

## **Diversité des paysages et paysages de la biodiversité**

Le paysage est l'expression visuelle, à la surface de la terre, d'une combinaison dynamique entre la nature, les techniques et la culture des hommes. Les formes du relief, le réseau hydrographique, la végétation, l'habitat et le réseau routier composent les éléments de base du paysage ; ils s'intègrent dans l'espace en une mosaïque d'unités homogènes par leur couleur, leur forme, leur nature ou leur texture, qui sont visuellement distinctes les unes des autres.

### **La diversité à diverses échelles**

La perception que l'on a du paysage change avec l'échelle d'observation.

Au 1/100 000 ou au 1/50 000, échelles couramment restituées par les images des satellites à haute résolution comme Spot, ne sont perceptibles que les unités paysagères les plus vastes comme les versants de la chaîne centrale de la Grande Terre, les plaines littorales de la côte ouest et les petites montagnes côtières qui leur sont adjacentes.

Les échelles 1/25 000 et 1/10 000 couramment restituées par la photographie aérienne permettent une approche plus fine du paysage en mettant en évidence des unités paysagères plus petites, emboîtées dans les précédentes, comme les villages ou les étendues cultivées de la plaine littorale.

Les échelles inférieures au 1/5 000 qui correspondent au champ de vision humain autorise une approche encore plus détaillée allant jusqu'à l'identification des types de cultures et des types de formations végétales naturelles.

### **Structure du paysage et diversité**

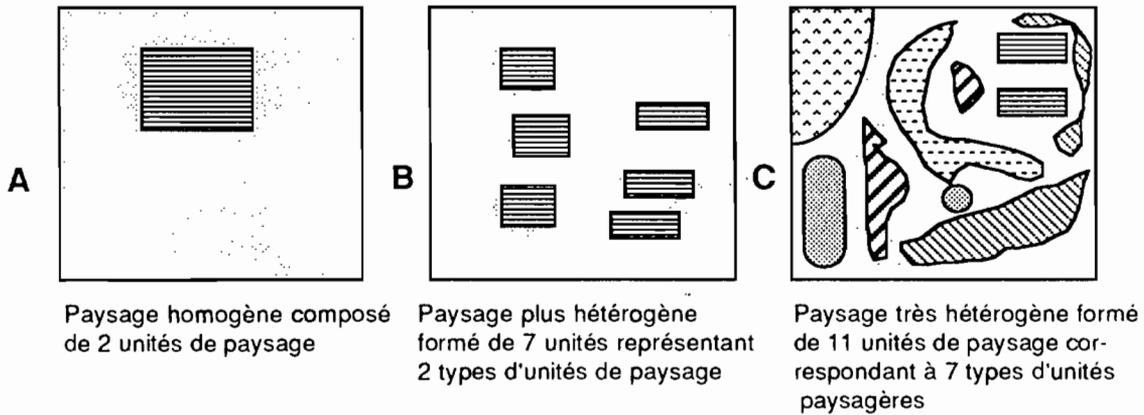
La diversité d'un paysage et par extension la diversité des êtres vivants qui le peuple (puisque le paysage est à la fois produit et responsable des conditions de vie de ces derniers) vient de son hétérogénéité visuelle ; celle-ci dépend de cinq facteurs :

- la diversité des unités paysagères ;
- la superficie relative occupée par chaque type d'unité paysagère;
- le degré de fragmentation de chaque type d'unité paysagère, un excès de fragmentation peut nuire à la biodiversité lorsque la superficie des unités de paysage est trop faible (en règle générale, le nombre d'espèces peuplant une unité paysagère augmente avec la taille de cette unité) ;
- le périmètre de chaque unité paysagère, les formes à larges indentations, dont le rapport périmètre/superficie est maximal sont celles présentant la plus grande diversité paysagère comme la plus grande biodiversité, cette dernière s'accroissant en lisière de deux unités paysagères ou écosystèmes limitrophes ;
- le nombre de connexions entre les unités paysagères de même type via des espaces corridors qui permettent la circulation des espèces animales entre ces unités.

D'une manière générale, la diversité des unités paysagères comme leur degré de fragmentation varient selon les caractéristiques du milieu physique (types de sol, relief, climat), l'environnement biogéographique, notamment le type de végétation potentiellement présent dans la région, et des facteurs humains (dynamique économique, pression démographique, techniques utilisées).

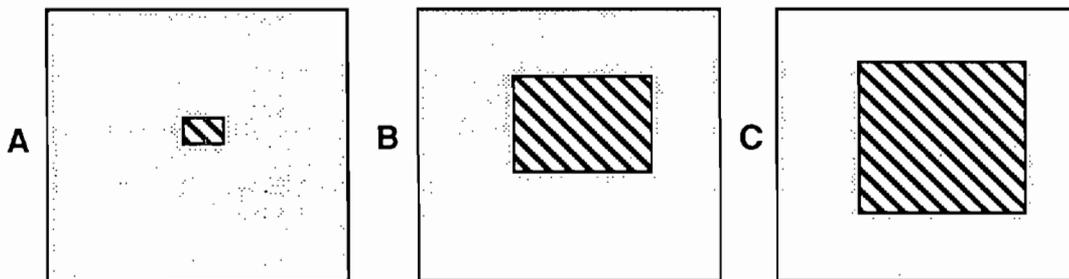
## L'hétérogénéité du paysage : indicateur de sa diversité

### Nature et degré de fragmentation des unités paysagères



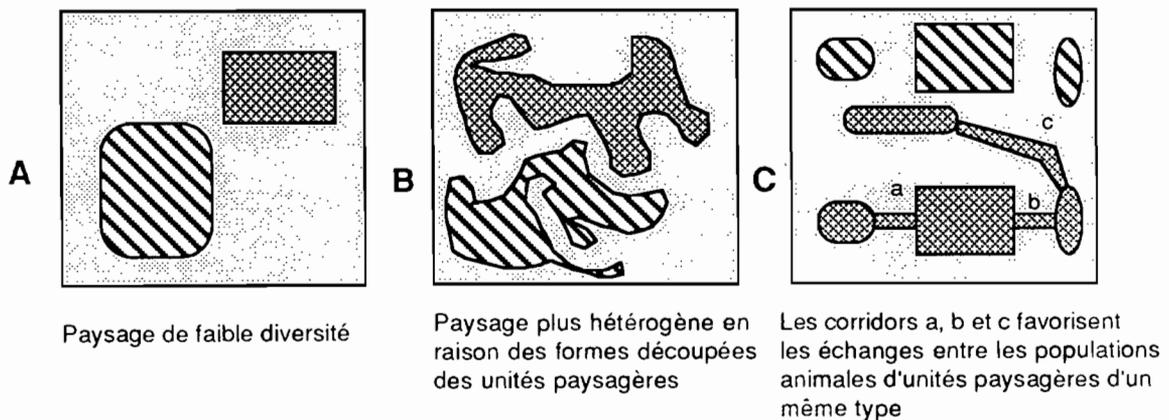
Plus une unité paysagère est fragmentée, plus le paysage à laquelle elle s'intègre apparaît hétérogène ; cette hétérogénéité croît également en fonction du nombre des types d'unités de paysage.

### L'hétérogénéité des superficies



Le paysage C formé de deux unités paysagères de superficies similaires est visuellement perçu comme étant moins homogène que le paysage A dont l'unité paysagère la plus petite est "noyée" dans l'unité la plus vaste...

### Périmètres des unités de paysage et connexions entre elles



## **L'écosystème forestier : un foisonnement à tous les étages**

### **La forêt, bien plus que des arbres !**

Le rôle du couvert forestier comme régulateur des débits hydriques, comme « usine » à recycler les éléments minéraux du sol, comme pourvoyeur de produits utiles à l'homme et d'oxygène dans l'atmosphère n'est plus à démontrer. Mais cette masse chlorophyllienne, qui abrite d'innombrables organismes vivants de types variés, aux fonctions diversifiées, a une composition spécifique largement indéterminée. Elle fonctionne selon des processus dont la connaissance est encore fragmentaire.

La diversité d'une forêt peut s'exprimer dans un premier temps par sa composition et sa richesse spécifique. Toutefois cette richesse quand bien même on pourrait la déterminer, ce qui est loin d'être le cas (on se limite en général à dresser la composition pour quelques groupes taxonomiques connus), ne nous renseigne pas sur l'importance relative des espèces. Or deux forêts qui auraient la même composition mais dont les espèces seraient en proportions distinctes constitueraient des entités différentes. Elles n'auraient ni la même stabilité, ni les mêmes potentialités : leur aménagement comme leur sauvegarde nécessiteraient des mesures différentes.

Une seconde approche de l'estimation de la biodiversité consiste à combiner la composition en espèces et l'importance relative de celles-ci. Plusieurs indices de diversité ont été proposés mais ils sont loin d'être entièrement satisfaisants. En effet toutes les espèces n'ont pas le même rôle au sein de la forêt ni le même intérêt pour les populations d'organismes dont l'existence ou l'importance en dépend.

De cette constatation est né le concept « d'espèces clé de voûte ». Celles-ci ont un rôle déterminant dans l'équilibre de la forêt en raison de leur fonction au sein de l'écosystème, elles peuvent avoir notamment un rôle dans l'installation, la reproduction et le développement d'autres organismes. C'est le cas des espèces relais qui favorisent l'installation des grands arbres de la forêt sous leur ombrage et qui en raison de leur dépérissement précoce permettent dans un second temps aux jeunes arbres une fois installés de bénéficier de toute la lumière nécessaire à leur développement. C'est aussi le cas de certains insectes qui ont un rôle prépondérant dans la pollinisation et donc la reproduction de certaines espèces végétales, ou de micro-organismes du sol qui transforment en composés solubles pour les plantes certains éléments minéraux du sol, ou qui, comme des bactéries fixatrices d'azote atmosphérique, approvisionnent les plantes en cet élément.

Mais on ne doit pas oublier qu'une espèce tout à fait anodine sans réelle importance dans le fonctionnement et la survie de la forêt peut avoir des propriétés, médicinales ou autres, connues ou encore insoupçonnées, susceptibles de lui conférer une valeur importante.

### **Il n'y a pas que l'oiseau sur la branche....**

En forêt, la vie prend de l'altitude. On y observe, collecte et étudie la faune du sol et du sous-bois par toutes les méthodes classiques mises en oeuvre dans les autres milieux, mais la masse de la végétation est longtemps restée hors de portée. Quand on a réalisé que la couche supérieure du feuillage des grandes forêts tropicales, cette mer de verdure tourmentée, renfermait sans doute la vie animale la plus diverse de la planète, de nouvelles méthodes d'échantillonnage ont été mises au point. On rejoint la canopée par l'escalade... ou la voie des airs comme l'équipe du « radeau des cimes », et on y pratique plus ou moins confortablement toutes les techniques classiques. Ou bien, comme nous le faisons en Nouvelle-Calédonie, on essaie d'en faire descendre ce qui y vit.

La thermonébulisation ou « fogging », est bien adaptée à la collecte des arthropodes qui sont les constituants majoritaires de la faune de la canopée. Cette technique a le grand avantage de ne nécessiter ni financement prohibitif, ni talents de grimpeur confirmé. Elle consiste à préparer préalablement, au niveau du sol, des collecteurs horizontaux standardisés de 1 m<sup>2</sup> (nappes plastiques sur cadres supports). Leur nombre doit être suffisant pour rendre compte de l'hétérogénéité du milieu forestier étudié, et leur disposition adaptée aux analyses que l'on envisage. Puis on projette, par un réacteur à essence, jusqu'à plus de 20 m dans la cime des arbres, un brouillard toxique à effet de choc, inoffensif pour les animaux

à sang chaud (pyréthrinoides). Enfin, après une attente de 2 heures, on récolte les spécimens tombés sur chaque nappe, en vue de leur étude au laboratoire. La méthode n'est praticable qu'en l'absence de pluie et de vent : en Nouvelle-Calédonie, cette dernière condition oblige à travailler dès le lever du jour.

L'étude de ces prélèvements va demander beaucoup plus de temps que leur récolte. La faune collectée correspond au volume de la colonne de feuillage située au-dessus du collecteur, et les données quantitatives peuvent donc être rapportées à une unité de volume ou de surface, aux fins de comparaisons entre différents milieux et saisons, ici ou ailleurs dans le monde. L'analyse implique le tri et l'identification des faunes collectées. Idéalement, il faudrait pouvoir exploiter toute l'information recueillie en travaillant au niveau de l'espèce, afin de définir la structure des associations entre les populations animales et d'étudier ses variations dans le temps et dans l'espace, enfin de « démonter » le grand mécanisme de l'écosystème. Mais les scientifiques spécialisés dans l'identification et la description des faunes sont trop peu nombreux pour presque tous les groupes d'invertébrés tropicaux.

Les relations spatiales entre les groupes taxonomiques peuvent heureusement être abordées à des niveaux moins précis : morphospecies (ensembles d'aspect différent pour l'observateur, qui correspondent parfois à de véritables espèces, mais aussi quelquefois à des genres !) sous-familles ou familles ; ou à des niveaux différents, quand on essaie de répartir la faune en communautés écologiques comme les guildes (guilde des mangeurs d'épiphytes, guilde des décomposeurs, guilde des parasites...).

Les différences observées entre les peuplements des milieux forestiers néo-calédoniens peuvent être très importantes en qualité comme en quantité. De grandes différences dans la composition faunistique peuvent s'accompagner de « compensations » entre ces groupes, qui assurent une stabilité de l'équilibre entre les guildes. L'étude des différences dans la composition de la faune et dans son évolution dans le temps, mise en relation avec la diversité structurelle du monde végétal qui l'héberge, doit donc permettre de comprendre le fonctionnement de l'écosystème étudié et les facteurs qui conditionnent son équilibre.

## **Ecosystèmes récifaux**

Les récifs coralliens sont les plus grandes formations bioconstruites de la planète. Elles s'étendent parfois sur des milliers de kilomètres (Grande Barrière de Corail australienne).

### **Implantation des formations coralliennes**

Pour s'implanter, un récif corallien réclame des caractéristiques précises : eaux chaudes (18-29° C); eaux claires, peu chargées en particules; stabilité du substrat; existence de larves de coraux dans les masses d'eau. Il résulte de ces contraintes que les écosystèmes récifaux se sont développés entre 30° N et 30° S, principalement dans l'archipel indo-malais, aux Caraïbes et sur la côte est africaine (cf. carte, au verso). Il n'existe pratiquement pas de coraux constructeurs sur la façade occidentale de l'Afrique, sans doute à cause d'un excès d'apports terrigènes, ni sur la façade occidentale du continent américain à cause des courants froids. La superficie des formations récifales mondiales entre 0 et 30 m de profondeur a été estimée à 600000 km<sup>2</sup> ; 60% d'entre-elles se trouvent dans l'Océan Indien.

