



ANNE-MARIE SÉMAH
JOSETTE RENAULT-MISKOVSKY
PRÉFACE D'YVES COPPENS

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE MENACÉE

Le pollen en témoin


éditions errance


IRD

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE MENACÉE

Le pollen en témoin

*“C’est une triste chose de songer que la nature parle
et que le genre humain ne l’écoute pas.”*

Victor Hugo, 1870, *Carnets, albums, journaux.*

éditions errance

IRD
Editions

Anne-Marie Sémah est Directeur de recherche à l'IRD.

Spécialiste du pollen tropical, elle mène de nombreuses missions en Asie du Sud-Est.

Josette Renault-Miskovsky est Directeur de Recherche honoraire au CNRS. Elle est une spécialiste mondialement reconnue du pollen.

Elles ont publié *L'évolution de la végétation depuis deux millions d'années*, en 2004, aux éditions Errance-Artcom.

Toutes deux sont géologues et préhistoriennes, et particulièrement intéressées par l'ère quaternaire qui a vécu la fabuleuse épopée de l'Homme sur Terre. Leur principal outil de recherche est la *palynologie*, c'est-à-dire la découverte et l'identification des grains de pollen fossilisés au sein des sédiments associés aux autres vestiges de la préhistoire, étude qui permet de reconstituer les paysages du passé et leur évolution dans le temps.

Leurs recherches et leur enseignement s'effectuent à l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et au CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique).

Elles sont aussi rattachées au Muséum national d'histoire naturelle de Paris, véritable creuset de science et de culture, en pointe sur les dernières avancées scientifiques de l'histoire des éléments naturels présents sur notre planète. Elles y enseignent dans le cadre du Master européen, tronc commun : *Quaternaire et Préhistoire*.

Naturalistes, elles sont attentives à la préservation de la nature et soucieuses de son devenir. Cet ouvrage en est le témoin.

ANNE-MARIE SÉMAH
JOSETTE RENAULT-MISKOVSKY

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE MENACÉE

Le pollen en témoin

Sommaire

PRÉFACE	6
PROLOGUE	10
LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE	13
INTRODUCTION : NOTION DE TEMPS, DYNAMIQUE	14
LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE ACTUELLE	16
La biodiversité végétale actuelle sous climat tempéré	16
Le tableau synoptique du règne végétal actuel	17
Les Procaryotes ou Protocaryotes	35
Les Thallophytes	36
Les Cormophytes	36
Les Trachéophytes	37
La biodiversité végétale actuelle sous climat tropical	45
NAISSANCE ET PROGRESSIVE AVENTURE DE LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE DU PASSÉ	54
Le globe terrestre dépourvu de biodiversité du vivant	54
La vie s'installe sur le globe	55
La biodiversité végétale à la conquête des terres émergées	56
Le Paléozoïque	56
Le Mésozoïque	60
Le Cénozoïque	63
La survie de la biodiversité végétale	66
La reproduction sexuée grâce à l'hétérosporie	67
CONCLUSIONS	68
LE POLLEN	71
HISTORIQUE DE SA DÉCOUVERTE	72
BIODIVERSITÉ MORPHOLOGIQUE ET MICROSCOPIQUE	76
VÉRITABLE SIGNIFICATION BIOLOGIQUE	82
LE POLLEN ET LA PALYNOLOGIE : LEURS DIVERSES APPLICATIONS	87
La géologie	87
La Préhistoire et la paléoclimatologie	88
La médecine, l'aéropalynologie, les pollinoses et la phytothérapie	88
L'agriculture	89
La criminologie	89
LE POLLEN, LES POLLINISATEURS ET L'HOMME	91
L'ABEILLE ET LE POLLEN : LES FABULEUSES ADAPTATIONS DE L'ABEILLE AU BUTINAGE ET À LA MELLIFICATION	92
L'abeille parmi les insectes	92
Anatomie de l'abeille	92
La tête	93
Le thorax	95
L'abdomen	97
La ruche au fil des saisons	99

L'ABEILLE EN DANGER: LES MALADIES, LES PRÉDATEURS ET AUTRES NUISANCES	100
Les maladies des abeilles, ou maladies apiaires	100
Le couvain est très fragilisé	101
Parasitose	100
Les autres nuisibles	102
Les prédateurs de l'abeille	102
LES INSECTES ET LA POLLINISATION	105
Le constat au quotidien	105
Les principaux pollinisateurs sont essentiellement les abeilles	106
Les bilans qui font peur	106
Les mesures d'urgences qui s'imposent	107
L'ABEILLE ET L'HOMME	110
L'apiculture et l'apiculteur	110
La collecte de miel avant l'apiculture	110
Les débuts de l'apiculture	112
L'apiculture aujourd'hui	113
L'apithérapie	117
Le pollen	117
La propolis	118
La gelée royale	118
Le miel	118
Les nectars et les miellats	119
La méliissopalynologie	119
Un détour dans le passé	119
Les propriétés physiques et chimiques du miel	120
Les miels de nectar et les miels de miellats	121
FLEURS DES MIELS ET FLEURS DES ÎLES	125
FLEURS DES MIELS EN EUROPE TEMPÉRÉE	126
Présentation de six miels d'Europe tempérée	128
Le miel de sapin	129
Le miel de tilleul	131
Le miel de châtaignier	132
Les miels de bruyère	134
Le miel de callune	134
Le miel de bruyère cendrée	135
Le miel de romarin	137
FLEURS DES MIELS EN RÉGIONS TROPICALES JAVA, PHILIPPINES ET NOUVELLE-CALÉDONIE	139
Miel de Java	139
Miel des Philippines	140
Miel de Nouvelle-Calédonie	141
FLEURS DES ÎLES, EN MILIEU TROPICAL	142
Cas de l'endémisme insulaire et fragilité des espèces végétales	142
Java	143
La Nouvelle-Calédonie	143
En Polynésie Française, les îles Marquises	145
ÉPILOGUE	146
GLOSSAIRE	150
ANNEXES	152
BIBLIOGRAPHIE	154
REMERCIEMENTS	157

Préface

C'est avec enthousiasme que j'ai accueilli l'invitation d'Anne-Marie Sémah et de Josette Renault-Miskovsky de préfacier un ouvrage qu'elles étaient en train d'écrire sur la biodiversité végétale. Par rapport au monde animal, j'ai en effet toujours trouvé que l'immense diversité de cet autre monde avait été très sous-traitée ; et, par ailleurs, l'initiative de deux éminentes spécialistes du végétal, souhaitant, de manière scientifique et sereine, attirer l'attention sur les menaces qui pèsent aujourd'hui sur cette biodiversité, me paraissait importante à soutenir et à saluer. Il se trouve que ce livre est en effet à la fois un hymne à l'extraordinaire créativité de la nature tout au long des presque 4 milliards d'années d'histoire du végétal et un appel solennel à la prise en considération de la mise en danger actuelle de bien des pans de ce monde-là.

L'histoire de la Terre n'a certes pas été celle d'un long fleuve tranquille et le monde vivant a subi maintes fois les fantaisies cosmiques de la planète, son fonctionnement tectonique et l'évolution consécutive de ses climats. Et ce livre nous décrit, à grandes enjambées mais de manière très précise, les merveilles du développement de la diversité des plantes, de celle de leurs adaptations et des adaptations, parfois corrélées, des partenaires d'un même écosystème, toute l'histoire naturelle des végétaux, ses vicissitudes et ses inventions de génie.

