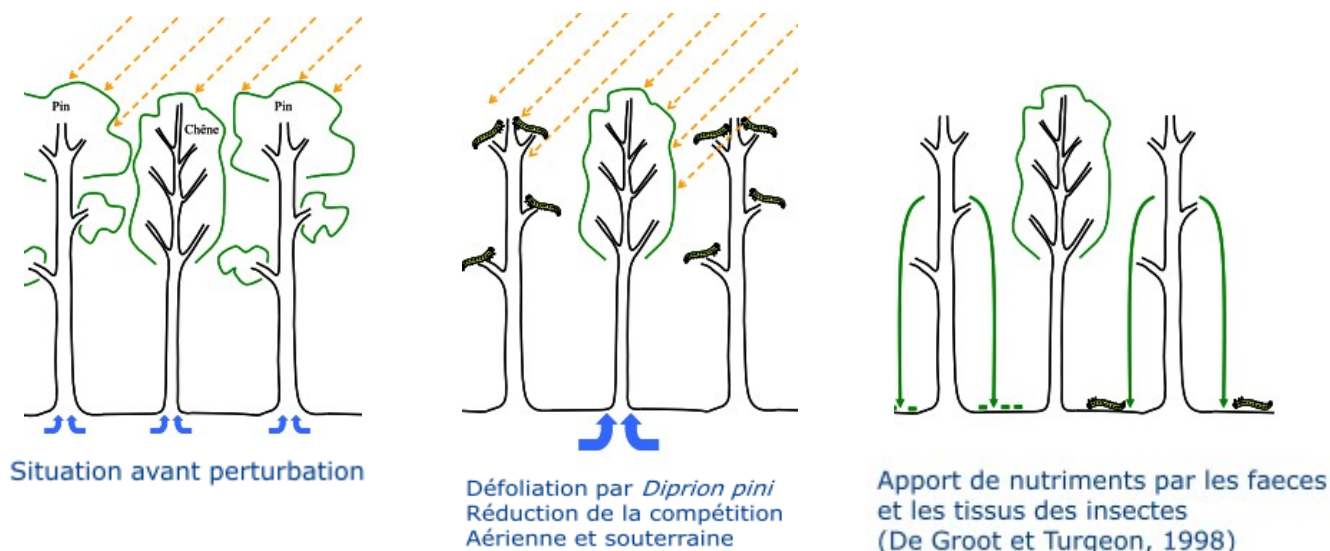
Abondance de Lemmings bruns et variables
Vallée Qarlikturvik, Île Bylot (1994-2007)



Diversité et résilience : exemple d'une forêt de chêne et de pin

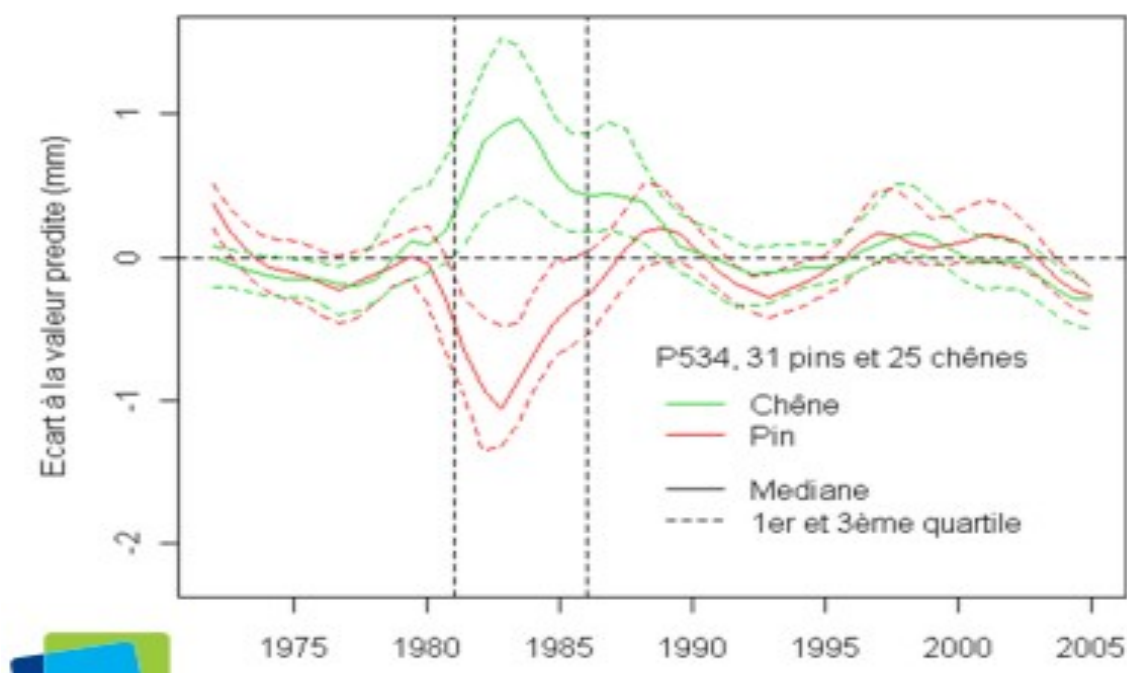
La diversité est une des bases de la résilience. Ceci est vrai tant pour la diversité des espèces cultivées, que pour la diversité génétique au sein d'une espèce qui permet son évolution ou que dans le cas des activités économiques humaines. La stratégie permacole adaptée est donc de diversifier au maximum notre espace, dans ses usages, dans les espèces et variétés utilisées. Cette diversité amortira les effets de pullulations de ravageurs qui sont des phénomènes naturels. De plus, **une production fortement diversifiée permet d'accepter de perdre une espèce certaines années, car les autres productions assurent « le minimum » et peuvent même dans certains cas compenser les pertes** comme le montre cet exemple documenté par Patrick Vallet de l'IRSTEA.