### **Nature des formations coralliennes**

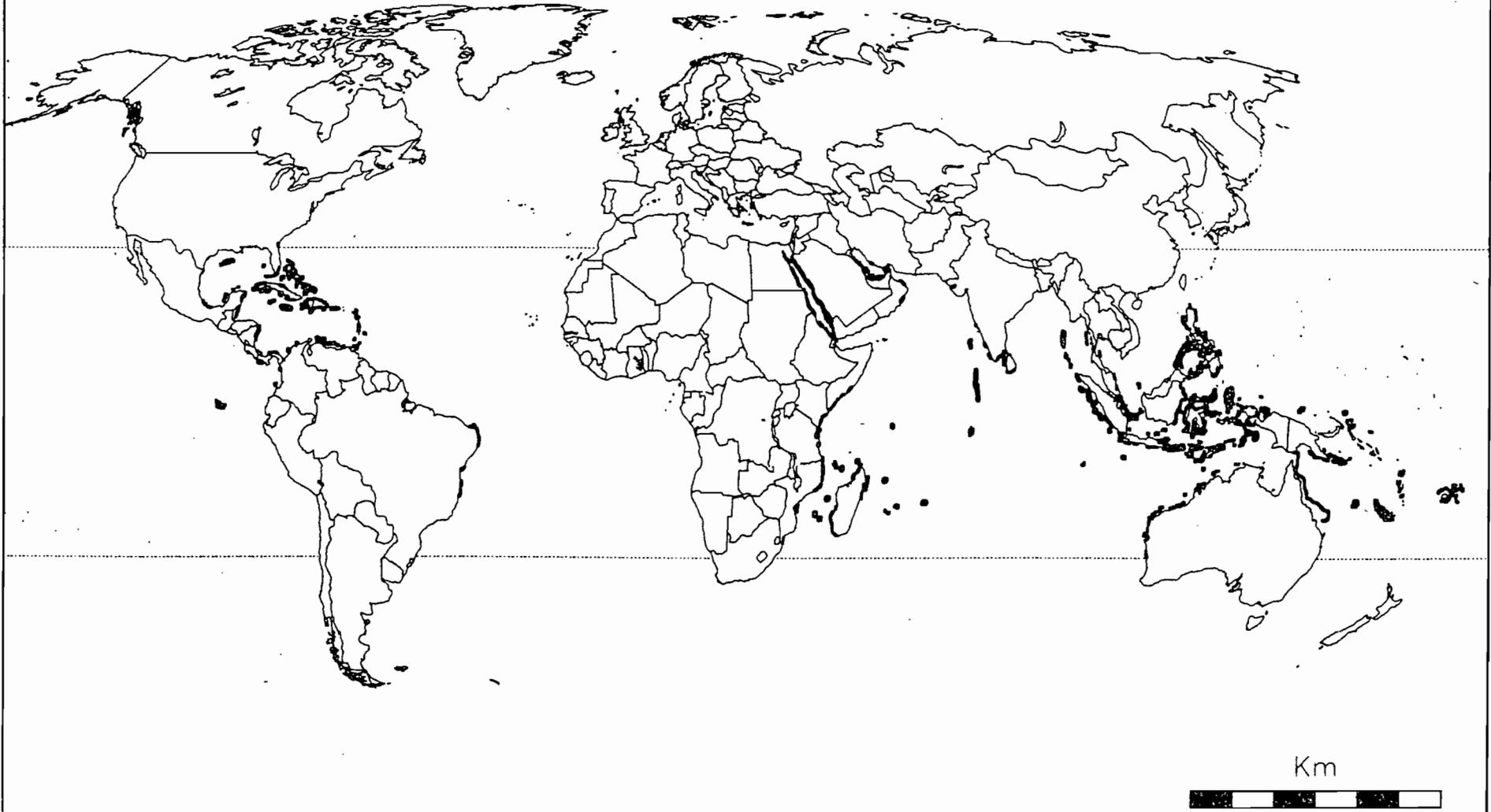
Ces formations coralliennes, dont le squelette est composé de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) représentent une immense réserve de carbone et joue certainement un rôle dans la régulation de la teneur en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère. Les récifs coralliens sont constitués essentiellement de madrépores constructeurs et d'algues calcaires. Ces organismes ont besoin de lumière pour leur métabolisme : en conséquence, on ne les trouve guère en-dessous de 120 m de profondeur.

Les nombreuses espèces constructrices composant les récifs coralliens présentent une grande diversité de formes et offrent une multitude d'habitats pour la faune marine fixée ou mobile. Ces écosystèmes sont souvent comparés aux forêts tropicales humides pour leur grande richesse spécifique, la diversité des habitats et la complexité de leur fonctionnement.

### **Dégradation des formations coralliennes**

Actuellement, les formations coralliennes sont menacées par les activités humaines. On observe dans tous les océans des phénomènes de blanchiment des coraux. Ceux-ci expulsent les algues unicellulaires (les zooxanthelles) qui vivent dans leurs tissus, deviennent blancs, puis meurent. Bien que l'origine de ce processus ne soit pas totalement élucidée, on l'attribue à un réchauffement général des océans résultant de « l'effet de serre ».

Not shown on this map are coral formations found on most of the islands of the Pacific between 30°N and 30°S



Robinson Projection

## Usages et classifications traditionnelles des plantes

Devant la diversité de la nature, l'homme s'est très vite préoccupé de nommer puis d'en classer les éléments, afin d'y trouver ou d'y retrouver ce qui lui était nécessaire : ce qui n'a pas de nom n'existe pas puisque l'on ne peut en parler ! Les classifications traditionnelles sont donc très anciennes, inhérentes au développement de la pensée humaine. Leur méthode est commune à toutes les sociétés : nous en usons tous les jours.

Les connaissances sont d'abord stockées en vrac dans notre cerveau ; puis elles sont indexées et liées les unes aux autres par des relations préférentielles, correspondant à notre expérience personnelle ; enfin elles peuvent être rappelées à notre mémoire active au moment où nous en avons besoin, de manière sélective.

Les deux derniers points expliquent la formation des classifications traditionnelles. Les grandes différences font les grandes catégories et elles orientent l'indexation des données au moment de leur acquisition, dans trois chapitres principaux, puis leur rappel ultérieur à partir de ce classement préliminaire : observation de la plante, usage, techniques nécessaires pour leur emploi. Notre cerveau classe tout ce qui nous touche, en établissant de nouvelles relations entre les données stockées :

- lorsque nous pensons « observation de la plante », nous identifions différents critères qui servent de sous-index : la taille (grand, petit, autre), le port (rampant au sol, droit vers le ciel, autre), l'écologie (dans quel endroit la plante pousse-t-elle ?), la couleur (feuilles vertes, rouges, ... entièrement, en partie, comment ?), l'odeur, le goût, le comportement (bouturage possible ? résistance au feu ? fructification abondante ?), etc..
- il en est de même lorsque nous pensons « usage de la plante » : plantes ligneuses (intérêt pour le bois), plantes alimentaires (de base, de fête, de disette, etc.), plantes médicinales (pour telle ou telle maladie, tel ou tel symptôme) ; plantes tinctoriales (présence de colorants), autres usages.
- c'est encore le cas lorsque nous pensons aux « techniques nécessaires pour utiliser la plante » : utilisation en l'état brut, comme matière première ; transformation (sciage, fermentation, extraction, etc.).

Un seul renseignement ne suffit pas pour identifier une plante :

- plante du bord de mer ? → pas de réponse précise
- arbre du bord de mer ? → pas de nom précis, mais évocation des possibilités : palétuviers, tamanou du bord de mer, etc.
- arbre du bord de mer, possédant des feuilles poilues et utilisé en cas de « gratte » ? → faux-tabac, réponse précise.

La classification traditionnelle fonctionne ainsi dans toutes les cultures, avec des variations dans les multiples catégories. Elle s'intéresse aussi aux animaux, et peut se révéler très efficace : ainsi, les ornithologistes travaillant sur les oiseaux de Nouvelle-Guinée ont eu la surprise de découvrir que 90% des espèces avaient déjà un nom coutumier dans certaines tribus.

Il n'est pas possible d'inventorier toutes ces définitions, qui sont toujours des définitions d'usage, formule que l'on peut interpréter dans ses deux sens principaux : habitude sociale et utilité pratique. Ainsi peuvent être décrits des groupes de plantes selon des découpages infinis et arbitraires, propres à chaque culture, à chaque société : herbes de montagne, légumes, fruits à cuire, pins colonnaires, plantes à huile, arbres résineux, lianes à crochets, plantes épineuses, plantes à fleurs, plantes magiques, essences forestières, plantes à parfums, plantes à alcaloïdes, herbes médicinales, etc, etc, etc.

La liste est sans fin, ce qui peut faire supposer que chaque plante peut avoir des qualités propres de « plante utile ». Cet axiome est fréquent dans les sociétés traditionnelles. Mais il faut rappeler qu'il est encore très souvent le credo des « conservationnistes », et celui de nombreux scientifiques qui étudient la biodiversité !



## La classification scientifique

### **Nommer, classer, comprendre les parentés**

La classification scientifique n'est pas construite comme la classification traditionnelle, même si elle en est historiquement issue. Elle en diffère par ses moyens d'observation et de mesure, mais surtout par sa volonté de trouver des lois générales : nommer une forme vivante devient un acte scientifique quand on s'appuie sur une **théorie réfutable**, qui dépasse les besoins pratiques de l'observateur et tente d'expliquer la stabilité, les relations et l'origine des formes étudiées.

Dans ce domaine, le cheminement de la pensée a été difficile. Car si la diversité tire son origine des variations au niveau le plus élémentaire de la vie, l'homme la perçoit d'abord dans son expression sur l'apparence des individus (leur **phénotype**) et sur les « types » élémentaires auxquels il rapporte ces individus : les **espèces**. Le problème de l'espèce est lié à la difficulté de rassembler les individus en groupes distincts sans ambiguïté, tout en reconnaissant la présence de variations dans le temps et dans l'espace. D'un point de vue historique, ce concept d'espèce est difficilement dissociable du problème des classifications et de la mise en place des idées sur la **genèse et l'évolution des êtres vivants**.

#### **Le plan du Créateur : la nature immuable et les types primordiaux**

A la fin du 17<sup>ème</sup> siècle, John RAY a déjà donné une définition biologique de l'espèce, la reliant à la capacité à produire des petits féconds. Mais pour les grands classificateurs du 18<sup>ème</sup> siècle, Linné et Tournefort, la tâche du taxonomiste est la reconnaissance de chaque **dessin fondamental**, plan idéal auquel chaque organisme doit se rattacher. Cette approche typologique et fixiste est toute naturelle pour une pensée **créationniste**, qui conçoit le monde vivant comme un ensemble stable, issu d'une volonté créatrice d'origine divine.

Dans ses travaux parus entre 1749 et 1789, BUFFON ne reconnaît qu'une catégorie naturelle, l'espèce, et propose un système où, au sein de **grands types spontanément apparus** (qu'il nomme famille ou genre), il groupe des espèces parentes : ainsi le cheval et l'âne. Pour BUFFON, la nature n'est plus seulement un ordre au sein duquel tous les êtres observés, immuables, sont directement créés par Dieu, mais elle est aussi une force régie par des lois qui modèlent le vivant. BUFFON pose donc timidement le problème de la spéciation : l'éloignement des types primordiaux (la « dégénération »), qui produit des espèces à partir de ces types, peut se faire par une accumulation de « touches accessoires », héritées par la descendance. Mais il ne doit altérer que peu ou pas la fécondité et il y a une **cloison étanche entre les types primordiaux spontanément apparus** : la vie n'a pas d'histoire.

#### **Le Transformisme**

LAMARCK a formulé le premier une théorie complète de l'évolution, énoncée dès 1800 et publiée en 1809. Il fonde sa théorie sur la combinaison de deux facteurs : la tendance du vivant à une complexité croissante, qui devrait aboutir à une répartition des êtres sur une échelle parfaite ; et les processus d'adaptation, réactions des organismes pour s'adapter au milieu, qui viennent perturber cette tendance générale vers la complexité. **Le milieu oriente les changements** et les caractères acquis par adaptation sont hérités par la descendance. Mais LAMARCK ne pouvait en rien prouver la réalité de son **transformisme**. Sévèrement critiquée par CUVIER, fondateur de la paléontologie et fixiste convaincu, sa théorie n'a pas été acceptée : pour la société européenne du 19<sup>ème</sup> siècle, les enjeux d'une mise en question du créationnisme dépassaient largement le cadre des systèmes scientifiques.

#### **La Révolution Darwinienne**

Les observations de la diversité biologique en milieu insulaire, faites dans sa jeunesse au cours d'un voyage autour du monde, ont contribué à la maturation des idées de Charles DARWIN (*L'Origine des espèces*, 1859). Il énonce clairement que l'évolution des espèces dépend entièrement du jeu de deux facteurs : la variation au sein d'un groupe, et la sélection qui agit sur les individus porteurs de ces variations favorables, défavorables ou neutres. Pour DARWIN, la **variation précède la sélection**, la sélection assure automatiquement la survie du plus apte, et les caractères favorables sont transmis à la descendance par les individus sélectionnés : idée majeure, simultanément émise par Alfred WALLACE. Il en résulte que les espèces ne sont pas issues du néant sous l'effet d'une volonté d'essence surnaturelle, mais d'espèces qui les ont précédées. Le mécanisme qui assure cette évolution est la **sélection naturelle**.

#### **L'apport de la génétique**

DARWIN a devancé la théorie génétique : MENDEL produit ses travaux vers 1865 mais l'Europe occidentale ne les découvre que vers 1900. DARWIN a donc toujours été gêné par la difficulté d'expliquer la transmission sans altération à la descendance des caractères sélectionnés. Déjà avec WEISMANN (1883) émerge l'idée d'une séparation entre les cellules du *soma* et du *germen*, ces dernières portant les caractères transmis à la descendance : l'idée (conservée par DARWIN !) de l'hérédité des caractères acquis s'efface. DE VRIES introduit

en 1900 le concept d'une variation brusque et héréditaire : la **mutation**. C'est l'aube du néodarwinisme, qui prendra corps après 1920 avec les progrès de la génétique des populations qui, sous l'impulsion de WRIGHT, FISHER et HALDANE, étudie l'évolution de la fréquence des gènes au cours des générations.