Comme les deux auteurs sont certes botanistes, mais surtout palynologistes, spécialistes de ces cellules de reproduction mâle des plantes à fleurs qu'on appelle *pollen* et dont la membrane externe peut se fossiliser, elles nous présentent les apports de leur discipline à l'histoire des environnements. Et comme l'évolution du monde vivant y compris celle de l'Homme, est le résultat d'une succession de sélections réalisées par la succession des pressions de leurs environnements, la palynologie nous fait remonter des climats et des paysages aux êtres qui les habitent et à leur histoire. Mais voilà que pour polliniser, et donc se reproduire, ces plantes à fleurs, fixées, ont besoin d'aide. Le vent fait souvent l'affaire, les oiseaux aussi, mais un rôle privilégié est joué par l'abeille.

Or il a fallu presque 3 millions d'années pour passer d'un effectif humain de quelques milliers d'individus au milliard atteint au début du XIX^e siècle, et moins de 200 ans pour passer du milliard à 7 milliards d'humains aujourd'hui ! L'humanité qui n'a ainsi pas d'autres choix que de s'efforcer de nourrir cette population, s'est mise à rechercher de nouveaux moyens pour y parvenir, entre autres, des améliorations de sa production agricole et de son rendement ; c'est cet exercice qui l'a conduite à inventer et à se servir d'antibiotiques, d'insecticides, de pesticides etc. qui ont certes souvent atteint leur but mais en créant des dommages collatéraux inattendus dont la destruction des pollinisations et l'appauvrissement consécutif de la biodiversité.

La Terre qui est, pour le moment, la seule planète à offrir cet extravagant patrimoine que constitue sa biosphère, n'est pas immense ; on est ainsi, en ce début du XXI^e siècle, en train de comprendre comment fonctionne le monde du vivant, et quels pourraient être les remèdes à ce que les Hommes, sans le savoir, sans le vouloir, ont commencé à détruire. Et pour proposer des solutions, il faut apprendre, pour comprendre et faire comprendre. C'est le but de ce livre remarquable, clair, complet, érudit ; il participe à cette compréhension « froide » qui tient plus du constat que du conseil, mais comme les scientifiques sont sensibles à la beauté du monde, leur souci « chaud » de le conserver est aussi une réalité, souci que partage le préfacier.

Yves Coppens





Prologue

Il existe à la surface du globe terrestre, plusieurs centaines de milliers d'espèces végétales qui présentent une grande diversité de formes et de modes de vie, liées à des capacités d'adaptation leur permettant de survivre dans des biotopes précis. Ces particularités sont surtout celles des plantes à fleurs, gymnospermes* et angiospermes*, qui utilisent le principe de la reproduction sexuée grâce au grain de pollen, cellule mâle de cette reproduction. Elles seraient apparues au Crétacé, à la fin de l'ère secondaire, il y a un peu plus de cent millions d'années, à l'époque des derniers Dinosaures, en même temps que les premières abeilles. De récentes études semblent cependant repousser, dans le temps, l'apparition des angiospermes.

L'ouvrage se propose, à partir de l'analyse de leur pollen, de souligner la fragilité croissante de la biodiversité chez les plantes. Nous commençons donc par une rapide classification des flores, de leur évolution et de leur participation actuelle aux paysages de l'Europe et des régions tropicales indo-pacifiques, tout en nous préoccupant des dangers qui les guettent. Les menaces qui pèsent sur la diversité végétale sont l'épuisement des ressources naturelles, la perte des infrastructures comme la capacité de lutter contre le réchauffement climatique par la réserve de carbone des forêts, la disparition de plusieurs espèces emblématiques comme les plantes mellifères* et enfin, la perte des informations génétiques contenues dans certaines espèces endémiques* en voie d'extinction.

Nous insistons ensuite sur les caractéristiques des grains de pollen et de leurs micro-biodiversités. Ceux-ci (avec les spores de fougères et de végétaux inférieurs) représentent des parties de la plante particulièrement préservées et qui décuplent encore la diversité du règne végétal par la multiplicité des détails de leur micromorphologie. Le pollen est de plus un marqueur botanique qui se fossilise et témoigne de la végétation actuelle et passée.

Puis nous traitons de l'interaction qui existe entre le pollen, l'abeille, les autres pollinisateurs et l'Homme. Nous découvrons l'abeille, sa vie dans la ruche, ses exceptionnelles adaptations au butinage et à la mellification, à la faveur d'une anatomie d'une extraordinaire complexité. Depuis son apparition sur la planète, l'abeille survit dangereusement, poursuivie par des agents pathogènes, parasites animaux et végétaux, bactéries, virus et par de nombreux prédateurs. Depuis le début du XIX^e siècle, il a hélas été constaté une importante mortalité dans certaines colonies, qui a pris une dimension internationale et est devenue alarmante dès les années 2000, suite à l'utilisation progressive de produits phytosanitaires, antibiotiques, insecticides et autres pesticides destinés à protéger les récoltes. L'équilibre abeille-pollen est, de ce fait, déstabilisé et la survie des abeilles n'est pas garantie. Scientifiques,

apiculteurs et instances médiatiques, en dépit de l'avis des agriculteurs, lancent des bulletins d'alerte.

Enfin, pour conclure, nous proposons une observation directe du pollen dans les miels et son rôle dans la vulnérabilité de la flore insulaire. Cette menace sur la biodiversité entraîne une réflexion sur la contradiction qui existe entre la nécessité de conserver la nature en la protégeant et celle de l'exploiter pour des enjeux économiques ; vouloir privilégier la biodiversité, c'est vouloir assurer le maintien d'un potentiel évolutif dans le contexte du changement global.

La biodiversité végétale dégradée provoque aussi le désir d'obtenir artificiellement ce qui risque de manquer ; réintroduction d'espèces endémiques pour réhabiliter les milieux mutilés à la faveur d'installations de capteurs solaires et de CO₂ par exemple. Tout cela, qui tient de l'ingénierie écologique, aboutit à des enjeux et des marchés économiques, c'est-à-dire à la création d'une société du risque.

Le but de cet ouvrage n'est pas d'alarmer abusivement, mais de faire germer dans les esprits le respect que l'on doit à la nature avec les moyens qu'il faut engager pour l'obtenir. La nature nous est offerte, avec ses caractéristiques, parfois dangereuses, mais elle est toujours belle et le plus souvent généreuse. Essayons donc de la protéger des excès de la chimie et des conséquences anthropiques de l'industrialisation qui aggravent, par l'effet de serre, les méfaits du réchauffement climatique, phénomène cyclique naturel commençant à se manifester.



LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE

L'évolution du règne végétal au cours des ères géologiques et la mise en place de la biodiversité végétale actuelle ont une longue histoire.

En utilisant des données anatomiques, puis génétiques, nous pouvons comprendre clairement comment les plantes anciennement fossilisées ont pu conduire à la végétation aujourd'hui installée sur les différents continents.