Dans une forêt mélangée de chêne sessile et de pin sylvestre, les dommages causés aux pins lors d'une attaque de ravageurs (*Diprion pini*) ont été compensés à 70% par une meilleure croissance des chênes. En effet, ces parasites qui ont pullulé dans le massif de Lorris au début des années 1980 n'attaquent que les pins et pas les chênes. Ces derniers ont bénéficié de plus de lumière du fait de la défoliation des pins. De plus, les pins sans aiguilles ont capté moins d'eau et de nutriments dans le sol et les chênes ont pu en bénéficier. Les excréments des parasites ont également apporté de nombreux nutriments au sol qui ont favorisé la croissance des chênes.



Le résultat est impressionnant ! On voit que le surplus de croissance des chênes (en vert ci-dessous) est presque le symétrique du déficit de croissance des pins (en rouge). Cet exemple simple montre comment la combinaison de deux espèces écologiquement très différentes apporte une grande résilience au système. Avec un grand nombre d'espèces, les possibilités de complémentarités sont démultipliées au point qu'on est incapable de les distinguer et de les comprendre toutes. Néanmoins on voit bien qu'en généralisant cet exemple on retrouve le principe général selon lequel la diversité est la base de la résilience des écosystèmes.

• Compensation de croissance



Conclusion

Nous avons vu, dans cette dernière partie, que la réputée stabilité des écosystèmes est mise à mal par des fluctuations importantes de certaines populations à l'échelle de quelques années et par des transformations profondes et irréversibles du biotope à l'échelle des millénaires. Il reste néanmoins que **des écosystèmes se maintiennent sur des territoires donnés pendant des durées relativement longues. Cette stabilité faite d'oscillations de faible amplitude autour de valeurs moyennes est bien représentée par les populations d'arbres dominant dans les forêts primitives.** Pourtant, même au sein des forêts « naturelles » qui peuvent sembler immuables, des changements invisibles s'opèrent. La diversité génétique de nos chênes est invisible à l'oeil humain. Pourtant, son analyse montre que les chênes d'aujourd'hui sont les descendants de ceux qui ont survécu au petit âge glaciaire (période froide du XIV^{ème} au XIX^{ème} siècle). Ils ont donc été sélectionnés pour leur résistance au froid. Ceci ne fait pas d'eux des champions de l'adaptation au réchauffement climatique ! A tel point que l'ONF et de nombreux chercheurs de l'INRA s'interrogent sur le futur de nos forêts. Il se pourrait que d'ici la fin du siècle, le hêtre et le chêne sessile aient quasiment disparu de France (car ils remontent vers le nord) et que le chêne vert couvre la majeure partie du territoire. Ceci reste très incertain, mais **la remontée du chêne vert vers le nord et le dépérissement de certains peuplements de hêtres sont déjà observés.**

Les forestiers, obligés de penser à l'échelle du siècle du fait du temps de croissance des arbres se posent des questions qui gagneraient à se généraliser à l'ensemble de la société. Le réchauffement climatique anthropique est aujourd'hui une certitude et il est probable que son ampleur et sa vitesse seront sans précédent. Le détail de son évolution est totalement imprévisible, si ce n'est que **« le changement climatique ne va pas arrêter de changer. » Cette perspective est essentielle pour les permaculteurs qui passent beaucoup d'énergie à planter des arbres. L'enjeu de décennies à venir n'est pas de tendre vers une improbable stabilité mais de développer la capacité d'adaptation et de résilience au changement.** Ceci s'applique bien sûr à nos plantations et au changement climatique, mais tout autant à nos modes de vie et d'organisation face aux bouleversements probables de la société. Pour cela, favoriser en toute chose la diversité doit devenir une attitude naturelle.

Nous n'avons que trop sacrifié à l'efficacité les bizarres, les tordus et autres faiblement productifs. Actuellement, les « champions des rendements » de tous ordres sont fortement menacés par les évolutions en cours. Le choix est donc de continuer à viser « le sommet » et à avancer de plus en plus artificiellement jusqu'à l'effondrement, ou simplement de regarder la nature et de suivre les techniques qui ont permis à la vie de se maintenir et de s'épanouir dans le chaos mouvant des conditions d'existence à la surface de notre planète. Dans la nature, pas besoin d'être le meilleur ou de s'améliorer toujours, il suffit d'être viable. Les espèces les plus spécialisées se sont éteintes lors des grandes crises biologiques alors que les espèces généralistes survivaient beaucoup mieux. Il y a là des leçons à tirer. **La diversité, de ressources, d'habitat, de mode de vie, est une fois de plus la clé de la résilience.**