#### **L'espèce aujourd'hui**

Les travaux de DARWIN et les acquis ultérieurs de la génétique et de la biologie des populations ont donc radicalement modifié nos vues sur la nature des espèces. La reconnaissance de variations géographiques discontinues dans les populations d'espèces largement réparties, ou au contraire de variations minimales entre des espèces à répartitions disjointes (espèces allopatriques) qui indiquent la probabilité d'une ascendance commune, a contribué à l'émergence du concept d'**espèce biologique**. A travers les travaux de DOBZHANSKY, MAYR et HUXLEY, l'espèce biologique est définie comme un ensemble de populations interfécondes, isolées au plan reproductif d'ensembles similaires : autrement dit, l'espèce possède un fonds commun (« pool ») de gènes disponibles pour des recombinaisons à travers la reproduction sexuée, mais que des barrières comportementales, physiologiques ou génétiques isolent des groupes voisins.

Ce concept de l'espèce demeure le plus largement accepté, mais un autre est aujourd'hui considéré avec intérêt : celui d'**espèce phylogénétique**, définie comme le plus petit agrégat de populations (dans le cas de reproduction sexuée) ou de lignages (dans le cas de reproduction asexuée) identifiable par une combinaison unique d'états de caractères chez des individus comparables. Parce qu'il insiste sur l'aspect différenciation et non sur l'aspect reproduction, ce nouveau concept, strictement appliqué, conduirait à un accroissement très important du nombre d'espèces identifiables et, à la limite, à la distinction spécifique de toute population ou morphe. La prise en considération d'une communauté reproductrice semble donc nécessaire pour lui garder une valeur pratique.

#### **La classification linnéenne et les codes de nomenclature**

Dans son *Systema Naturae* (1735) LINNÉ a proposé de désigner les espèces par un binôme composé d'un nom de genre suivi du nom d'espèce (nomenclature binominale). Ce binôme est éventuellement suivi d'un nom de sous-espèce. Une citation formelle doit inclure en outre le nom de l'auteur et de la date de parution du travail. Les **Codes Internationaux de Nomenclature** (code de botanique, de zoologie, et code applicable aux bactéries et actinomycètes) réglementent la formation et l'application des noms scientifiques. Ce processus de normalisation est en cours aujourd'hui pour la nomenclature des virus.

Pour être valide, une espèce doit être décrite par référence à un individu, le **type** ou **holotype** : la description doit être **publiée** et le spécimen correspondant (individu ou fragment d'individu conservé, planche d'herbier) devient la « mesure étalon » de l'espèce. En hommage à l'oeuvre de Linné, le point de départ de la nomenclature zoologique est fixé arbitrairement au 1<sup>er</sup> Janvier 1758, année où parut la 10<sup>e</sup> édition du *Systema Naturae*. Les codes définissent aussi les catégories hiérarchiques (les **taxons**) dans lesquelles sont regroupés les êtres vivants. Les 7 catégories subordonnées suivantes sont les plus utilisées :

Règne	Phylum	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Animal	Arthropodes	Insectes	Lépidoptères	Papilionidae	Papilio	montrouzieri

Au sein de ces niveaux, on crée parfois des subdivisions intermédiaires : sous-ordre, super-famille, sous-classe, sous-genre ou sous-espèce, variété, forme... Ces niveaux classificatoires devraient avoir une signification évolutive, et être homologues dans tout le monde vivant. Mais ils restent encore très souvent arbitraires.

#### **Comment classer en évitant l'arbitraire ?**

DARWIN, qui ne disposait pas encore d'une explication des mécanismes de l'hérédité, avait pressenti que les classifications deviendraient des généalogies. Parallèlement aux démarches de la taxonomie numérique, qui prend en compte un maximum d'états de caractères (y compris leur absence) pour alimenter des analyses qu'elle veut affranchir du choix « artistique » du taxonomiste expérimenté, HENNIG a jeté vers 1950 les bases de la **Systématique phylogénétique**. Elle est fondée sur la distinction de l'état apomorphe (originel, primitif) ou plésiomorphe (évolué, dérivé) d'un caractère et sur la prise en compte des seules synapomorphies (apomorphies partagés par plusieurs taxons) pour la reconnaissance des parentés phylogénétiques (groupes frères). Cette **analyse cladistique** est devenue l'outil de choix pour la reconnaissance des **groupes monophylétiques** (qui contiennent uniquement les organismes issus d'un ancêtre commun, et tous ces organismes) et pour la recherche de leurs relations. Les caractères pris en compte sont aujourd'hui plus significatifs, car souvent fournis par les outils de la biologie moléculaire.

Il est maintenant admis que la détermination des relations phylogénétiques (relations à un ancêtre commun) est un préalable nécessaire à une classification biologique. La cladistique a revivifié la taxonomie des 20 dernières années et ouvert de nouveaux champs de réflexion dans le domaine de la biogéographie.

## L'incroyable diversité du vivant

### La biodiversité en quelques chiffres

L'accumulation des observations biologiques a conduit à classer les formes vivantes en cinq grands règnes :

- les **procaryotes** qui comprennent les bactéries et les cyanophycées (4000 à 3 millions d'espèces);
- les **protocistes** qui regroupent les eucaryotes unicellulaires (40000 à 200000 espèces) et les algues (40000 à 10 millions d'espèces);
- les **champignons** (70000 à 1,5 million d'espèces) ;
- les **animaux pluricellulaires** (1 million à 100 millions d'espèces);
- les **plantes** (250000 à 500000 espèces).

Les virus, dont le nombre est estimé à 500000 (5000 sont connus), n'entrent pas dans cette classification. Ils sont les seuls à ne pas présenter une morphologie cellulaire et sont constitués d'ADN et de protéines. Adaptés à la vie parasitaire, ils ressemblent plus à leurs hôtes qu'ils ne se ressemblent entre eux !

On reconnaît actuellement 25 à 35 embranchements parmi les animaux, ce qui représente des milliers de familles et des millions d'espèces. Cette classification du monde vivant devrait avoir des conséquences sur la terminologie utilisée en écologie : il serait utile de redéfinir certains mots couramment utilisés tels que faune et flore, héritages du temps encore récent où l'on distinguait seulement deux règnes, animal et végétal. On parlait alors de « flore bactérienne », on divisait les unicellulaires en « algues unicellulaires » et « protozoaires » selon qu'ils possédaient ou non des chloroplastes, et les champignons avaient le statut de « plantes non chlorophylliennes ».

La grande imprécision dans l'estimation du nombre des espèces vivant actuellement sur notre planète provient de plusieurs causes :

- l'insuffisance de l'exploration de certains milieux (océans, forêts tropicales...);
- la difficulté d'observer, de séparer et de décrire les très petites espèces;
- le manque de taxonomistes spécialisés dans plusieurs groupes;
- les synonymies existantes parmi les espèces déjà décrites.

Lorsque les progrès techniques permettent d'entreprendre l'étude coordonnée d'un nouveau milieu, ou l'exploration d'une nouvelle échelle de dimension, notre connaissance du vivant fait un bond en avant prodigieux. Certains biotopes très riches en espèces ont été « découverts » récemment : la canopée des forêts tropicales humides qui a révélé une énorme diversité en insectes; ou encore les zones bathyales des océans (200-2500 m) où les organismes benthiques semblent s'être concentrés.

### Diversité marine et diversité terrestre

Si l'on considère la répartition globale de la diversité spécifique, il existe un contraste saisissant entre les milieux terrestres et les milieux marins. Les parties émergées de la planète ne représentent que 29 % de sa surface mais abritent 85% des espèces décrites. Le milieu marin représente 71% de la surface de la planète mais n'abrite que 15% des espèces décrites. Il est paradoxalement beaucoup plus riche en taxons d'un niveau supérieur : 80% des ordres vivants n'existent que dans les mers.

Pourquoi la mer est-elle plus riche que la terre en embranchements et plus pauvre en espèces ? L'hypothèse la plus probable est que la mer est plus riche en taxons de niveaux supérieurs parce que c'est en son sein que la vie est apparue; alors que la terre est plus riche en espèces parce que les variations des milieux y sont plus grandes, favorisant la spéciation.

### **Diversité des tailles**

Parmi les millions d'espèces qui peuplent la planète, l'espèce humaine figure parmi les géantes. En effet, la gamme de taille des êtres vivants va de 0, 0000001 mm pour les plus petites bactéries jusqu'à plus de 30 m chez la baleine bleue. Chez les plantes certains arbres atteignent plusieurs dizaines de mètres et certaines lianes encore plus. Il semble également que l'on ait sous-estimé les dimensions que peuvent atteindre certains champignons. La grande majorité des espèces est de très petite taille par rapport à nous, ce qui complique notre compréhension de leur biologie.

### **Diversité et spécificité**

L'adaptation à une niche écologique étroite sélectionne les individus et favorise la spéciation. C'est une cause importante de diversité. Il apparaît ainsi des espèces très spécialisées dont on trouve de nombreux exemples parmi les parasites, résultats d'une coévolution avec leur hôte. C'est le cas des « poux de baleine » qui parasitent les cétacés. Malgré leur appellation, ce ne sont pas des insectes mais de petits crustacés amphipodes de la famille des Cyamidés. Ressemblant à de petites araignées de couleur pâle, ils mesurent environ 2 cm. Chacune de leur 10 pattes possède un crochet terminal qui leur permet de s'accrocher à la peau de leur hôte. On en trouve dans toutes les fentes, tous les replis et toutes les plaies des cétacés : autour des yeux, des évents, dans la fente génitale, etc. On en a compté jusqu'à 110000 dans 2 blessures d'une baleine grise ! Ils n'ont pas de stade nageur et la contamination se fait donc par contact direct entre deux baleines. Ainsi, au sein du genre *Cyamus*, on distingue des espèces liées à chaque espèce de cétacé. Au sein d'une seule espèce de cétacé, il est même possible de distinguer des sous-espèces ou races géographiques de Cyamidés. On peut ainsi identifier chaque espèce de cétacé en déterminant l'espèce de *Cyamus* qui la parasite.

### ***La biodiversité des mammifères marins***

*Les mammifères marins sont divisés en 3 ordres : les Pinnipèdes (phoques, otaries, 34 espèces), les Siréniens (4 espèces) et les Cétacés (74 espèces). Deux d'entre eux sont représentés en Nouvelle-Calédonie; avec pour les Siréniens : la vache marine (Dugong dugon) et pour les Cétacés les 8 espèces suivantes :*

- la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*),
- le petit rorqual (*Balaenoptera acurostrata*),
- le cachalot (*Physeter macrocephalus*),
- le cachalot nain (*Kogia simus*),
- le cachalot pygmée (*Kogia breviceps*),
- le grand dauphin (*Tursiops truncatus*),
- le dauphin à long bec (*Stenella longirostris*),
- l'orque épaulard (*Orcinus orca*).

## De la solitude à la foule

### Etude du phytoplancton

Le plancton est l'ensemble des organismes pélagiques susceptibles d'être entraînés par les courants par opposition au necton (poissons, calmars ...) dont les déplacements sont suffisamment puissants pour le rendre autonome vis à vis du milieu et au benthos constitué par les organismes inféodés aux fonds (coquillages, bêche de mer ...). On distingue le bactérioplancton (bactéries), le zooplancton (animaux) et le phytoplancton (végétaux).

#### Le phytoplancton et sa place dans la biosphère

Le phytoplancton est constitué d'organismes capables d'élaborer par photosynthèse leur propre substance organique à partir de l'énergie solaire, de l'eau, du dioxyde de carbone et des sels nutritifs. Il est localisé dans les couches superficielles éclairées de l'océan mondial soit généralement de la surface à 100m de profondeur. A quelques exceptions près (sargasses, *Oscillatoria*, ...), il est constitué d'algues unicellulaires libres de petite taille qui peuvent réunies parfois en chaînes de plusieurs cellules, ou de bactéries photosynthétiques, les cyanobactéries. La flore est estimée à 474-504 genres regroupant 3444-4375 espèces. Mais ces chiffres augmentent au gré des découvertes. Ainsi pour les seules Diatomées la nomenclature s'enrichit chaque année de 3 à 4 genres et d'environ une nouvelle espèce par jour. Ces nouvelles descriptions ne devraient pas augmenter sensiblement l'importance relative du nombre d'espèces décrites du phytoplancton.

Les cellules du phytoplancton ne constituent que 0.3% des espèces décrites. Elles ont une répartition mondiale et se distribuent par rapport aux grandes divisions climatiques classiques. On distingue des espèces d'eaux froides, d'eaux tempérées et d'eaux chaudes intertropicales. Les eaux antarctiques forment un ensemble séparé, où l'on trouve des espèces endémiques.

On distingue classiquement 4 grands types de cellules de phytoplancton se répartissant entre Eucaryotes dont les cellules sont munies d'un noyau et Procaryotes dont les cellules sont démunies d'un noyau.

#### Evolution des techniques d'étude et des connaissances du phytoplancton

L'utilisation de nouvelles techniques de prélèvement et d'observation a permis l'étude d'organismes de plus en plus petits. La découverte d'un petit nombre d'espèces nouvelles a provoqué une augmentation considérable dans l'estimation de la densité de la population du phytoplancton. Les exemples qui suivent concernent l'océan Pacifique intertropical et les chiffres indiqués sont issus des publications scientifiques des chercheurs océanographes du Centre ORSTOM de Nouméa.

- Dans les années 60 on prélevait encore souvent le phytoplancton au filet à plancton, l'observation se faisait au microscope. Seules les plus grosses espèces de Diatomées et de Dinoflagellés étaient étudiées. Le nombre des cellules comptées variaient de 2 à 20 par litre.
- A partir des années 70, les prélèvements seront systématiquement effectués à la bouteille hydrographique. Après fixation les cellules du phytoplancton étaient concentrées dans des colonnes de sédimentation dont le fond était constitué par une cuve d'observation. Après 24 à 48h on enlevait la colonne. La cuve à sédimentation était placée sur une platine de microscope inversé\*. Les observations étaient effectuées directement à travers la lamelle de verre qui constituait le fond de la cuve. Les organismes observés s'étendaient à l'ensemble des flagellés et les densités étaient de l'ordre de 200 cellules par litre.
- Dans les années 80 la sédimentation a été abandonnée et les cellules étaient directement concentrées sur des filtres en polycarbonate noir de petite porosité (8/10000 mm). Après avoir été placées entre lame et lamelle dans un liquide de montage spécial, les cellules étaient observées en chambre noire par microscopie à épifluorescence\*\*. Pour la première fois on distinguait et énumérait facilement les cyanobactéries oranges du genre *Synechococcus*. Le nombre de cellules par litre atteignait alors de 2 000 000 à 20 000 000.
- L'utilisation d'un nouvel appareil le cytomètre de flux\*\*\*, permet de nos jours, le comptage de cellules dont la découverte remonte à 1988, les Prochlorophytes du genre

*Prochlorococcus*. Les densités observées des cellules du phytoplancton sont désormais de l'ordre de 200 000 000 à 400 000 000 cellules par litre.