Cette lente métamorphose qui a duré plusieurs centaines de millions d'années en s'adaptant à de multiples situations édaphiques et climatiques, a engendré une étonnante diversité de plantes, hélas actuellement menacées par des activités anthropiques, pour la plupart incontrôlées.

Il devient urgent de découvrir et de mettre en œuvre les moyens de la protéger.

Introduction

L'histoire de la Terre est régulièrement cadencée par un enchaînement cyclique d'événements comparables, plus ou moins catastrophiques, qui conditionnent la transformation et la reconfiguration des masses continentales : les cycles orogéniques* et le rythme transgressif/régressif* des volumes océaniques. Le bouleversement atmosphérique qui accompagne ces phénomènes, engendre des crises : aridité/humidité, précipitations/sécheresses et températures extrêmes, d'où les grandes variations climatiques, de plus en plus rapprochées, à partir de 2,6 millions d'années (Ma), début de la première glaciation et de l'ère Quaternaire* : alternances de périodes glaciaires et interglaciaires qui s'installent durant plusieurs milliers d'années et auxquelles sont inféodés les êtres vivants.

À la suite des accès de colère de la Terre, et des extinctions en masse qui libèrent des niches écologiques*, l'histoire de la vie comporte néanmoins une succession de paliers évolutifs et décisifs. Ainsi, il semble établi que le passage protocaryote, unicellulaire, aux eucaryotes pluricellulaires, qui vont quitter dans de nombreux cas le domaine aquatique pour la conquête des espaces continentaux, se place au départ de la lente progression anatomique des organismes végétaux et animaux ; c'est un maillon de cette chaîne évolutive qui aboutira à la naissance des premiers Hominidés*.

La connaissance du monde végétal, de son passé et de son évolution, est mise en évidence, à la lumière des récoltes et des identifications de fossiles : macrorestes de différents éléments anatomiques (racines, tiges, feuilles, fruits et graines, spores, grains de pollen) et empreintes végétales. Elle donne accès à un exceptionnel domaine de recherche sur la biodiversité croisée qui existe entre une végétation disparue, sa descendance et l'installation de la flore moderne actuellement établie en différents points du Globe.

Les investigations mobilisent de nombreux spécialistes réunis autour de thématiques multivariées : anatomie, histologie, classification systématique ou cladistique, physiologie, phylogénie moléculaire, recherches ADN, biogéographie, écologie... L'utilisation des microscopes optique et électronique à balayage et de la bio-géochimie, permet de mettre en évidence les structures cellulaires des organismes végétaux et contribue à une véritable révélation de la micro-biodiversité. L'ensemble des résultats déjà acquis sur la paléobotanique et l'implantation de la flore actuelle, a donc livré des images fascinantes de la bio et micro-biodiversité végétales et depuis longtemps surtout, de la progressive et rapide évolution des modes de reproduction et des systèmes d'adaptation des plantes aux conditions extrêmes. Ces travaux de paléobotanistes et de botanistes sont prolongés par des considérations paléo-écologiques, climatiques et géographiques, qui intègrent aussi les possibilités d'évolutions des écosystèmes, dans le temps et dans l'espace.

Ce travail colossal est mené par quelques centaines de scientifiques seulement, qui étudient et reconstituent la totalité de la flore ancrée sur la planète. Les sociétés actuelles semblent incapables de concevoir l'investissement nécessaire, voire indispensable, pour mener une recherche fondamentale sur le sujet. Il resterait, et c'est capital pour le maintien de la biodiversité, à s'en donner les moyens. Il devrait être proposé la formation de naturalistes et le recrutement de jeunes chercheurs, passionnés et soucieux de faire progresser les connaissances de la terre et de la vie et de faire respecter le maintien de la biodiversité végétale et animale sur la planète Terre et son avenir.

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE ACTUELLE

L'extraordinaire biodiversité végétale (plusieurs centaines de milliers d'espèces de plantes) se traduit par une fabuleuse variété de formes et de modes de vie qui reflètent leurs innombrables capacités d'adaptation et qui leur permettent de vivre, voire de survivre, dans de nombreux et différents types d'habitat.

Les champignons, dépourvus de chlorophylle*, pigment assimilateur fondamental, donc privés de photosynthèse*, sont rassemblés dans un embranchement qui leur est propre. Tous les autres végétaux chlorophylliens sont verts, hormis certaines algues différemment pigmentées de rouge ou de brun. Ils sont autotrophes, car ils fabriquent eux-mêmes leur nourriture, en exploitant leur milieu sans en être totalement dépendants. Notre objectif n'est pas de présenter tous ces taxons chlorophylliens, mais de réunir leurs principales caractéristiques dans un tableau de classification, à la fois pédagogique et synoptique, qui affiche la place de leur lignée dans la radiation évolutive. Ainsi, peut-on suivre la succession de leurs modifications anatomiques et de leurs systèmes de reproduction, soumis progressivement à de nouveaux écosystèmes, donc à des modes de vie différents. (Fig. 1).

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE ACTUELLE SOUS CLIMAT TEMPÉRÉ

Le tableau synoptique du règne végétal actuel

Cette présentation, établie à partir du degré d'organisation des appareils végétatifs des plantes et de leur mode de reproduction, rend visible l'existence de deux mondes végétaux qui diffèrent essentiellement au niveau de leur organisation cellulaire, avec ou sans chlorophylle, et de l'emplacement de leurs organes reproducteurs. On mesure ainsi la place importante occupée par les plantes qui libèrent des spores, par rapport aux producteurs de pollen, pourtant nettement plus diversifiés.

La richesse de la biodiversité végétale actuelle sous climat tempéré est par ailleurs clairement illustrée.



Figure 1.

- A – Polytrich commun (*Polytrichum commune*), Mousse – Polytrichacée.
- B – Naissance de la prêle élevée (*Equisetum maximum*) – Equisétacée.
- C – Prêle des champs (*Equisetum arvense*) – Equisétacée.

PROTO CARYOTES	VEGETAUX CHLOROPHYLLIENS			VEGETAUX NO CHLOROPHYLLIENS		CELLULÉINES	SPORES	
	Phylums Embranchements Classes			CHAMPIGNONS				CRYPTOGRAMES
THALLOPHYTES	Cyanophytes Schizophytes			LICHEN		VASCULAIRES	POLLEN	
	ALGUES			MOUSSES				PHANEROGAMES
EUCARYOTES	CORMOPHYTES	ARCHEOGONVATES	BRYOPHYTES		HEPATIQUES	PREPHANEROGAMES	SPORES	
			TRACHEOPHYTES					MOUSSES
			PTERIDO PHYTES		SELAGINELLES PRELES FOUGERES		CONIFERES	PHANEROGAMES
			SPERMATO PHYTES		PTERIDOSPERMEES CYADOPHYTINEES			
		ANGIOSPERMES						

Organisation cellulaire
Reproduction



Tableau synoptique du règne végétal actuel.

Illustrations de la biodiversité du règne végétal sous climat tempéré.

1a : Bolet comestible ou cèpe de Bordeaux (*Boletus edulis*), champignon basidiomycète.

1b : Varech, fucus dentelé (*Fucus serratus*), algue brune, Fucacée.

1c : Cladonie verticillée (*Cladonia verticillata*), lichen à base foliacée et à rameaux dressés.

1e : Scolopendre ou langue de bœuf (*Asplenium scolopendrium*), fougère – Aspléniacée.

1i : Epicea (*Picea abies*), branche et cônes mûrs – Abiétacée.



Figure 1 (suite).

D – Ginkgo, arbre aux quarante écus (*Ginkgo biloba*), chatons mâles au printemps – Ginkgoacée.

E – *Ginkgo*, feuillage.

F – Pin parasol (*Pinus pinea*) – Abiétacée.

G – Genévrier commun (*Juniperus communis*) – Cupressacée.

H – Cycas ou sagou du Japon (*Cycas revoluta*) – Cycadacée.

I – If (*Taxus baccata*) – Taxacée.

J – Pavot des Alpes (*Papaver alpinum*), angiosperme dicotylédone – Papavéracée.

K – Stipe pennée (*Stipa pennata*), angiosperme monocotylédone – Poacée.

L – Lis turban (*Lilium pomponium*), angiosperme monocotylédone – Liliacée.

M et N – Epilobe des marais (*Epilobium palustre*), angiosperme dicotylédone – Onagracée.





-  Steppe arborée
-  Steppe herbacée sèche
-  Steppe herbacée humide
-  Forêt méditerranéenne
-  Toundra
-  Région boisée boréale
-  Forêt boréale dense
-  Forêt tempérée



Figure 2.
Carte de la végétation actuelle sous climat tempéré et méditerranéen : diversité des paysages européens. Les chiffres renvoient à la localisation géographique des photos reproduites dans les pages suivantes.





1 – En France. Marais salant de Guérande. Les salicornes (*Salicornia europaea*) émergent de l'eau salée et virent au rouge foncé. Au premier plan, des Apiacées (Ombellifères) et des Poacées, (*Puccinellia maritima*, Graminée spécifique du milieu). Sur le départ des ponts, à gauche et à droite de l'œillet central, sont groupées des obiones (*Halimione portulacoïdes*), plantes halophytes comme les salicornes (Chénopodiacées).

2 – Marée montante dans la baie du Mont-Saint-Michel. Végétation halophile à salicornes (*Salicornia* sp., Chénopodiacée).



3



4

3 – Le littoral de la Manche, près de Gatteville. Fructifications de chou maritime (*Crambe maritima*, Brassicacée) et pavot cornu (*Glaucum flavum*, Papaveracée).

4 – La progressive avancée de la dune du Pilat sur la forêt de pins maritimes (*Pinus pinaster*, Abietacée).



5 – Forêt de Marly (Île de France).
Hêtres (*Fagus*, Fagacées) et anémones des bois
(*Anemone nemorosa*, Renonculacée).

6 – Massif des Vosges cristallines, entre le Grand Ballon
(1420 m) et le Hohneck (1360 m).
Végétation étagée de conifères (épicéa, pin, sapin) et
prairies d'alpages sur les sommets.



7 – Massif Central, Planèze basaltique (1 100 m) et extrusions de phonolites : Mézenc (1 750 m) ; pelouses et landes subalpines, alternant avec les forêts de conifères de repeuplement.

8 – La montagne alpine dans le parc du Mercantour. Forêt d'épicéas et de mélèzes, dauphinelles (pieds-d'alouette) (*Delphinium montanum*, Renonculacée) avec Géraniacées.



9 – Pays basque à paysage de bocage : habitat dispersé en hameaux et en fermes isolées. Les champs sont petits ; les parcelles sont entourées par des haies, des talus, des murs de pierres ou des chemins creux.

10 – Forêt de conifères en Corse (pin noir) (*Pinus nigra*, subsp. *Laricio* de Corse, Pinacée). Au loin les aiguilles de Bavella.



11 – Le littoral méditerranéen de la Corse : plage d'Arone et Capo Rosso, au Nord de Cargèse.

12 – En Andorre. Floraison printanière d'arbres fruitiers. Cerisiers près du lac d'Angolaster.



13 – En Italie. Dans les Dolomites, col Gardena : alpages et forêts d'altitude à conifères ; sapin blanc (*Abies alba*) et pin sylvestre (*Pinus sylvestris*).

14 – Dans le val d'Aoste, val Grisenche ; forêt de mélèzes (*Larix decidua*).



15 – En Croatie. Végétation méditerranéenne sur le littoral adriatique : pin noir (*Pinus nigra*).

16 – En Espagne. Oliveraie au Cap Creus, près de Cadaqués.



17 – En Espagne. Le littoral du Cap Creus : végétation établie sous vent violent ; garrigue et petits arbustes.

18 – En Norvège. Au sud de Bergen : entre fjord et haute montagne enneigée ; la végétation est étagée de prairies en forêts à conifères, pins et sapins de Norvège (*Picea excelsa* = épicéa commun).



19 – En Norvège. Tourbières sur les hautes terres qui abritent des arbustes rabougris (bouleaux et saules nains).

20 – En Norvège. En approche de Trondheim : forêts de conifères, pins et sapins de Norvège.



21 – En Islande. Les coulées de laves sont colonisées par des Bryophytes représentées par des mousses (*Rhacomitrium* et *Grimmia*).

22 – En Islande. Parmi les rares arbustes recouvrant le sol islandais, sur la côte sud, à la base des glaciers, croissent les saules nains (*Salix lanata*, Salicacée).



23 – En Islande, Paysage minéral dans les gorges de la Jökulsá parsemées de placages herbacés.

24 – En Islande. Façade est islandaise: placages de lupins (*Lupinus*, Fabacées) sur coulée de laves, et conifères implantés sur l'île, épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*).



25



26

25 – En Irlande. Dans le parc national de Killarney, péninsule d'Iveragh, les fougères abondent.

26 – En Irlande. Sur la côte sud, vers Skibbereen, les prairies sont envahies de Graminées (Poacées).



27 – Couvert herbacé steppique d'altitude, installé sur les plateaux volcaniques transcaucasiens de Géorgie.

Les Procaryotes ou Protocaryotes (à noyau primitif)

Ce sont des êtres unicellulaires, ou parfois constitués de colonies de cellules, dont la structure est la plus simple parmi les êtres vivants. Leur examen au microscope photonique ne révèle qu'une cellule apparemment dépourvue de noyau et de plaste, le rôle de ce dernier étant de charger des substances nutritives, l'amidon par exemple. Ils devraient être associés à des mitochondries, corpuscules en forme de grains, pourvoyeurs de biocatalyseurs, d'enzymes et de vitamines. Des études fines de cytologie, réalisées au microscope électronique, ont permis de distinguer au sein de la cellule, l'existence d'un noyau diffus et de chloroplastes, et par conséquent la présence de chlorophylle. Ces êtres primitifs ne connaissent pas la reproduction sexuée ; ils se multiplient en se scindant en deux parties, d'où leur appellation de **Schizophytes** qui se superpose aux Procaryotes et qui signifie qu'ils se coupent.

Ils appartiennent à deux ensembles, les **Bactéries** et les **Cyanophytes**, (Cyanophycées, autrefois appelées "Algues bleues").

À noter que le suffixe phyte, du grec : phuton, signifie : plante.

Les Thallophytes

À un niveau d'organisation supérieur, les **Eucaryotes** rassemblent tous les autres organismes munis d'un matériel cellulaire complet, avec un noyau bien individualisé.