Ainsi, en une trentaine d'années, l'océan intertropical au large de la Nouvelle Calédonie est passé dans l'esprit des Océanographes d'un milieu peu peuplé à un milieu très peuplé, d'où le titre du poster « **De la solitude à la foule** ». Il convient de remarquer que cette fantastique augmentation du nombre des cellules par litre est due essentiellement aux seules cyanobactéries, *Synechococcus* et *Prochlorococcus*.

Nous ne savons pas si de nouvelles découvertes de l'importance de celle des cyanobactéries (*Synechococcus* et *Prochlorococcus*) auront lieu. Mais malgré la performance des outils d'analyse et d'observation dont nous disposons (chromatographe liquide à haute pression pour l'analyse des pigments, microscope électronique à balayage ou à transmission pour la visualisation des cellules, et cytomètre de flux pour la reconnaissance et la quantification des types cellulaires), nous ne découvrons pas la présence d'organismes ou d'assemblages pigmentaires inconnus, tels ceux qui avaient été décrits avant la découverte des *Prochlorococcus*.

De nouvelles techniques nous réserveront peut-être encore des surprises, mais la taille infime des nouvelles espèces décrites telles la cyanobactérie (*Prochlorococcus marinus*) ou la microalgue (*Ostreococcus tauri*), ne permet pas d'envisager l'existence d'autres espèces encore plus petites. Certes, les virus sont des organismes encore plus petits que les bactéries, mais ils n'ont pas une structure cellulaire et ils ne répondent pas aux critères qui permettraient de les classer en espèces.

Nous terminerons en attirant votre attention sur le contraste entre flore marine et flore terrestre. **En milieu marin**, les cellules ont de vastes répartitions. Les espèces d'eaux chaudes se retrouvent par exemple dans l'ensemble des zones intertropicales du monde. Les densités des cellules du phytoplancton marin sont considérables. **En milieu terrestre** au contraire les aires de répartition sont restreintes et les nombres d'individus petits. Un bon exemple de cette constatation est fourni par la flore endémique de la Nouvelle-Calédonie : on a recensé environ 3500 espèces de plantes terrestres dont 80% sont endémiques, ce qui signifie qu'elles ont une répartition de quelques km<sup>2</sup>. Les espèces du phytoplancton recensées dans l'océan mondial ne sont guère plus nombreuses (4000) mais elles occupent des superficies qui se chiffrent par millions de km<sup>2</sup>.

\* *Le microscope inversé est un microscope dont les objectifs se trouvent sous la platine, les cellules observées ont sédimenté et sont observées dans de l'eau de mer fixée.*

\*\* *Le microscope à épifluorescence est un microscope qui utilise les qualités fluorescentes de certains composés tels les pigments photosynthétiques du phytoplancton. Dans un premier temps la fluorescence des pigments est excitée par la lumière produite par une lampe à mercure. La couleur d'excitation désirée est sélectionnée grâce à des filtres optiques (bleue pour la chlorophylle). Après excitation la chlorophylle émet une fluorescence rouge qui permet la visualisation et le comptage des cellules. Le phytoplancton est observé sur un filtre noir après adjonction d'un milieu de montage spécial.*

\*\*\* *Le cytomètre de flux utilise aussi les propriétés fluorescentes des pigments du phytoplancton. Très souvent la source d'excitation est un rayon laser. Le banc laser est entouré par un environnement électronique et informatique qui permet l'étude rapide des cellules du phytoplancton y compris des cellules invisibles en microscopie à épifluorescence. Les cellules sont observées directement dans l'eau de mer, vivantes.*

## La diversité moléculaire

La première approche de l'étude de la chimie des êtres vivants a été de trouver des produits pour l'amélioration des conditions de vie en général : tout d'abord, les produits alimentaires et les médicaments, puis les produits d'intérêt phytosanitaires (insecticides, substances antifongiques).

Les moyens d'étude et de détermination des structures des produits isolés s'affinant, des molécules de plus en plus nombreuses et complexes sont décrites dans la littérature : plusieurs centaines de molécules nouvelles sont identifiées chaque année. Grâce au grand nombre d'espèces à présent étudiées, une nouvelle classification, très proche de la classification zoologique ou botanique, se dessine : c'est la **chimiotaxonomie**. L'étude d'un genre donné montre que les produits majoritaires sont de squelettes identiques, sur lequel les substituants varient en nature et en position. Le contenu chimique des plantes permet parfois de revoir leur classification botanique.

Les plantes sont la source la plus ancienne de molécules, et la chimiotaxonomie des différents groupes est assez bien connue. Par contre, l'étude des organismes marins est plus récente, et son développement date de l'accès aux chercheurs aux fonds grâce à la plongée sous marine autonome. Depuis 25 ans, l'étude chimique des invertébrés marins s'est largement développée, et est d'une aide appréciable pour les systématiciens pour l'identification des espèces étudiées par les chimistes. Si les produits majoritaires des invertébrés sont souvent caractéristiques d'un genre, parfois d'un ordre, les minoritaires sont souvent originaux : l'association entre ces organismes filtreurs pour la plupart et les micro-organismes est responsable de la grande diversité des métabolites de ces invertébrés.

La grande majorité des études chimiques entreprises sur les êtres vivants est motivée par la recherche de nouveaux médicaments (80% des médicaments est d'origine « naturelle »), mais un taux très faible de molécules nouvelles sera développé dans l'industrie. Les molécules identifiées et actives sont une réserve de modèles expérimentaux pour les pharmacologues en général.



## Empreintes génétiques

### Expression de la variété chez une bactérie

Les techniques d'étude de l'ADN, support moléculaire de l'hérédité, permettent de caractériser un individu, d'apprécier son originalité ou ses liens de parenté avec les autres individus de la population à laquelle il appartient.

Les techniques de biologie moléculaire sont utilisées ici pour étudier la diversité des populations de *Frankia*, bactérie du sol dont l'originalité est de vivre en symbiose avec les arbres de la famille des Casuarinacées.

#### Les symbioses fixatrices d'azote

La Nouvelle Calédonie est particulièrement riche en Casuarinacées : deux espèces de *Casuarina* (bois de fer) et huit espèces de *Gymnostoma*. Ces arbres présentent un très grand intérêt car ils sont capables de pousser sur des sols pauvres, en particulier les îlots coraliens et les terrains miniers.

Sur les racines de ces arbres on peut observer des petites excroissances : les nodules. A l'intérieur de ces nodules, une bactérie, *Frankia*, vit en étroite symbiose avec son hôte végétal.

*Frankia* n'est pas un parasite. Au contraire elle améliore la nutrition azotée de l'arbre : elle transforme l'azote de l'air  $N_2$ , en ammoniac  $NH_3$  que l'arbre est capable d'assimiler. Les arbres qui vivent en symbiose avec ces bactéries poussent donc plus vite et sont plus vigoureux que les autres ; ceci est surtout sensible sur les sols pauvres.

En Nouvelle Calédonie, la principale application des recherches sur les symbioses c'est la végétalisation des sols dégradés par l'exploitation minière. Cet objectif implique que l'on étudie au préalable la variabilité des deux partenaires de la symbiose, car la réussite des opérations de reboisement dépend pour une part importante du choix de l'espèce de Casuarinacée et de la souche de *Frankia* associée.

#### La méthode des empreintes génétiques

Nous avons étudié ici le partenaire bactérien de la symbiose.

Comme toutes les bactéries, les *Frankia* sont capables de s'adapter aux environnements les plus divers. Cette remarquable aptitude est due à des transformations ponctuelles de leur ADN (mutations), et se traduit par une très grande diversité au sein des populations bactériennes.

Cette diversité est appréhendée en travaillant directement sur l'ADN bactérien grâce aux techniques de biologie moléculaire : chaque souche particulière de *Frankia* est ainsi identifiée par son empreinte génétique.

A titre d'exemple, le poster exposé indique la démarche suivie pour obtenir les empreintes génétiques de souches de *Frankia* isolées de localités différentes du Sud de la Nouvelle Calédonie, Prony et Rivière Bleue.

*Remarque* : La méthodologie utilisée est d'une très grande sensibilité : à partir de traces d'ADN, on obtient un profil de bandes qui se lit comme le système "code-barres" qui permet l'identification des produits dans un supermarché.



## Diversité des macroalgues de Nouvelle-Calédonie

*"Les algues et les hommes entretiennent des rapports curieux que les philosophes devraient étudier avec beaucoup de sérieux et très en profondeur : rapports alternants de répulsion et d'attraction, d'amour et de rejet. A quoi peuvent donc servir ces plantes sombres, glissantes et visqueuses qui venaient gêner l'impression sécurisante du sable clair et fin ?"*  
Dr de Tymowski.

### **Que sont les algues ?**

Les algues ne constituent pas un ensemble homogène au sein du règne végétal où elles se distribuent en plusieurs grandes unités. Elles possèdent malgré tout des caractères communs. Ce sont des végétaux aquatiques qui occupent tous les milieux susceptibles de leur offrir un éclaircissement et une humidité suffisante; on peut en rencontrer dans les eaux douces ou salées ainsi que sur le sol humide ou même sur la neige !

Les algues ne possèdent pas de racines, de tiges ni de feuilles et elles ne produisent ni fleurs ni fruits. Bien que leur organisation soit assez rudimentaire, elles présentent des formes et des dimensions variées. Elles mesurent de quelques microns jusqu'à plusieurs dizaines de mètres et peuvent être constituées d'une seule ou d'un grand nombre de cellules réunies en une forme complexe que l'on nomme thalle. Les thalles peuvent être prostrés ou bien dressés au dessus du substrat. La partie dressée, qui prend alors le nom de fronde, est fixée au substrat par des rhizoïdes, sortes de petits crochets.

### **Comment vivent-elles ?**

Comme tous les végétaux, les algues se nourrissent d'éléments minéraux et de gaz carbonique qu'elles transforment en matière vivante grâce à l'énergie lumineuse. Ne possédant pas de racines, elles tirent directement les éléments nutritifs du milieu qui les baigne. Lorsque les eaux sont suffisamment claires pour leur permettre de bénéficier de l'énergie lumineuse nécessaire, elles peuvent se développer jusqu'à plus de 100 m de profondeur.

Le milieu marin est peuplé de très nombreuses algues microscopiques qui se maintiennent en flottaison dans l'eau où elles forment le phytoplancton (plancton végétal). D'autres algues, qui ne représentent qu'une faible partie des 25 000 espèces répertoriées, sont fixées sur le fond des mers, ce sont les algues benthiques. Elles comprennent les macroalgues visibles à l'oeil nu et les algues microbenthiques, unicellulaires ou composées de quelques cellules fixées sur les grains de sable ou les rochers, qui ne sont reconnaissables qu'au microscope.

Le substrat sur lequel elles se développent ne jouant aucun rôle dans leur nutrition, elles croissent sur les rochers, le sable, une coque de bateau, une bouée et même sur un autre organisme vivant animal ou végétal; on parle alors d'algues épiphytes. Elles peuvent former de parfaites symbioses avec des organismes animaux comme c'est le cas pour les coraux constructeurs de récif qui hébergent dans leurs tissus des algues unicellulaires symbiotiques appelées zooxanthelles.

La présence et l'abondance d'algues différentes en fonction de la lumière, de la température, de la salinité, de l'hydrodynamisme et du type de substrat déterminent des paysages végétaux variés dominés par certaines espèces qui leur donnent une physionomie particulière.

### **Les multiples usages des algues**

Depuis toujours, dans différentes parties du monde, les populations riveraines de la mer ont récolté et utilisé les algues comme aliment, comme engrais ou comme médicament. Plus récemment on a commencé à en extraire des substances qui font l'objet d'une très forte demande sur le marché mondial en raison de l'intérêt et de la diversité de leurs emplois : industries alimentaires ou textiles, cosmétologie, thalassothérapie, diététique ou agriculture.

### **D'autres végétaux aquatiques : les herbiers**

Les algues ne sont pas les seuls végétaux à pouvoir vivre dans la mer. Il existe des plantes à fleurs, descendantes de végétaux terrestres, qui sont retournées au milieu marin et s'y sont adaptées. Connues sous le nom d'herbe à tortue, elles constituent de grandes prairies sous-marines appelées herbiers. Elles jouent un rôle très important dans la fixation des fonds meubles; servent de nurserie et de frayère à de nombreux animaux et sont une source formidable de production de matière végétale.



## Les Invertébrés du lagon

Si l'on observe la répartition de la richesse spécifique dans l'Indo-Pacifique, on constate que le maximum de diversité se situe dans l'archipel indo-malais et diminue progressivement lorsque l'on s'en éloigne. Ce phénomène est particulièrement net si l'on compare la faune des archipels du pacifique central à ceux de l'ouest.

Ainsi, il y a environ 600 espèces de coraux en Indonésie, 450 en Nouvelle-Calédonie, 130 espèces en Polynésie et seulement 6 à l'Île de Pâques. On observe cette diminution dans tous les groupes zoologiques, et les biogéographes ont émis l'hypothèse que le triangle d'or de la biodiversité (Nouvelle-Guinée-Philippines-Bornéo) correspondait au foyer de dispersion spécifique, à partir duquel toute la faune de l'Indo-Pacifique aurait diffusé.

Cependant, à mesure que la qualité de l'échantillonnage s'améliore dans les différents archipels, ce paradigme est remis en question. Pour les mollusques, un auteur australien a pu montrer qu'il n'y avait pas de différence significative entre la richesse des côtes ouest et nord australienne et celle d'Indonésie.