Les **Thallophytes** forment la structure la plus simple et possèdent un appareil végétatif nommé thalle (du grec : *thallos*, rameau, pousse), formé de tissus non différenciés, donc sans organisation ; elles sont privées à la fois de racines, de tiges, de feuilles et de vaisseaux. Certaines Thallophytes sont chlorophylliennes et autotrophes ; ce sont les **Algues**.

D'autres, privées de chlorophylle, donc de photosynthèse, sont hétérotrophes et réunies dans un embranchement unique, celui des Champignons. Leur anatomie varie pourtant à l'infini, de la simple cellule des levures, aux formations pluricellulaires et filamenteuses des moisissures. Le champignon sur pied surmonté d'un chapeau est le modèle qui nous est le plus familier ; il existe aussi des formes en rameaux denticulés, et/ou lamelleux... Quand le thalle est filamenteux, il constitue un mycélium continu ou cloisonné. Les champignons doivent se nourrir de matières organiques, vivantes ou en décomposition ; ils sont donc aussi saprophytes, dépendants de leur substrat.

Certains d'entre eux se sont adaptés à une vie en symbiose avec des Algues ou des Cyanophytes ; ce sont les **Lichens** qui peuvent être plats, en croûte, foliacés ou fruticuleux. La reproduction des Thallophytes s'effectue avec le concours de spores ou de gamètes primitifs.

Les Cormophytes

Ce sont les végétaux dont l'appareil végétatif, ou *Cormus* (du latin, tige), est caractérisé par des tiges, généralement des feuilles et parfois des racines. Ces végétaux présentent des tissus différemment structurés appelés parenchymes. Quand leur organisation est uniquement cellulaire, ils sont réunis dans l'embranchement des **Bryophytes** (du grec : *bruon* ou *bryos*, mousse) qui rassemblent donc les mousses et la majeure partie des hépatiques ; ces plantes ont à leur disposition des tiges, des feuilles, mais sont dépourvues de racines et de tissus conducteurs.

Elles sont plus particulièrement caractérisées par leur mode de reproduction qui utilise :

- un gamète femelle (♀), ou oosphère, inclus dans un gamétange appelé archégone
- un gamète mâle (♂), ou anthérozoïde, qui étant mobile, assure la fécondation en se déplaçant.

Les Cormophytes sont aussi dites **Archégoniates**.

Les Trachéophytes

(Du grec : *trakheia*, trachée, raboteux, allusion à la trachée-artère et à ses anneaux). Leur organisation cellulaire plus évoluée, munie de vaisseaux dans lesquels circule une sève, devient donc vasculaire.

Les plantes vasculaires actuelles sont rassemblées dans les deux embranchements des **Ptérédophytes** et des **Phanérogames** ou **Spermatophytes**

- **Les Ptérédophytes** (du grec : *ptēris*, fougère), présentent un appareil conducteur et aussi un système racinaire ; ce sont principalement les fougères (polypodes, osmondes...), mais aussi les sélaginelles, les prêles et les lycopodes, parmi les plus couramment rencontrés dans nos bois.

Elles ne possèdent pas de fleurs et leurs organes reproducteurs sont cachés, d'où leur rattachement aux **Cryptogames** (du grec : *cryptos*, caché et *gamos*, mariage). La fécondation se réalise aussi dans un archégone avec le concours d'un gamète mâle flagellé ; l'embryon obtenu se développe sans passer à la graine.

- **Les Phanérogames et les Préphanérogames.** Les Phanérogames (du grec : *phaneros*, visible) nommés aussi **Spermatophytes** (du grec : *sperma*, semence), réunissent leurs organes reproducteurs à découvert dans une fleur. La reproduction est le fait de la libération de grains de pollen destinés à féconder un ovule qui sera transformé en graine.

Les Préphanérogames sont apparues dès le Paléozoïque, au cours du Dévonien, avant les Phanérogames mais en les annonçant, avec l'avènement de pré-pollen et des premiers ovules. Certaines ont été rangées dans le groupe des Ptéridospermales ou "Fougères à graines", abondantes du Carbonifère au Dévonien et encore présentes au Secondaire. Elles sont actuellement peu représentées et rapprochées, par quelques auteurs, des Ptérédophytes. Ainsi, les fougères "à graines" (sans véritable ovule), des Lycophytes, mais aussi une Ginkgoale du genre *Ginkgo*, appartiennent pour une autre catégorie de botanistes, à des lignées arborescentes parallèles qui se distinguent au sein des Préphanérogames des plantes à véritable ovule ; mais nous verrons plus loin que le Ginkgo fait aussi partie d'un groupe intermédiaire introduit par d'autres auteurs parmi les gymnospermes.

L'embranchement des Phanérogames, le plus important et le plus répandu dans la nature actuelle, est subdivisé en deux sous-embranchements : celui des gymnospermes et celui des angiospermes.

- **Les gymnospermes** (du grec : *gymnos* ou *gumnos*, nu) sont des "plantes à graines nues" car elles ne sont pas incluses dans un carpelle (du grec : *karpos* ou du latin *carpus*, fruit) ; d'autre part, leur bois est constitué d'éléments conducteurs qui sont des trachéïdes.

Elles concernent principalement les Conifères ; nous venons aussi d'envisager la possibilité d'y associer les Ginkgoales mais aussi les Cycadales

Les êtres primitifs à l'origine des plantes vasculaires ont vu le jour au Paléozoïque, entre le Silurien et le Dévonien. Ce sont les Psilophytes qui ne sont plus d'actualité en Europe tempérée mais qui ont laissé deux descendance, actuellement réfugiées sous climat tropical.

C'est le nom vernaculaire du lycopode (du grec : lukos, loup et podos, pied), "pied de loup", qui a donné son appellation à la lignée des Lycophytes, premières plantes vasculaires, ancêtres des végétaux terrestres.

présentant des caractéristiques au carrefour des gymnospermes et des angiospermes avec des jalons évolutifs vers l'angiospermie.

- **Les angiospermes** (du grec : *angeion*, réceptacle) sont par contre des “plantes à graines enveloppées” ; elles portent des fleurs qui renferment un ou plusieurs carpelles, abritant un ou plusieurs ovules. Après la fécondation, l'ovule se change en graine et le carpelle devient fruit. Par ailleurs, leurs éléments conducteurs sont des vaisseaux.

Les angiospermes se divisent en deux classes, à partir d'une différence qui se manifeste dès l'embryon, dont la structure est dissemblable d'une classe à l'autre. Les Dicotylédones fabriquent un embryon qui porte deux cotylédons*, alors que les Monocotylédones en livrent un qui n'en présente qu'un seul.

À partir de cette différence fondamentale, la structure générale de la plante adulte, son mode de croissance, mais aussi sa sensibilité aux hormones de croissance et aux substances para-hormonales de synthèse, diffèrent d'une classe à l'autre. La connaissance de cette dernière caractéristique est très importante pour utiliser un désherbant, par exemple pour débarrasser les champs de céréales (qui sont des monocotylédones), des mauvaises herbes dicotylédones.

Ce sont aujourd'hui, parmi les Phanérogames, les angiospermes qui semblent atteindre avec l'ensemble des deux classes, les plus hauts sommets de la biodiversité végétale, élargie comme nous le constaterons plus loin, à tous les continents.

Dans la classe des Dicotylédones, nous mentionnerons quelques familles parmi les plus couramment rencontrées sous climat tempéré (parfois exotiques, mais adaptées au climat) : les Renonculacées, les Berbéridacées, les Nymphéacées, les Buxacées, les Platanacées, les Fagacées, les Juglandacées, les Bétulacées, les Salicacées, les Urticacées, les Umacées, les Moracées, les Caryophyllacées, les Rosacées, les Fabacées, les Euphorbiacées, les Apiacées, les Géraniacées, les Malvacées, les Brassicacées, les Papavéracées, et bien d'autres... Comme l'ensemble des Composées ou Astéracées dans la sous-classe des Astéridées qui affichent quatre “super-ordres”. La classe des Monocotylédones est plus modeste car moins variée ; citons cependant : les petites familles des “aquatiques” dans l'ordre des Fluviales, les Liliacées et enfin les Orchidées et les Graminées ou Poacées.

Face à la richesse du monde végétal qui exhibe une réelle abondance et une exceptionnelle variété de taxons, grande est la surprise de constater, cependant que la plus large partie des végétaux actuels assure la survie et la pérennité de son organisme durant sa phase de reproduction asexuée ou sexuée, par des spores. Seules les Phanérogames (et certaines Préphanérogames) possèdent des organes reproducteurs complets mixtes et produisent des grains de pollen.

- **La diversité des formes d'adaptation des angiospermes.** Enfin, nous ne pouvons pas quitter ce chapitre sans mentionner les extraordinaires performances réalisées par certains taxons, au sein de familles par ailleurs bien à

l'aise en milieu tempéré, qui ont dû adapter leur anatomie et leur mode de vie pour se défendre de diverses exigences climatiques extrêmes, notamment, dans les domaines du froid, de la sécheresse et de la vie aquatique.

Pour lutter contre des températures infiniment basses, certains genres ont dû éviter que le gel ne pénètre leurs cellules et n'atteigne les bourgeons assurant la reprise de la croissance ; ils ont conservé une petite taille, près du sol pour bénéficier de températures plus clémentes et adopté un port ramassé ; par exemple, la Silène acaule (*Silene acaulis*), Caryophyllacée. Elle est adaptée au froid de haute montagne (Mont Bego). Dépourvue de tige, elle rampe à la surface du rocher ; ses feuilles et ses inflorescences constituent des tapis ou des coussins (fig. 3).

Figure 3.
La Silène acaule ou à tige
courte (*Silene acaulis* L.,
Caryophyllacée).
Adaptée au froid de haute
montagne (Mont Bego,
Alpes-Maritimes).

Certaines plantes parviennent à tolérer le froid, en accumulant des substances comme les sucres, pour abaisser le point de congélation des cellules de leurs tissus ; ainsi certaines Bétulacées peuvent résister à des températures proches de -40° , au Japon et au Canada !





Pour lutter contre la sécheresse, en Europe ce sont surtout les plantes établies en régions méditerranéennes qui sont concernées. Plusieurs stratégies leur sont offertes :

- capter le maximum d'eau possible, en développant un système racinaire très profond et un réseau très étalé à la surface du sol ;
- limiter l'évaporation par les feuilles en s'en débarrassant ;
- protéger de l'évaporation par la formation d'une cuticule protectrice et contrôler l'ouverture des stomates, c'est-à-dire les échanges gazeux entre la plante et l'air.

Ces possibilités intéressent principalement les taxons très xérophytes répartis dans les pays africains, par exemple *Welwitschia mirabilis*, Welwitschiacée qui est une Gnétophyte (fig. 4). Bien que les genres de cette classe appartiennent au sous-embanchement des gymnospermes, celle-ci, poussant dans les déserts, fait le lien avec les angiospermes.

Tout en limitant leur surface d'évaporation, certains taxons ont choisi de se gorger d'un suc, particulièrement riche en eau d'où leur nom de "plantes succulentes" ou de plantes "grasses" à l'image de leurs formes arrondies. Les principaux genres sont répartis dans les familles des Crassulacées avec les Joubarbes (*Sempervivum*), les Orpins (*Sedum*) et les Cactacées, en cierges ou en raquettes, qui au maximum de leur adaptation ont quasiment supprimé leurs feuilles, comme, le Cactus raquette (*Cactus Opuntia*). Certaines espèces

Figure 4. *Welwitschia mirabilis*, (Welwitschiacée), est une Gnétophyte particulièrement xérophyte adaptée aux déserts côtiers de Namibie.



Figure 5.
Le cactus en raquette
(Cactus *Opuntia-ficus indica*
L., Cactacée).

notamment *Opuntia ficus-indica* (fig. 5) donnent des fruits comestibles appelés figues de Barbarie.

Les plus anciennes traces de vie sur le Globe sont végétales et uniquement aquatiques ; ce sont des formations organiques rudimentaires néanmoins chlorophylliennes, apparues au sein du Précambrien. Les premières algues vont suivre, se développer et se diversifier avec les autres Thallophytes. Les premières plantes terrestres, encore primitives, mais vasculaires, apparaissent au milieu du Silurien. Au cours du temps, le retour aux origines de certains taxons à la vie aquatique, qui sont nommés hydrophytes (du grec : *hydro*, eau), nécessite des adaptations nouvelles de leur appareil végétatif et de reproduction : certains sont submergés et baignent totalement dans l'eau ; les racines et les stomates sont devenus inutiles. De petite taille, à tiges souples et petites feuilles, ces plantes développent des lacunes aérifères au sein d'un réseau de cellules ainsi allégé ; leur structure se présente en rosette.

En revanche, les posidonies (*Posidonia*), Posidoniacées (fig. 6), sont des plantes aquatiques sous marines totalement immergées qui présentent tous les caractères des angiospermes monocotylédones classiques : elles possèdent des racines, des tiges, des feuilles et des organes reproducteurs ; après la floraison, elles produisent des fruits flottants (les olives de mer). Elles construisent de vastes herbiers entre la surface de l'eau et les profondeurs. La posidonie de Méditerranée (*Posidonia oceanica*), est endémique à la mer



Méditerranée. Elle présente plusieurs particularités : sa tige est rhizomateuse et ses six à sept feuilles, rubanées, disposées en touffes, mesurent près d'un mètre de long... Ces herbiers volumineux constituent l'écosystème majeur de la Méditerranée et jouent un rôle important dans la protection des côtes contre l'érosion. Ils accueillent par ailleurs de nombreux organismes animaux et végétaux qui y trouvent alimentation et protection, mais aussi une communauté d'épiphytes variées, bactéries, diatomées, algues, bryozoaires, foraminifères... qui colonisent les feuilles à la base du rhizome (et même des feuilles artificielles à titre expérimental). Ces micro-organismes sont sensibles à la pollution et aux agressions liées aux activités humaines ; ce sont de véritables enregistreurs biologiques donc de puissants détecteurs qui rendent compte de la qualité globale des eaux littorales.

Figure 6.
La posidonie (*Posidonia*,
Posidoniacée). Angiosperme,
monocotylédone sous-
marine, totalement
immergée.