La Nouvelle-Calédonie possède une faune marine très diversifiée et presque aussi riche que celle de l'archipel indo-malais. Bien que la totalité de la faune soit loin d'être étudiée, on peut avancer les estimations suivantes par groupes (faune et flore) pour la seule zone littorale (0-100 m) :

<i>Bactéries</i>	?	<i>Spongiaires</i>	600
<i>Protoctistes unicellulaires</i>	?	<i>Bryozoaires</i>	300
<i>Protoctistes pluricellulaires</i> (algues)	500	<i>Cnidaires (coraux, gorgones, anémones...)</i>	1000
<i>Champignons</i>	?	<i>Echinodermes</i>	300
<i>Plantes (phanérogames)</i>	6	<i>Mollusques</i>	10000
		<i>Crustacés</i>	5000
		<i>Ascidies</i>	200
		<i>Poissons</i>	1300
		<i>Reptiles</i>	20
		<i>Mammifères</i>	10

Ces estimations sont approximatives dans la plupart des groupes d'invertébrés. Parfois nos connaissances sont quasiment nulles. Quand nous croyons bien connaître une faune, nos illusions ne persistent pas longtemps. Ainsi pour les mollusques gastéropodes, groupe bien connu des collectionneurs de coquillages, et qui avait de longue date fait l'objet d'un échantillonnage dans les lagons : on connaissait environ 1500 espèces. Un échantillonnage intensif, mené par des spécialistes pendant deux mois dans les régions de Touho et de Koumac en 1993, a permis de récolter environ 3000 espèces dont beaucoup sont nouvelles : on a pu observer sur quelques mètres carrés de pente récifale externe plus de 580 espèces ... soit l'équivalent de toute la faune malacologique de Grande-Bretagne !

Devant notre ignorance, faut-il renoncer à décrire la biodiversité ? Bien au contraire, il faut augmenter l'effort d'échantillonnage dans tous les milieux et toutes les gammes de taille et utiliser les compétences taxonomiques internationales pour étudier et décrire ces espèces.



## Réalisation d'un Guide faunistique

Passé la période d'exploitation et de description systématique des espèces, il est utile de rendre accessibles ces nouvelles connaissances au public et aux écologistes. L'une des méthodes de vulgarisation généralement retenue est la publication d'un "**Guide faunistique régional**" qui traitera en détail d'un groupe zoologique en présentant des clefs d'identifications et des informations sur la biologie de chaque espèce (nutrition, croissance, reproduction, habitat, répartition géographique...).

En Nouvelle-Calédonie, malgré l'ancienneté des activités de recherche, très peu de documents de ce genre ont été produits. Il existe pour l'instant :

- un Guide des **poissons** de Nouvelle-Calédonie (ancienne version qui devrait être totalement refondue prochainement);
- un Guide des **Echinodermes** qui permet d'identifier les oursins, étoiles de mer, holothuries et les principales espèces de crinoïdes et d'ophiures (240 espèces);
- un Guide des **Ascidies** qui présente au public ce groupe peu connu mais abondant et permet de reconnaître quelques espèces caractéristiques de nos lagons (? espèces).

Plusieurs autres guides sont en chantier et concernent les **mollusques nudibranches** (500 espèces), les **gorgones** (90 espèces), les **éponges** (600 espèces), les **madrépores** (450 espèces).

Réaliser un Guide implique de nombreuses étapes et un travail d'équipe. Lors de la récolte des organismes, des photographies sous-marines sont réalisées afin de pouvoir représenter l'espèce *in situ* dans le futur guide.

Les spécimens correspondant aux photographies sont étudiés en laboratoire afin d'identifier les espèces à partir des travaux de systématique précédemment publiés. Cette étude nécessite souvent des préparations microscopiques pour observer les spicules (Spongiaires, Echinodermes) ou encore des photographies en microscopie électronique (Gorgones, Mollusques).

La rédaction d'un Guide faunistique régional est l'occasion de réviser les connaissances sur les espèces d'une vaste zone, ici la province Indo-Pacifique, et d'établir des clefs d'identifications. Parfois, pour les groupes peu connus, il est nécessaire d'expliquer également la biologie, l'écologie et le comportement des espèces. Chaque texte est préparé par un spécialiste à partir de ses propres travaux et de l'analyse de toute la littérature internationale.

La parution du Guide n'est pas le point final de l'étude d'un groupe. Un tel document servira de base à de multiples travaux d'écologie, à la formation des étudiants et à l'information du public. Sa durée de vie se comptera souvent en dizaines d'années.



## Origine de la biodiversité : l'histoire du vivant

### L'origine de la vie

Personne, actuellement, ne sait vraiment ce qu'est la vie et comment elle est apparue. On a simulé en laboratoire (Stanley Miller, dès 1953) l'atmosphère primitive supposée de la Terre et on a obtenu, par des décharges électriques répétées, la synthèse de plusieurs acides aminés et d'autres molécules-clés des cycles vitaux. Mais les biochimistes ne savent toujours pas synthétiser de la matière vivante, douée d'auto-réplication : elle ne se réduit pas un assemblage complexe de protéines...

*Un être vivant est totalement différent de la matière inanimée, par sa composition moléculaire hautement improbable dans l'univers, par son existence programmée dans le temps, par ses caractéristiques transmissibles à sa descendance et capables d'évoluer en fonction de son environnement.*

La vie s'est diversifiée pendant si longtemps, dans tant de directions, qu'il est difficile de reconnaître des parentés. Pourtant, il s'agit bien d'une seule vie, **extraordinairement polymorphe**. Les formes et les stratégies des êtres vivants ne sont pas quelconques : elles obéissent à des règles physico-chimiques strictes (symétries moléculaires, contraintes thermodynamiques) et elles ont été sélectionnées par la pression de l'environnement au cours de plusieurs millions d'années d'évolution. La reconnaissance de l'évolution du vivant a représenté un pas très important dans le savoir de l'humanité.

### La diversité génétique

La diversité génétique est l'ensemble des variations hérissables à l'intérieur des populations d'une espèce, ou entre les populations, ou entre les espèces. On peut la mesurer à partir de caractères morphologiques comme le nombre de bandes sur la coquille d'un escargot, ou la couleur des yeux chez l'homme. On peut aussi utiliser les groupes sanguins, ou les séquences de certains fragments de gènes. La comparaison des individus ou groupes d'individus sur la base des caractères génétiques permet de reconstituer leurs liens de parenté et leur généalogie (on parlera de phylogénie dans le cas des relations entre espèces), et ainsi de remonter à leur ancêtre commun.

La **variabilité** des caractères résulte toujours de **mutations**, erreurs de copie affectant l'ADN, molécule constitutive du génome (ensemble des gènes) de tous les êtres vivants. Au cours du temps, cette variabilité est soumise au tri opéré par les 3 grandes forces évolutives que sont la sélection naturelle, la migration et la dérive due au hasard. La **sélection naturelle** consiste en la survie ou l'accroissement de fécondité relative de certains individus, ce qui entraîne une augmentation, dans la population, des fréquences des gènes qu'ils portent : le processus peut à la longue conduire à l'évolution de la population. La **migration** tend en général à contrer la sélection, par l'introduction dans la population de gènes présents dans les populations voisines. Le **hasard**, enfin, peut aussi jouer un rôle dans les changements des fréquences des gènes, en particulier dans le cas des populations fragmentées.

### La vie au cours du temps : les grandes étapes

L'étude des formes de vie du passé fait l'objet d'une science, la **paléontologie**. L'étude stratigraphique et la classification des fossiles, marqueurs des époques géologiques, ont permis de découper l'échelle des temps en ères, étages et périodes. Les frontières entre les grandes ères correspondent à de profonds remaniements floristiques et faunistiques. Une immense période de temps (de -3800 à -550 millions d'années = M.A.) constitue l'Archéen et le Protérozoïque : la vie est apparue et s'est diversifiée, mais les témoins fossiles sont peu nombreux. La suite, mieux documentée, se divise en trois grandes ères : Paléozoïque (-550 à -245 M.A.), Mésozoïque (-245 à -65 M.A.), Cénozoïque (-65 M.A. au présent).

Les premiers êtres vivants sont des « procaryotes » (bactéries, cyanophycées), organismes unicellulaires dont l'ADN est libre dans le cytoplasme : leur reproduction se fait par clonage. La photosynthèse est apparue entre -3000 et -2000 M.A. L'individualisation du noyau a donné le type « eucaryote » (-1500 M.A.) : l'acquisition de la reproduction sexuée a dès lors permis un brassage des gènes favorisant la diversification des formes vivantes. Les premiers êtres multicellulaires identifiés sont des filaments d'algues vertes vieux de 1200 M.A. et les premières formes animales sont des médusoïdes vieux de 700 M.A. L'oxygène produit par la photosynthèse a profondément modifié les conditions de la vie sur la planète. Entre autres conséquences, la libération de cet oxygène dans l'atmosphère a permis la conquête

ultérieure de la terre ferme, après que la formation de la couche d'ozone ait très fortement atténué les effets mortels du rayonnement ultra-violet : les êtres vivants sont sortis de l'eau il y a plus de 400 M.A..

### **Apparitions et extinctions**

Les espèces évoluent dans le temps : elles apparaissent, se développent puis disparaissent, soit que les conditions d'environnement aient changé, soit que la compétition avec d'autres espèces devienne trop rude. L'extinction des espèces est donc un phénomène naturel, indispensable à l'évolution du vivant. La durée moyenne estimée de l'existence d'une espèce varie entre 2 et 8 M.A.

En dehors de ces extinctions normales, on constate des **crises d'extinctions** qui témoignent de bouleversements écologiques à l'échelle planétaire : altérations climatiques profondes, ouverture de mers par la séparation de masses continentales, phases d'activité volcanique de grande ampleur. Ces crises sont parfois attribuées à des phénomènes astronomiques, tels que la collision avec une météorite géante, et certains ont cru y déceler une périodicité de l'ordre de 26 millions d'années.

A la lenteur de ces extinctions, à l'échelle des temps géologiques, on peut opposer la cadence infernale d'érosion de la biodiversité imposée par les activités humaines en cette fin du 20ème siècle. La destruction d'écosystèmes complets entraîne l'extinction de milliers d'espèces qui y vivent. **On estime que dans moins de 10 ans, 5 à 20% des espèces auront disparu du fait des activités humaines !** La surpopulation des pays pauvres, mais aussi la négligence des sociétés industrialisées, entraînent déforestation, perturbation des systèmes hydriques, pollution chimique et organique, effet de serre... et l'indifférence quant aux destructions n'est pas le triste monopole des pays défavorisés.

#### **Les grandes crises d'extinctions**

*On a évalué l'évolution de la biodiversité au cours des périodes géologiques. Les passages d'une ère à l'autre correspondent à des catastrophes biologiques : un grand pourcentage des espèces vivantes disparaissent brutalement.. à l'échelle des temps géologiques. La plus importante catastrophe semble s'être produite entre le Paléozoïque et le Mésozoïque (-230 à -250 M. A.) : plus de 50% des espèces disparaissent et certains groupes, comme les trilobites, s'éteignent. La fin du Mésozoïque (-65 à -70 M. A.) correspond à l'extinction des dinosaures, mais aussi des ammonites et d'un grand nombre d'autres espèces marines.*

#### **Fossiles et fossiles vivants**

*Les fossiles sont les témoins de l'évolution. Même lorsque la fossilisation est excellente, seules les formations squelettiques (externes ou internes) sont conservées, parfois seulement des moulages et souvent des fragments difficiles à interpréter. Les gisements de fossiles bien conservés sont rares et la reconstitution des conditions environnementales souvent très hypothétique. La découverte d'organismes vivants appartenant à des lignées supposées éteintes est donc un événement important pour la science. Un tel « **fossile vivant** » est une sonde apportant du passé des informations inespérées sur la biologie et l'écologie des espèces disparues. Certains de ces organismes sont connus depuis longtemps : les **nautilies**, les **stromatolithes**, le **Ginkgo biloba**. D'autres, comme le **coelacanthe** capturé en 1938 sur la côte Est d'Afrique du sud, ont connu un tel engouement qu'ils ont vulgarisé le terme de fossile vivant.*

*C'est seulement dans la deuxième moitié du 19ème siècle que les premières récoltes dans les profondeurs des océans ont ramené des fossiles vivants, dont les plus remarquables sont les **crinoïdes pédonculés**. Les naturalistes embarqués sur le « Challenger » espéraient même retrouver en profondeur des mondes perdus. Ils ne se trompaient pas totalement ! Les découvertes de ces 10 dernières années dans la zone bathyale supérieure de la Nouvelle-Calédonie montrent qu'il subsiste bien dans les profondeurs des faunes supposées disparues : ainsi le crinoïde pédonculé **Gymnocrinus richeri**, qui appartient à une radiation Jurassique supposée éteinte. Il semble que la fréquence de ces formes archaïques soit particulièrement élevée dans notre région. On a ainsi retrouvé des spongiaires « disparus », des espèces du groupe des sphinctozoaires supposé éteint depuis le Paléozoïque ; un représentant vivant des graptolithes, groupe qui était florissant il y a 400 M. A.; des mollusques Pleurotomariidae, des brachiopodes, des bryozoaires... Ces reliques du passé vivent actuellement dans les profondeurs marines au sud de la Nouvelle-Calédonie.*

## Poussières de plantes : biodiversité, pollen et archéologie

Le caractère insulaire de la Nouvelle-Calédonie confère à sa flore une grande originalité mais aussi une grande fragilité. L'isolement a favorisé le développement d'une flore endémique remarquable qui n'a été soumise, avant l'arrivée de l'homme, qu'à des contraintes climatiques et édaphiques, un sol et un climat particulier entraînant la mise en place d'associations végétales caractéristiques.

Les premiers hommes qui se sont installés sur l'île ont trouvé une végétation climacique déterminée. Ils ont modifié cette végétation en introduisant les plantes alimentaires et médicinales traditionnelles qu'ils avaient apportées avec eux. Ils ont ensuite aménagé leur espace et progressivement le paysage de la Nouvelle-Calédonie s'est transformé jusqu'à nos jours.

### Palynologie et formes actuelles

Les grains de pollen qui sont les cellules reproductrices mâles des plantes mettent en évidence au même titre que les plantes elles mêmes la diversité du monde végétal. En effet à chaque espèce correspond une forme de pollen différente. Le pollen est déterminé en fonction de nombreux critères (forme, ornementation de la membrane cellulaire...) et peut servir d'outil précieux dans la détermination des plantes.

### Palynologie et Paléobotanique

Le pollen, grâce à la structure particulièrement résistante de sa membrane, a la propriété de se fossiliser. On le retrouve dans certains types de sédiments réducteurs tels que les argiles et les tourbes. L'étude du contenu pollinique de sédiments, même anciens, va permettre de reconstituer la végétation du passé et son évolution.

La nature des formations végétales étant inféodée au climat, retracer l'évolution de la végétation revient à retrouver d'éventuelles variations climatiques.

### Archéologie et Ethnobotanique

Les témoignages les plus anciens de la présence de l'homme en Nouvelle-Calédonie sont pour l'instant datés d'environ 3000 ans B.P. (Before Present = année 1950).

L'archéologie, l'ethnologie, cherchent à reconstituer le mode de vie des premiers habitants de l'île et de leurs descendants, l'usage qu'ils ont fait de leur milieu : introduction de plantes, d'animaux, mise en culture du sol, incendies, déboisement, reboisement.

- **climacique** : en équilibre avec les conditions naturelles, sans intervention de l'homme.
- **endémique** : se dit d'une espèce animale ou végétale à aire restreinte et originaire du pays où on la trouve.
- **édaphique** : facteurs écologiques liés uniquement au sol.



## **Les otolithes des poissons osseux**

Les otolithes sont des concrétions calcaires présentes dans l'oreille interne des poissons osseux. Au nombre de trois, *sagitta*, *lapillus* et *asteriscus* elles sont généralement constituées par des couches concentriques de cristaux d'aragonite insérés dans un réseau de fibres protéiques. De ce fait, **elles sont plus dures et moins altérables qu'aucune autre pièce squelettique**, de telle sorte que dans les strates géologiques, sur les sites archéologiques et dans les contenus stomacaux des prédateurs, elles constituent fréquemment les seuls restes de poissons qui soient encore déterminables et mesurables.

**La forme et les ornements de la *sagitta***, généralement la plus volumineuse des trois, **sont caractéristiques de l'espèce et**, au sein d'une espèce, **des différents stades de son développement**. D'identification aisée - du moins au niveau générique - peu encombrantes, faciles à trier et à stocker pour des durées illimitées sans précautions particulières, elles font depuis longtemps l'objet d'études dans de nombreuses disciplines notamment en halieutique où **l'analyse de leur taille et de leur structure fournit des informations essentielles sur l'âge des poissons**.

Une **collection de référence** d'otolithes de plus de 1500 espèces de poissons capturés dans la Zone Economique Exclusive de Nouvelle-Calédonie est conservée au Muséum national d'Histoire Naturelle de Paris. Une partie de cette collection est disponible au laboratoire d'ichtyologie du Centre ORSTOM de Nouméa.



**Dégradation de la biodiversité**  
**Facteurs de déséquilibres**

Dans l'agriculture « moderne », les impératifs de production ont entraîné une **homogénéisation génétique** progressive des variétés cultivées au sein de chaque espèce.

La sélection variétale privilégie en priorité les **rendements**, et certains caractères favorisant la **mécanisation des cultures**. Le plus souvent, la spécialisation des variétés se fait **au détriment d'autres caractéristiques**, telles que la résistance aux maladies.

Cette **perte de la diversité** génétique originelle rend les cultures vulnérables à l'égard des agents pathogènes. De nombreuses **catastrophes pathologiques** illustrent les dangers de ces techniques d'amélioration des plantes, trop réductrices au plan génétique.

**Réduction de la diversité génétique**  
**=**  
**Facteur de déséquilibre**



## Dégradations, destructions

### Suivi de la destruction du couvert végétal à l'aide de l'imagerie satellitale spot

Hormis les catastrophes naturelles, dont les cyclones, l'homme est le principal agent de transformation et de destruction du couvert végétal et de la biodiversité qui y est associée. Ces perturbations ne sont pas continues, mais ponctuelles dans le temps ; à un moment donné, elles ne couvrent qu'une faible partie de l'espace. Analyser leur impact sur le paysage et les écosystèmes insulaires nécessite donc une observation à long terme sur de vastes superficies. L'imagerie satellitale à haute résolution de type SPOT répond à ces objectifs.

La comparaison de deux images Spot, respectivement acquises en juillet 1987 (carte A) et 1992 (carte B), nous a permis d'estimer les dégradations du couvert végétal opérées en cinq ans sur trois ensembles paysagers contigus de la commune de Païta : les contreforts de la chaîne centrale, la plaine agricole et les collines du bord de mer. Ont été classées comme dégradées toutes zones dont l'activité chlorophyllienne (représentée sur les images Spot par la couleur rouge) a fortement diminué en cinq ans, signe d'une moindre densité du couvert arboré ou arbustif ou de sa disparition au profit d'une couverture herbacée sèche. Paradoxalement, la dégradation peut également se manifester par une nette augmentation de l'activité chlorophyllienne lorsque le couvert arboré ou arbustif, détruit par le feu est remplacé par un tapis dense "d'herbe tendre".

Dans la plaine agricole, les transformations du couvert végétal résultent de la mise en culture d'anciennes zones de pacages et de fourrés arbustifs ; elles sont également imputables à l'extension de l'habitat. Dans les collines littorales, ces dégradations sont le résultat du feu et d'un accroissement des zones cultivées dans quelques fonds de vallée. Bien que de nombreuses zones, dégradées par l'élevage caprin il y a quelques années, soient actuellement couvertes de fourrés arbustifs de *Leucaena leucocephala*, de superbes reliques de la forêt sclérophylle subsistent dans les vallées et dans les talwegs des versants, conférant à ces collines du bord de mer un grand intérêt du point de vue de la biodiversité.

Les contreforts de la chaîne centrale forment l'ensemble paysager qui a le plus souffert des dégradations de 1987 à 1992. Celles-ci sont essentiellement l'oeuvre du feu. La difficulté d'accès d'une région, sa faible implication dans l'économie locale et la faible fréquentation humaine qui en résulte ne réduisent donc nullement la probabilité d'apparition des incendies ; au contraire, ceux-ci sont associés à des activités requérant l'isolement, notamment la chasse et la promenade.

Les grands types de végétation de la zone étudiée sont en cours de détermination à partir de l'image de 1987. Une première esquisse est présentée carte C. Les pâtures et les champs labourés ont été respectivement intégrés aux classes "savane herbacée" et "fourrés arbustifs". De nombreuses zones de cette image présentaient une information incomplète du fait de la présence de nuages ou d'ombres trop accentuées, elles ont été couvertes d'un masque "ombres et nuages" qui apparaît en noir sur les cartes A et C, et en blanc sur la carte D. Le croisement de la carte des types de végétation et de la carte des zones dégradées permet de connaître les dégradations par type de végétation. La forêt, étant la formation dominante des contreforts de la chaîne centrale, il est logique de ce soit le milieu qui ait été le plus dégradé de 1987 à 1992.

La mise en évidence des directions principales de dégradations indique que celles-ci suivent de manière privilégiée les lignes de crêtes et les versants adjacents. En revanche les vallées et les talwegs, où le couvert végétal arboré ou arbustif est plus dense, sont moins touchés. Dans ces zones, les incendies ne se propagent en général que sur les marges et des possibilités de régénération du couvert végétal existent si la fréquence des incendies est faible. Dans le cas contraire, la couverture arborée ne peut se

reconstituer et laisse la place à un écosystème beaucoup plus simple dans sa structure comme dans son fonctionnement, composé de formations herbacées ou arbustives capables de se régénérer entre deux incendies et tolérant un sol plus pauvre. Mis à nu par l'incendie, le sol forestier est en effet soumis au ruissellement, d'autant plus intense que les pluies sont violentes et fréquentes, que le relief est accentué et que les obstacles sur le sol (branches, pierres) sont rares. D'une manière générale, les capacités de régénération d'un couvert végétal après un incendie dépendent de sept facteurs : la nature du couvert végétal, son degré de destruction par l'incendie, la pente du versant sur laquelle il se développe, la composition du sol, la fréquence des précipitations, la violence de celles-ci, la fréquence des dégradations.

Sur les crêtes, le passage successif des incendies, la raideur des pentes et la maigreur des sols font que la végétation est généralement très dégradée : les arbres sont rares et de maigres buissons se cramponnent aux versants là où existaient autrefois les frondaisons de la forêt. A chaque incendie, les taches de sols dénudés s'agrandissent. Les zones les plus dégradées sont les plus fragiles à toute nouvelle dégradation : la dégradation appelle donc la dégradation et conduit à terme à la destruction.

#### ***La télédétection satellitale***

*Survolant une même région tous les 26 jours, le satellite Spot (le numéro 3 a été lancé il y a un an) est une source de collecte permanente d'information géographique. Une résolution au sol de 10 ou de 20 mètres (la plus petite unité géographique observable sera donc de 100 m<sup>2</sup> ou de 400 m<sup>2</sup>), une grande flexibilité d'acquisition sur un point quelconque du globe, une bonne précision géométrique en font un outil particulièrement bien adapté à la cartographie de l'évolution des phénomènes terrestres.*

*Les images satellitales sont des photographies numériques de la surface de la terre à un instant donné. Seuls les ordinateurs ou les stations de travail sont capables de décoder cette information numérique et d'automatiser les calculs nécessaires à l'interprétation des images.*

*Le type de représentation le plus usité d'une image spot est la composition colorée, l'intensité de la couleur rouge est proportionnelle à la densité du couvert végétal, la couleur verte fait ressortir les terrains nus, la couleur bleue les récifs et la couleur blanche les nuages.*

## **Déséquilibres biologiques dûs à l'action humaine**

### **La forêt sclérophylle : un exemple brûlant**

Le terme "**FORET SCLEROPHYLLE**" désigne l'ensemble des formations forestières intactes ou plus ou moins dégradées, sempervirentes constituées d'espèces végétales à feuillage dur, vernissé, caractérisées par une strate arborescente dominée par des arbres de faibles dimensions (15 m de haut et 40 cm de diamètre, pour les plus gros), d'un sous-bois prenant l'allure de fourré plus ou moins denses composé d'arbustes, de buissons, de nombreuses lianes et de quelques herbacées (des Graminées pour l'essentiel).

S'étendant jadis de 0 à 300 m d'altitude sur plus de 4000 km<sup>2</sup>, elle ne couvre aujourd'hui qu'une superficie d'environ 350 km<sup>2</sup> sous forme de lambeaux relictuels isolés, bien différents les uns des autres par leur composition floristique, le long de la côte Ouest et Nord (Nouméa, Païta, Bouloupari, Moindou, Poya, Pouembout, Voh, Arama,...).

Elle ne se développe que dans les zones les plus sèches de la Grande Terre, là où la pluviométrie annuelle est souvent inférieure à 1000 mm et les températures élevées, sur des substrats variés la plupart de temps sur des roches sédimentaires (calcaires, phtanites, grès, flyschs,...)

Elle est exclue des roches ultramafiques, mais il arrive parfois que des colluvions d'origine ultramafique recouvrent le substrat sédimentaire (comme à Pindaï, Nékoro, Pouembout) sans que cela ne nuise à son développement.

Le caractère sclérophylle de cette formation est donc lié au seul déficit hydrique du milieu, ce qui lui vaut d'être appelée parfois " forêt sèche "

#### **La flore de la forêt sclérophylle**

A ce jour, 410 espèces de végétaux ont été répertoriées dans cette formation, réparties en 246 genres et 91 familles. Parmi ces espèces, 230 sont endémiques représentant un taux d'environ 56 % du total. Plusieurs espèces sont très rares et ne se trouvent que dans une ou deux stations. A cause de sa faible superficie et des conditions de milieux particulières, la forêt sclérophylle apparaît comme une formation appauvrie floristiquement par rapport à la forêt dense ou au maquis minier. Elle représente environ 13% du total des espèces autochtones connues du territoire.

#### **Vulnérabilité de la forêt sclérophylle**

L'action conjuguée de plusieurs facteurs tels que : feux de brousse, extension des pâturages et des zones urbanisées, envahissement par des espèces introduites (invasions biologiques) a contribué à la disparition progressive de cette formation primaire et à sa réduction à l'état de lambeaux isolés relictuels.

En outre, la présence en trop grand nombre d'animaux (cerfs, bovins, chèvres, cochons etc...), dont l'impact sur les germinations et les plantules est néfaste, fragilise encore plus le milieu en empêchant toute régénération. La forêt sclérophylle est l'unité de végétation la plus menacée du territoire.

#### **Mesures de Sauvegarde**

La situation catastrophique, car proche de l'irréversibilité dans beaucoup de secteurs, nécessite l'élaboration de mesures urgentes pour protéger les quelques lambeaux forestiers qui subsistent. A savoir :

- la mise en réserve de zones reconnues pour leur richesse floristique (association d'espèces de la formation initiale, rareté, endémisme ponctuel...).
- l'installation de clôtures contre les prédateurs, afin de maintenir les germinations et les plantules et favoriser ainsi le renouvellement et l'extension de la forêt.
- la protection contre les incendies (surveillance, pare-feu).
- l'élevage en pépinière d'espèces sclérophylles destinées à être réimplantées dans leur milieu d'origine.



## Diversité des poissons récifaux dans le Pacifique tropical

Il existe environ 3000 espèces de poissons récifaux dans le Pacifique tropical. Ces poissons présentent une diversité de taille (les plus petites espèces, des Gobies, mesurant moins de un cm à l'état adulte alors que les plus grandes, des requins et certaines raies, atteignent plusieurs mètres), une diversité de forme (poissons coffres presque cubiques, poissons trompettes filiformes, poissons couteaux très effilés, etc, ...), une diversité de coloris (poissons arlequins à la livrée multicolore, poissons pierres se confondant parfaitement avec leur environnement...) et une diversité de comportement alimentaire (poissons papillons brouteurs de corail, poissons nettoyeurs, herbivores tels que les picauts, et de multiples formes de carnivores tels que les loches, les bossus...).

### La diversité dans les zones tropicales et dans les zones tempérées

Le nombre d'espèces récifales dans le Pacifique tropical est considérablement plus élevé que ce qui s'observe en mer tempérée où, par exemple, sur l'ensemble de l'Europe, on ne compte que 600 espèces environ liées à des fonds rocheux. A cette grande diversité observée dans nos régions correspond également une organisation beaucoup plus complexe. En zone tempérée, on ne compte que quelques types de régimes alimentaires (piscivores, carnivores, planctonophages et herbivores), chaque espèce ne se nourrissant presque exclusivement que sur une catégorie d'aliment. Si sous nos latitudes se retrouvent les mêmes régimes alimentaires, ils y sont en revanche beaucoup plus variés. Ainsi, la plupart de nos poissons récifaux présentent-ils soit des régimes alimentaires très spécialisés (corallivores, nettoyage des parasites, mangeurs de méduses) soit des régimes alimentaires complexes (poissons à la fois piscivores et carnivores, herbivores et planctonophages, détritivores et herbivores...).

### Les variations dans la diversité des poissons du Pacifique tropical

Le nombre d'espèces diminue d'ouest en est ; il en est naturellement de même de la diversité des tailles, des formes, des coloris... Les zones les plus riches sont l'Indonésie, les Philippines et la Papouasie Nouvelle-Guinée. La Nouvelle-Calédonie figure parmi les zones riches (environ 1200 espèces) ; à l'inverse, la Polynésie Française fait partie des zones les plus pauvres (environ 650 espèces).