D'autres hydrophytes sont flottantes ; les stomates sont donc présents à la face supérieure des feuilles, les racines plongent dans des eaux calmes. Enfin, il existe des plantes qui poussent dans l'eau des marais ; ce sont les hélrophytes, (du grec : *hélos*, marais). Elles appartiennent pour la plupart à la classe des Monocotylédones avec les familles des Typhacées, des Cypéracées, des Juncacées, et des Ceratophyllacées ; plus rares sont les Dicotylédones qui partagent le même mode vie.

Les plantes d'eau ont le même type de reproduction sexuée, avec des fleurs dont le pollen doit être transporté d'une fleur à l'autre ; la pollinisation est donc hydrogame quand les étamines plongent dans l'eau et anémogame quand les anthères pointent hors de l'eau. Quelques cas atypiques montrent à quel point l'adaptation de la reproduction sexuée peut se compliquer et se spécialiser en rapport avec l'anatomie de la fleur ! Exemple : une Hydrocharitacée, la Vallisnérie, est une plante à la fois submergée et enracinée au fond de l'eau. Ses petites fleurs mâles fermées sous l'eau contiennent une bulle d'air qui les fait remonter à la surface où elles s'ouvrent. Les fleurs femelles portées à la surface par un long pédoncule rencontrent les fleurs mâles qui déposent leur pollen. Ensuite curieusement, le pédoncule s'enroule en hélice sur lui-même, donc ramène le fruit de la fécondation sous l'eau où il finira de mûrir, d'où son nom latin : *Vallisneria spiralis* !

Il convient de noter également que la reproduction végétative, par multiplication de certains éléments de la plante par bouturage ou bourgeonnement, est très courante chez les hydrophytes.

L'adaptation à la vie épiphyte concerne principalement les herbacées, parfois les ligneuses. La plante épiphyte est capable de germer, donc de réaliser tout son cycle de vie au contact d'un autre végétal sur lequel elle s'est installée, sans jamais avoir de relation avec le sol.

Par ailleurs, une plante parasite se sert d'un autre végétal, généralement un arbre, comme support, pour utiliser sa sève sans avoir de relation vasculaire avec lui.

Le gui blanc (*Viscum album*), Loranthacée ou Santalacée selon les auteurs, est un des rares taxons répandu en régions tempérées, concerné par ces deux dernières caractéristiques. C'est un sous-arbrisseau à la fois épiphyte et hémiparasite car partiellement dépendant de son hôte (fig. 7). Dépourvu de racine, il est muni de suçoirs qu'il enfonce profondément dans le bois pour soutirer de l'eau et des sels minéraux ; néanmoins, il possède de la chlorophylle qui lui permet de synthétiser des matières organiques telles que les glucides et les protides. Des centaines d'arbres et arbustes sont susceptibles d'être porteurs de boules de gui ; ce sont par exemple les pommiers, les peupliers, les saules, les tilleuls et les aubépines... Mais il existe à peu près soixante-dix autres espèces du genre *Viscum*, répartis en régions tempérées.

Ce sont principalement les régions tropicales et équatoriales qui abritent un maximum de plantes épiphytes surtout dans les forêts humides.



Figure 7.
Le gui blanc (*Viscum album* L., Loranthacée), ou Santalacée selon les auteurs, est une plante épiphyte, hémiparasite.

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE ACTUELLE SOUS CLIMAT TROPICAL

Le tableau synoptique du règne végétal actuel se retrouve bien entendu dans la végétation tropicale. Mais ce qui caractérise cette dernière est son extrême richesse en familles, genres et espèces. Il est difficile d'estimer leur nombre, puisque toutes ne sont pas répertoriées.

La végétation et sa diversité sont naturellement influencées par le climat, c'est-à-dire la pluviosité et la température, mais également par l'altitude. C'est la pluviosité qui va déterminer le développement de la forêt : sans pluie, pas de forêt, quelle que soit la température qui participera à l'originalité de la diversité. Enfin, l'altitude va impliquer une zonation végétale (liée à la diminution de la température et à l'augmentation de la pluviosité). La zonation altitudinale est importante, en particulier parce qu'elle permet aux palynologues de reconstituer les variations climatiques passées en suivant les déplacements altitudinaux des associations végétales et de localiser des zones refuges.

Sous les tropiques, deux grandes tendances peuvent être mises en évidence, une végétation soumise en permanence à un climat humide et une végétation soumise à des saisons sèches marquées.

Dans le premier cas la forêt tropicale humide, *rain forest*, se développe, dense, avec une canopée élevée, de nombreuses lianes (fig. 8), des plantes épiphytes (fig. 10) et une strate inférieure appauvrie, la forêt d'ombre (fig. 9).

Figure 8.
Forêt tropicale humide,
lianes.







Page de gauche :
figure 9.
Forêt d'ombre (Philippines).

Figure 10.
Forêt tropicale humide,
épiphytes – Orchidées.

Bien que ne représentant que 2 % de la surface de la Terre, on considère que la forêt tropicale humide renferme près de 50 % de sa vie. Cette forêt se répartit en plusieurs strates : les arbres émergents (65 m), la canopée, dense (30 à 40 m), la strate inférieure d'arbrisseaux recevant peu de lumière et enfin un tapis végétal adapté à la quasi-obscurité. Les lianes et les plantes épiphytes sont des éléments capitaux de la forêt tropicale humide ; d'une extrême richesse, ils créent de mini-écosystèmes et permettent aussi une "ouverture" de la forêt dense vers le sommet de la canopée.

Les plantes épiphytes sont des plantes qui vivent sur le tronc et les branches des arbres. Elles s'en servent comme support sans les parasiter. Les plus célèbres sont les Broméliacées, les Amaryllidacées, les Orchidées, les Aracées, des fougères... Elles peuvent accéder à la lumière et abriter un grand nombre d'animaux pollinisateurs. L'existence de plus de 15 000 épiphytes est estimée en région tropicale.

Les lianes constituent un élément très important de la forêt, grimpant le long des troncs jusqu'à la lumière et formant un réseau souvent inextricable. Certaines formes géantes peuvent avoir des diamètres comparables à ceux des arbres et mesurer plusieurs dizaines de mètres de long. Il existe plus de 2 500 espèces de plantes grimpantes appartenant à environ 90 familles différentes. La liane la plus connue est le rotin du genre *Calamus* (Arecacée) utilisé dans la fabrication de meubles et dont le fruit est comestible.





Page de gauche :
Figure 11.
Forêts de mangrove
(Vanuatu).

Figure 12.
Végétation marécageuse
(Vanuatu).

Figure 13.
La "monsoon forest" ou forêt
saisonnière (Java).

Page de droite :
Figure 14.
Les arbres de la forêt à
saison sèche marquée.
A : Arbre de fer (*Casuarina*)
– Casuarinacée.
B : Teck (*Tectona grandis*)
– Verbenacée.

Enfin, le sol de la forêt tropicale humide est pauvre en végétation, en raison du manque de lumière de pluie et de vent occasionné par le filtre que représente la canopée.

Dans le même cadre environnemental et climatique que la *rain forest*, se déploient d'autres types de forêt tels que la forêt de mangrove (fig. 11) et la forêt marécageuse (fig. 12). Dans le second cas, c'est une forêt saisonnière, la *monsoon forest*, (fig. 13), de composition différente de la *rain forest* qui se développe. Elle est plus ouverte et une strate inférieure plus riche peut s'installer. En cas d'extrême sécheresse, ce qui est rare mais possible, la forêt ne peut s'installer.