Toutes les familles de poissons ne sont pas concernées de la même façon par cette diminution d'ouest en est. Certaines, telles que celle des poissons papillons (*Chaetodontidae*) sont peu affectées. D'autres, telles que celles des bossus et des becs de cane (*Lethrinidae*) ou celle des loches (*Serranidae*), comportent beaucoup plus d'espèces dans le Pacifique occidental que dans le Pacifique oriental. Il résulte de ces variations que la diversité des tailles, des formes, des coloris et des comportements... change également d'une zone à l'autre du Pacifique. C'est ainsi que les poissons de très petite taille sont plus nombreux en Nouvelle-Calédonie qu'en Polynésie Française ou encore qu'on observe davantage de poissons mangeant du plancton dans notre région que dans le Pacifique tropical central.

Cette tendance s'observe également pour les poissons d'intérêt commercial. On constate en effet que le choix du consommateur porte sur plus d'espèces en Nouvelle-Calédonie (environ 220 espèces consommables) qu'en Polynésie Française (environ 100 espèces consommables).

### La biodiversité et la pêche

Les changements observés dans les régimes alimentaires, les tailles, les formes, les comportements... sont le résultat de fonctionnements différents des peuplements de poissons dans l'ouest et dans l'est du Pacifique. Il en résulte que ces différences sont à prendre en compte dans l'aménagement des pêches ; il est en effet probable que l'exploitation trop intensive d'une espèce dans une zone riche aura des conséquences moindres que dans une zone pauvre. Tenant compte de ces particularités liées à la diversité, la gestion des ressources devra y être réalisée de façon différente, les résultats obtenus dans une zone n'étant généralement pas extrapolables à d'autres.



## **Les propriétés médicinales des plantes selon les traditions et selon les sciences**

Les médecines traditionnelles sont à l'origine de 60% des médicaments actuels. L'enquête ethnobotanique ou ethnopharmacologique est donc à la base de la recherche de nouvelles pistes, qui sera suivie de la récolte des plantes utilisées et de leur étude ultérieure suivant le schéma classique : vérification sur un modèle expérimental adapté de l'activité pour laquelle la plante est utilisée, puis fractionnement guidé par test biologique.

Pour découvrir l'intérêt médicinal d'une plante prise au hasard dans la nature, plusieurs opérations sont nécessaires dans le cadre des médecines traditionnelle ou moderne : le choix de la plante à tester, la mise en évidence de son activité, la mise en pratique médicale. Explorer la biodiversité dans ce but demande des outils adaptés, en accord avec les conceptions diverses et locales de la maladie, du médicament et de la thérapie. Pour les sociétés traditionnelles, la maladie est souvent considérée comme un dérèglement dû à des causes le plus souvent surnaturelles, alors que la médecine moderne recherche plutôt les causes biologiques de ces mêmes perturbations. Le choix des plantes à tester s'exerce donc là dans des contextes très différents.

### **La pharmacopée traditionnelle**

En médecine traditionnelle, le médicament a une dimension essentiellement symbolique, et les guérisseurs ou les chamanes appliquent une théorie d'ordre analogique, la « théorie des signatures », en vertu de laquelle il est possible d'agir sur une personne, un esprit ou une chose par l'intermédiaire de son image. Dans cette idée, les haricots, qui ont la forme des reins, peuvent être recommandés contre les maladies de ces organes ; les plantes à latex blanc sont administrées contre les problèmes de sécrétions ; les espèces à sève ou feuilles rouges dans les désordres sanguins, etc.

Ce raisonnement est dans les sociétés traditionnelles, qui sont rurales, le principal outil d'exploration des plantes. Le tradipraticien, c'est-à-dire le guérisseur, l'applique souvent à la suite de rêves ou par divination, pour déterminer la cause de la maladie, le traitement et les plantes nécessaires. La validité de la théorie n'est pas remise en cause par un échec du remède, cet insuccès étant attribué à une mauvaise conduite du traitement (tabous enfreints, rites mal observés, etc). Les essais successifs ne constituent donc pas une expérimentation de type scientifique, mais une suite de tentatives d'action magique dont on ne peut tirer de conclusion évidente.

Les essais des remèdes ainsi choisis sont faits directement sur les patients. Grâce à cet embryon d'expérimentation de type clinique, une sélection empirique s'est faite au fil des siècles. Les pharmacopées traditionnelles rassemblent donc un ensemble hétéroclite d'espèces biologiquement actives et d'espèces magiques sans activité pharmacologique.

### **La pharmacopée moderne**

En médecine moderne, l'approche est différente, puisque l'on recherche des relations de cause à effet d'ordre biologique sur un modèle aussi précis que possible. On essaie de travailler sur une seule variable et au terme de l'expérimentation, les hypothèses des chercheurs ne sont vérifiées qu'en présence de résultats mesurables et reproductibles.

Pour trouver selon ce principe de nouveaux médicaments issus de la nature, trois voies de recherche principales existent :

- l'exploration des pharmacopées traditionnelles sur des bases scientifiques, pour valoriser leur expérience tout en éliminant les plantes toxiques, inutiles ou magiques,
- les essais biologiques systématiques (« screening biochimique »),
- la copie de molécules actives connues (copie conforme ou dérivés).

La biodiversité que l'on trouve dans les plantes des pharmacopées traditionnelles est donc le fruit d'une connaissance empirique très ancienne, qui doit être interprétée et explorée de manière scientifique pour y découvrir de nouveaux remèdes.

**Relation entre le malade et son thérapeute :**

**diversité des comportements et efficacité thérapeutique**

*Il ne faut pas oublier que la maladie est un problème individuel qui s'exprime différemment selon les cultures. Au-delà de l'activité du médicament, la relation entre le malade et son médecin ou son guérisseur est capitale pour la guérison du patient. Une personne qui se croit « emboucanée » ne sera pas guérie seulement par des antibiotiques et une infection à staphylocoques bien méchants ne disparaîtra pas avec des « contre-boucans ». On ne peut donc réduire une maladie à ses symptômes, ni un traitement médical à l'activité des médicaments administrés. Dans cet ordre d'idées, la relation subjective entre le patient et son environnement familial et médical est une donnée essentielle mais difficile à mesurer.*

## Utilisation des coraux en médecine osseuse

Qui aurait pu penser qu'un jour ces merveilleux jardins de coraux viendraient au secours de la charpente humaine ?

Shakespeare peut-être l'avait déjà pressenti ...

*Et voici que ton père gît par cinq brasses de fond,  
Ses os sont maintenant faits de corail,  
Ses yeux sont des perles :  
Rien en lui ne s'étiole,  
Mais il subit la métamorphose marine  
En quelque chose de riche et d'étrange.*

*La Tempête, acte I, scène I.*

### Le corail

Les édifices coralliens sont les plus importantes bioconstructions connues de la planète. Les madrépores en constituent une part non négligeable. Jean-André PEYSSONNEL les a décrits en 1723, comme des organismes appartenant au règne animal. Le corail ou madrépore appartient à l'embranchement des cnidaires, au même titre que les méduses, les gorgones, les anémones de mer et le corail noir. Ils ont tous en commun des cellules urticantes, dont ils se servent pour se défendre ou paralyser leurs proies.

Généralement organisés en colonies, ils vivent en symbiose avec des dinoflagellés : les zooxanthelles. Ces « microalgues », situées dans la chair des coraux, utilisent l'énergie solaire pour réaliser la photosynthèse dont les produits aident à la calcification du squelette du corail. En échange, le corail fournit grâce à ses déchets organiques des « engrais » à ses symbiotes. Les zooxanthelles fournissent bien-sûr de l'oxygène et consomment du gaz carbonique, et c'est ainsi que l'on peut considérer les récifs comme de véritables poumons de la planète au même titre que les forêts.

### Reproduction des coraux

Les coraux se reproduisent en général une fois par an, quelques nuits après la pleine lune d'été, c'est à dire entre Octobre et Février en Nouvelle-Calédonie. Véritables écrins de vie, les colonies mères libèrent simultanément les micro-billes roses contenant les gamètes mâles et femelles. Leur fusion externe donnera naissance à des larves que l'on appelle des *planula*, qui nageront au gré des courants jusqu'à ce qu'elles trouvent un support favorable. Elles se transforment alors en polypes et chaque polype se divisera ensuite pour donner une colonie.

### Destruction du corail

Bien sûr les coraux meurent aussi. Ils ont quelques prédateurs tels que les acanthasters, les poissons perroquets... Ils sont aussi détruits par les cyclones ou par des stress divers tels qu'une température de l'eau, trop chaude (supérieure à 29°) ou trop froide (inférieure à 19°), une désalinisation importante ou encore des U.V. trop forts, provoquant alors des phénomènes de blanchiment. L'homme est aussi un prédateur du corail. Il l'utilise pour l'artisanat, pour la fabrication de la chaux, pour la création de route et aussi en chirurgie osseuse. La réglementation de la pêche du corail est très stricte en Nouvelle-Calédonie.

### Croissance et squelettogénèse

Les coraux ont une croissance très lente. Une colonie de *Faviidae* de 1m de diamètre, par exemple, a environ 1 siècle ! Le polype sécrète des parties très dures, à partir du calcium contenu dans l'eau de mer. Le squelette est formé de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , sous la forme cristalline d'aragonite. Il sert de support au polype et détermine la morphologie de l'ensemble de la colonie. Les cellules endodermiques du polype pompent dans l'eau de mer les ions  $\text{Ca}^{++}$  qui sont alors transportés activement dans les sites de squelettogénèse situés à l'extérieur de l'ectoderme. Ce calcium serait alors absorbé sur un matériel mucopolysaccharidique, qui forme une partie de la matrice organique. Cette matrice servirait de « patron » à l'agencement des cristaux de carbonate de calcium. Le calcium de l'eau de mer se combine à cet instant au  $\text{CO}_2$  dissous, et forme le carbonate.

### L'os

L'os est un tissu vivant dont la matrice protéique de collagène a été imprégnée par des sels minéraux, en particulier par des phosphates de calcium. Un rapport adéquat entre protéines et sels minéraux est nécessaire au maintien d'une structure osseuse normale. Les minéraux de l'os sont essentiellement sous forme d'un sel complexe qui ressemble, ou peut être identifié, à de l'hydroxyapatite,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Ce sel forme des cristaux qui mesurent 20 nm sur 3 à 7 nm. On trouve également dans l'os du sodium, de petites quantités de magnésium et de carbonate, ainsi que des oligo-éléments.

Les ostéoblastes sont les cellules constructives de l'os, qui fabriquent le collagène et forment autour d'elles une matrice qui se calcifie ensuite. Les ostéocytes sont des cellules osseuses entourées d'une matrice calcifiée. Elles

envoient des prolongements dans des canicules qui se ramifient dans toute la substance osseuse et sont en grande partie responsables de l'homéostasie phosphocalcique. Les ostéoclastes sont des cellules multinucléées qui érodent et résorbent l'os formé dans les étapes précédentes.

### **Analogie os-corail**

#### **Caractéristiques biomécaniques**

Le corail présente des propriétés mécaniques remarquables, même quand le volume de porosité avoisine 50%. Les différentes espèces de madrépores présentent une organisation de squelette et de la porosité qui induisent des caractéristiques mécaniques propres à l'espèce. Ces caractéristiques dépendent des contraintes hydrodynamiques qu'ils subissent : les squelettes des coraux des zones peu agitées ont une résistance moindre que ceux des zones battues et ce, au sein d'une même espèce.

#### **Caractéristiques chimiques**

Schématiquement, l'os comme le corail puise les éléments chimiques dans le milieu environnant : le sérum pour l'os et l'eau de mer pour le corail. La composition du squelette de corail se rapproche de celle de l'os par de nombreux éléments minéraux, en particulier sa teneur en calcium et en oligo-éléments. Le strontium exerce une action protectrice sur les mécanismes de calcification et augmente la minéralisation. Le fluor augmente la formation osseuse par effet direct sur la prolifération des cellules précurseurs des ostéoblastes. Ces deux éléments se retrouvent dans le squelette du corail. La composition chimique du corail joue un rôle capital, car elle permet le processus harmonieux de sa résorption et de son remplacement par l'os.

### **Récolte et traitement du corail pour son utilisation en chirurgie**

De 1989 à 1991, l'Aquarium de Nouméa a fourni à titre expérimental du corail à la société INOTEB. Le relais a été passé depuis à la société MEDICORAIL. L'utilisation chirurgicale du corail est couverte par un brevet international ANVAR-CNRS et a société INOTEB dispose de la licence exclusive de ce brevet. Les squelettes des madrépores sont traités et transformés en biomatériau appelé BIOCORAL.

Après de nombreuses analyses de qualité des madrépores, il s'avère que ceux de Nouvelle-Calédonie donnent de bons résultats. Ces récoltes sont soumises à l'approbation des autorités locales compétentes, très soucieuses de maintenir la protection du corail. La prise annuelle est actuellement inférieure à une tonne par an. La production annuelle de carbonate par le corail est évaluée à 300 millions de tonnes. Les principaux genres récoltés sont des *Acropora*, *Porites* et *Lobophyllia*.

La purification des madrépores est à la fois physique et chimique, et se déroule selon des protocoles établis. Le matériel diamanté utilisé pour le façonnage du corail s'est avéré le plus fiable, car il ne provoque aucune contamination chimique. La radio-stérilisation au rayonnement gamma est utilisée. Le façonnage du corail en biomatériau permet de présenter différents modules : granules, billes, blocs, prothèses façonnées.

### **Domaines d'application**

Ce substitut du greffon osseux qu'est le corail est préconisé dans différents domaines : chirurgie orthopédique, chirurgie maxillo-faciale, neurochirurgie, chirurgie pré-prothétique buccale, chirurgie parodontale, chirurgie O.R.L., chirurgie plastique. Les greffes sont des greffes d'interposition, de comblement ou d'apposition. Les contre-indications sont les ostéomyélites avérées ou imparfaitement asséchées, les os receveurs nécrosés ou nécrotiques et les implantations intra-articulaires.

### **Evolution de l'implant de corail**

Les expérimentations ont permis histologiquement de mettre en évidence de manière constante cinq phases qui se succèdent et s'imbriquent au fur et à mesure que progresse le front de calcification.

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Première phase : les éléments cellulaires sanguins et extravasés de la moelle osseuse envahissent le corail.</i></li><li>• <i>Deuxième phase : apparition de la vascularisation.</i></li><li>• <i>Troisième phase : résorption du corail par les ostéoclastes (certainement par action de l'anhydrase carbonique).</i></li><li>• <i>Quatrième phase : apposition de la première couche ostéoblastique responsable de la néoformation osseuse; elle est concomitante de la phase de résorption.</i></li><li>• <i>Cinquième phase : remodelage du tissu néoformé en fonction de l'architecture du site implanté.</i></li></ul> |
|---|

Le corail au service de l'os n'est pas une vue de l'esprit, mais une application biomédicale en pleine expansion. Pour les applications, une recherche dynamique se poursuit dans les laboratoires d'INOTEB, à la faculté de Médecine de Paris V, ainsi que dans d'autres laboratoires internationaux.

***Cette fiche a été préparée par l'Aquarium de Nouméa***

## Utilisation de la biodiversité

### Les médicaments

Les organismes marins possèdent un potentiel immense de molécules originales d'intérêt biologique. Contrairement aux organismes terrestres, il n'existe pas de guide ethnopharmacologique pour la recherche d'organismes marins d'intérêt potentiel : ils ont rarement une utilité traditionnelle (médecine, poisons).

Les méthodes modernes de pharmacologie rendent possible un criblage systématique pour la mise en évidence de molécules actives des organismes marins. Durant les 20 dernières années, l'intérêt des substances synthétisées par des algues, des invertébrés, et plus récemment des micro-organismes marins a ainsi été démontré. 10 à 15 % des substances d'origine marine décrites dans la littérature présentent une activité biologique dans différents domaines : antiviraux, antitumoraux, immunomodulateurs, antibiotiques, antifongiques, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, ou substances agissant au niveau du système cardio-vasculaire ou du système nerveux. Un tout petit nombre de ces substances est ou sera exploité à des fins pharmacologiques car la molécule doit répondre à de nombreux critères : activité, stabilité, absence de toxicité, mais aussi de disponibilité. Trois médicaments et un insecticide seulement sont à ce jour sur le marché : les Céphalosporines (antibiotiques, origine : champignons marins), la Vidarabine (antiviral, Ara-A, origine : spongiaire), la Cytarabine (antitumoral, Ara-C, origine : spongiaire) ; le Padan, un insecticide largement utilisé au Japon, est inspiré de la néréistoxine isolée d'un ver marin.

Trois méthodes sont à présent utilisées pour obtenir les produits en quantité suffisante pour une exploitation industrielle : la synthèse, l'extraction et l'hémisynthèse - compromis entre les deux voies précédentes : transformation d'un précurseur naturel -. En raison de contraintes écologiques, il est extrêmement rare de pouvoir exploiter un organisme marin en quantité suffisante pour l'industrie, et la synthèse est donc privilégiée. Cependant, la synthèse totale de molécules complexes est rarement compatible avec des objectifs économiques ! Les principes actifs dont l'étude n'a pu aboutir au médicament restent cependant d'un grand intérêt en tant que modèles moléculaires pour l'étude des mécanismes biologiques et l'élaboration de produits utiles en santé ou en environnement.



<p style="text-align: center;"><b>Utilisation de la flore locale</b> <b>Restauration des anciens sites miniers</b></p>
--

Les terrains miniers constituent des milieux très pauvres en éléments majeurs (phosphore, calcium, potassium, azote) anormalement riches selon le cas en magnésium, en nickel et en manganèse. La flore qu'ils portent est adaptée à des conditions de nutrition minérale très difficiles pour les plantes. Beaucoup d'espèces des terrains miniers sont peu exigeantes en éléments minéraux majeurs et plus ou moins insensibles à la phytotoxicité du sol. Ainsi certaines accumulent-elles impunément du nickel ou du manganèse dans leurs tissus tandis que d'autres semblent freiner la pénétration de ces éléments dans leurs racines.

La flore de ces zones est largement diversifiée. Elle compte plus de 1800 espèces de phanérogames, dont plus de 900 se rencontrent dans les formations basses plus ou moins ouvertes appelées localement « maquis miniers ». C'est dans ces derniers que l'on rencontre des espèces qui sont à la fois peu exigeantes en éléments majeurs, résistantes aux teneurs excessives du sol en magnésium, nickel, parfois manganèse, ainsi qu'à l'aridité du milieu, et qui sont donc particulièrement aptes à se développer sur les anciens sites miniers.

L'implantation de ces espèces variées sur les sites concernés permettra de fixer le sol en surface et donc de lutter contre son érosion, de reconstituer les paysages dégradés, de réguler les débits hydriques et de restaurer la diversité biologique des écosystèmes. Ces espèces « sauvages » représentent un potentiel végétal adéquat pour une restauration durable des anciens sites miniers. Leur utilisation courante passe par leur domestication et notamment la maîtrise de leur multiplication et de leur implantation sur sites.



## Restauration des équilibres biologiques : la lutte biologique

### Le fonctionnement de la biodiversité : les équilibres biologiques

La Lutte Biologique est fondée sur un concept universel que DARWIN a clairement exprimé le premier: la notion d'**équilibres biologiques**; c'est à dire que toute espèce animale ou végétale, du fait même qu'elle naît, se nourrit, se développe et se multiplie, limite dans un milieu donné les populations d'une ou plusieurs autres espèces. Cette limitation naturelle, **sans intervention humaine**, est constante partout. Elle dépend directement ou indirectement des **facteurs physiques et chimiques** du milieu, comme la température, les pluies d'une région, le degré hygrométrique de l'air, la salinité d'une eau, la composition ou l'acidité d'un sol; elle dépend aussi de facteurs biologiques, comme la **concurrence** entre des espèces différentes, pour la même nourriture, la même place, le même abri; elle dépend enfin des **ennemis naturels** de chaque espèce, que ce soit des **parasites**, des **prédateurs** ou des **organismes pathogènes** déclenchant des maladies.

L'espèce *Homo habilis*, suivie de l'espèce *Homo sapiens*, c'est-à-dire l'Homme, est intervenue de plus en plus brutalement dans ces luttes continuelles et dans ces équilibres parfois précaires, car son intelligence lui a donné le pouvoir d'exploiter tous les milieux: défricher les forêts, établir d'immenses zones de monocultures, chasser ou pêcher de façon intensive, transporter d'un continent à un autre plantes et animaux. Entre toutes les autres espèces vivantes existe une sorte de pouvoir-tampon qui fait que ces interventions répétées de l'espèce humaine sont encore supportées la plupart du temps sans dommages apparents pour les équilibres naturels. Il arrive néanmoins, pour des causes qui peuvent être très diverses, que certaines espèces animales ou végétales deviennent "nuisibles" parce que les dégâts qu'elles commettent pour subsister deviennent économiquement intolérables pour l'espèce humaine: ou bien elles pullulent brutalement ou s'attaquent de façon continue directement ou indirectement aux fruits des activités humaines. L'Homme cherchera alors le moyen de les limiter pour d'abord assurer sa propre subsistance, mais aussi ses bénéfices, selon un autre concept universel, antagoniste de la biodiversité, reposant sur la rentabilité et le profit. N'attirent ainsi l'attention générale de l'espèce humaine, seulement parce qu'elle les exploite ou qu'elle se trouve concurrencée, que quelques centaines d'espèces sur les millions d'autres espèces concurrentes ou auxiliaires potentielles qui continuent à s'équilibrer mutuellement à la surface du globe au sein de la biodiversité.

Face aux organismes vivants qui entrent en compétition avec elle, l'espèce humaine a donc eu depuis plusieurs centaines de milliers d'années l'avantage de pouvoir concevoir de nombreux outils et méthodes pour s'en défendre, pour les attaquer et pour les exploiter. Après avoir étudié au cours des âges les modes de vie et les exigences de ses compétiteurs naturels, elle utilise maintenant des méthodes physiques, chimiques, génétiques, parfois des méthodes de lutte culturale,

*mais aussi les propres ennemis naturels des espèces qu'il lui faut combattre*

### De la lutte chimique à la lutte biologique

C'est après la dernière guerre mondiale que l'industrie phytosanitaire a pensé utiliser pour lutter contre diverses espèces d'insectes nuisibles des molécules gazeuses ou liquides, souvent très toxiques pour l'homme, alors déjà mises au point dans un but de guerre chimique. Ces produits sont utilisés à faible concentration, mais souvent de façon massive. Ce sont les premiers insecticides de synthèse; puis apparaissent herbicides, fongicides, bactéricides, nématicides, rodenticides etc... Par la suite, rapidement l'Organisation Mondiale de la Santé et la FAO (Food Agriculture Organisation) s'émeuvent des échecs de plus en plus nombreux enregistrés dans la lutte contre des insectes vecteurs de maladies ou contre des insectes ravageurs de plantes cultivées, du fait de l'augmentation alarmante des cas de **résistance aux insecticides**. On avait craint jusqu'alors, à juste titre ou par exagération, la toxicité immédiate ou rémanente de ces produits; dorénavant, on mettait en cause non plus le poison mais bien le succès même du combat engagé de cette façon. On observe en effet des résistances dans la lutte conduite à grande échelle contre de nombreux ravageurs des cultures, contre les mouches, les moustiques et, en Nouvelle-Calédonie même, contre le scolyte de la graine du caféier. Ces résistances acquises, sorte d'immunités, nécessitent alors l'emploi de produits plus toxiques, des concentrations plus fortes ou bien l'emploi alternatif d'autres molécules chimiques qui sont elles aussi vite dépassées. En outre, ces produits sont très toxiques pour les Vertébrés et pour l'Homme en particulier, ce qui nécessite l'élaboration d'une législation spéciale et une surveillance continue. Enfin et surtout, les produits chimiques **ne sont pas sélectifs** : l'épandage massif d'un produit sur toute une région agira sans distinction sur **tous** les organismes vivants qui s'y trouvent rassemblés, non seulement sur l'espèce à détruire mais aussi sur de nombreux auxiliaires naturels, lesquels sont souvent les plus sensibles aux produits chimiques.

*On intervient donc brutalement, en aveugle et sans savoir bien comment sur les multiples équilibres biologiques en interaction en les modifiant de façon parfois catastrophique.*

Les mêmes constatations sont à faire à propos des souches de micro-organismes pathogènes pour l'homme devenus résistantes aux antibiotiques ou à propos des mauvaises herbes devenues résistantes aux herbicides. C'est bien parce que les méthodes de lutte chimique généralisée comportent de tels effets incontrôlables et insoupçonnés auparavant que les méthodes de Lutte Biologique sont maintenant de plus en plus souvent prises en considération et connaissent un regain d'activité. Mais peut-on se priver de l'outil chimique? On tend alors à associer la lutte chimique à la lutte biologique en ce qu'on appelle la **lutte intégrée**. En 1962, un groupe d'experts réunis à Genève a défini la lutte intégrée comme « *une combinaison rationnelle des méthodes de lutte dans laquelle les moyens physiques, chimiques, génétiques et culturels sont intégrés à l'action des ennemis naturels des organismes nuisibles* ».

### **La restauration de la biodiversité: la lutte biologique**

La Lutte Biologique va donc d'abord reposer sur la **synthèse** des concepts élaborés pour identifier et décrire la biodiversité, puis pour expliquer son fonctionnement dans un grand nombre d'environnements physiques. Mais cet effort de synthèse sera accompli dans le but **d'utiliser la biodiversité** autant au niveau de l'espèce qu'à celui des populations et de leur structuration. La description et l'étude du fonctionnement des écosystèmes seront sous-jacents à la **restauration** et au **rétablissement** des équilibres précédemment détruits, le plus souvent par l'action de l'Homme: par ses monocultures, par les feux qu'il allume, par ses animaux domestiques, par les plantes envahissantes qu'il transporte, par les déchets et les produits chimiques qu'il répand. Ainsi, la Lutte Biologique englobe aussi bien l'étude des processus qui gouvernent la limitation naturelle d'une espèce dans un milieu donné que les mesures prises par l'homme pour se défendre contre une autre espèce qui entre en concurrence avec lui en utilisant ce que lui offrent les conditions naturelles. L'utilisation d'un parasite dans cette définition, aussi bien que la **protection** de facteurs biologiques préexistants, ou la lutte autocide, c'est à dire l'utilisation de l'espèce à combattre pour nuire à cette même espèce; ce but est atteint par exemple au moyen de lâchers de mâles stériles.

### **Les outils naturels et les caractéristiques de la lutte biologique**

La Lutte Biologique utilisera des **prédateurs**, c'est à dire des animaux qui, au fur et à mesure de leurs besoins alimentaires, tuent par attaque directe pour se nourrir d'autres organismes vivants qu'on appelle **proies**. On les distingue des **parasites** ou **parasitoïdes**, largement utilisés aussi en lutte que, qui obligatoirement se développent aux dépens d'autres organismes appelés **hôtes**. Le préjudice subi par l'hôte est léger, grave ou mortel, mais jamais immédiat; le parasitisme peut en effet se manifester pendant toute la vie de l'hôte. De même, contre une mauvaise herbe, on utilisera des ravageurs de la plante à combattre, ou des parasites, agents de maladies: un champignon par exemple.

*La lutte biologique aura ainsi des avantages, inverses des inconvénients de la lutte chimique seule. Elle sera d'abord sélective, car elle recherchera des moyens spécifiques pour lutter contre tel ou tel organisme nuisible parfaitement identifié, bien que perdu dans la masse des organismes vivant dans un biotope donné. Si la lutte biologique possède un caractère important de sélectivité, on recherchera aussi des solutions qui auront un caractère de permanence : en règle générale, lorsqu'un problème est résolu par la lutte biologique on n'a pas à y revenir; parasites, prédateurs ou pathogènes travaillent pour l'Homme sans qu'il n'y prête plus attention.*

Si l'espèce humaine désire assurer un contrôle sélectif et permanent des autres espèces concurrentes et restaurer dans la nature des équilibres qui lui sont favorables, elle doit s'orienter naturellement vers les méthodes biologiques qui font appel aux possibilités offertes par la diversité du monde vivant. Toutes les autres méthodes n'ont pu apporter jusqu'ici que des solutions provisoires en déplaçant les problèmes sans les résoudre. La société humaine tout entière reste concernée par les pratiques utilisant des produits toxiques, car ces derniers sont abandonnés à des gens le plus souvent non préparés à les utiliser au mieux dans la Nature, leur approche simpliste se résumant à la conception d'un Environnement qui serait complètement débarrassé de tous nos compétiteurs à la suite de leur éradication. Pourtant, tout indique que le contrôle d'un compétiteur doit être placé à un niveau de compétence élevée en écologie appliquée des populations. S'impose pourtant un fait irréfutable, que l'Homme trouve encore difficile à accepter, c'est que tous nos compétiteurs actuels et potentiels, constituent avec leurs ennemis naturels une ressource essentielle pour un environnement viable et productif. Ainsi, dans le choix de ses auxiliaires, l'espèce humaine ne doit-elle pas rechercher ses meilleures alliées dans la Nature qu'elle a asservie?