En Indonésie, et en particulier sur l'île de Java, outre la très forte anthropisation actuelle du paysage, ces différentes formes de végétation sont bien représentées. À l'ouest, toujours humide, la *rain forest* se subdivise en plusieurs ensembles à partir des plaines côtières jusqu'au sommet des reliefs volcaniques. À l'est de l'île, la *monsoon forest*, moins dense que la *rain forest* est relativement plus fragile et sensible aux variations climatiques et aux incendies. Les principaux arbres qui la composent sont, en général, les légumineuses mais également les Casuarinacées et le teck (*Tectona grandis* – Verbenacée) (fig. 14) qui font l'objet de reforestation. À l'extrême est, prend place une végétation proche de la savane (fig. 15).

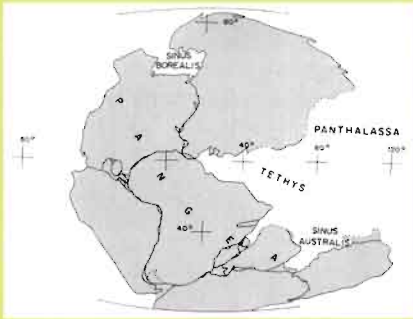
Différentes formes adaptatives se construisent pour combattre tant une humidité excessive que la sécheresse, la chaleur ou la pénombre. Les plantes de la forêt de mangrove, qui se localisent à la limite de balancement des marées, développent des adaptations particulières qui leur permettent de résister à la salinité du milieu ainsi qu'à leur instabilité sur un sol vaseux; ce sont par exemple les pneumatophores (fig. 16A) ou les racines échasses (fig. 16B).

Il faut ajouter, dans le cas de Java et des régions volcaniques en général, l'existence d'une végétation de reconquête des zones détruites par les effets du volcanisme. Cette végétation est caractéristique et l'on y observe la succession

ÉVOLUTION DES ESPACES TERRESTRES À TRAVERS LES TEMPS GÉOLOGIQUES.

Esquisse paléogéographique de quelques étapes de l'évolution des espaces terrestres sur la planète "Terre" à travers les temps géologiques. La tectonique des plaques, mise en évidence par Alfred Wegener au début du XX^e siècle, permet d'expliquer la dérive des continents qui demeure le modèle de fonctionnement interne du globe terrestre.

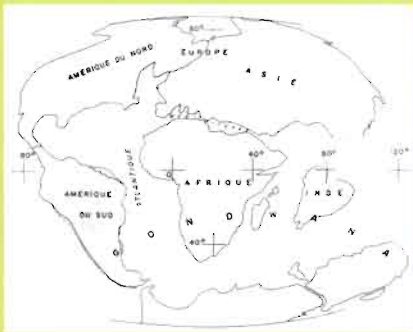
Elle est confortée par l'identité paléobotanique des macrorestes végétaux, empreintes, spores et grains de pollen, fossilisés à l'emplacement des lignes de fractures. Ces vestiges rejetés de part et d'autre des rivages des nouveaux blocs constitués, témoignent donc de leur position initiale.



A: Aperçu du globe terrestre, à l'aube de l'ère primaire (Cambrien, vers 540 Ma).



B: Aperçu du globe terrestre, au milieu de l'ère secondaire (Jurassique, vers 160 Ma).



C: Aperçu du globe terrestre, au cours de l'ère tertiaire (Paléogène, entre 65 Ma et 23 Ma).



Figure 15.
La forêt saisonnière à Java central, Teck, *Tectona grandis* (Verbenacée) et *Acacia spirorbis* (Fabacée).

Figure 16.
La forêt de mangrove, adaptations racinaires.
A : Pneumatophores chez *Sonneratia* (Sonneratiacée).
B : Pneumatophores et racines échasses.

Figure 17.
Volcan Bromo – est Java.
A : Casuarinacées et Poacées.
B : Vue générale.

de plantes pionnières et le développement rapide de plantes résistant au feu comme *Casuarina* et certaines Poacées (*Imperata cylindrica*) (fig. 17). Les plantes de la végétation littorale se caractérisent par leurs facultés à pousser sur des sols meubles ou au contraire, rocheux. (fig. 18).

Les arbres de la forêt marécageuse s'ancrent dans les sols boueux grâce à des contreforts racinaires aux tailles impressionnantes (fig. 19). À l'heure actuelle, les formations primaires sont très dégradées au profit des cultures, rizières et plantations de thé à l'ouest de l'île (fig. 20A et B) laissant la place, à l'est, au maïs, à la canne à sucre et au manioc (fig. 21).

Dans le cas des îles du Pacifique dont nous parlerons plus loin, la biodiversité est particulière en fonction notamment de leur origine. Elles peuvent être soit détachées des masses continentales au cours de la dérive des continents, soit issues du volcanisme.

Les premières peuvent être illustrées par la Nouvelle-Calédonie rattachée autrefois à l'Australie. La végétation présentera alors de grandes affinités avec celle de l'Australie du Nord-Est, mais s'en éloignera par les nombreuses espèces engendrées par l'isolement insulaire. La flore des îles du Vanuatu, proches de la Nouvelle-Calédonie, montre, par contre, de fortes affinités avec celle de l'Asie du Sud-Est.



Les îles volcaniques, quant à elles, se forment dans les océans et sont colonisées par des plantes dont les fruits flottants peuvent germer après avoir dérivé – c'est le cas du cocotier – mais aussi grâce aux oiseaux qui diffusent les graines.

La colonisation des terres peut également se faire grâce à la dérive de radeaux naturels détachés des côtes.

On comprend alors que la richesse végétale de ces îles soit liée, en grande partie, à l'apport de plantes par les premiers navigateurs les ayant peuplées. La biodiversité végétale est aussi enrichie par les nombreux cultivars développés par l'homme pour des plantes telles que l'igname et le taro (fig. 22A), et également par les plantes introduites en général, telles que les plantes invasives souvent mal maîtrisées et qui arrivent à étouffer le reste de la végétation (fig. 22B); elle va dépendre enfin de l'isolement insulaire qui favorise l'endémisme comme nous le verrons plus loin. D'une façon générale, dans le Pacifique, la richesse décroît de l'Ouest vers l'Est.

Figure 18.
Plantes de bord de mer adaptées à des sols meubles, sableux ou à des rochers.
A: Java (Océan indien).
B, C et D: Efaté (Vanuatu).
E: Nouvelle-Calédonie.

Figure 19.
Adaptations en milieu marécageux – troncs à contreforts (Vanuatu).



Figure 20A.
Plantations de thé
à l'ouest de Java.



Figure 20B.
Rizières à l'ouest de Java.

Figure 21.

A : canne à sucre, à l'est
de Java.

B : Maïs, manioc,
bananiers.



21A



21B

Figure 22.

Plantes introduites et
invasives.

A : Taro (*Colocasia esculenta*,
Aracée), introduite (Nuku
Hiva – Marquises).

B : Plante invasive,
(*Merremia*, Convolvulacée)
liane recouvrant la forêt à
Santo (Vanuatu).



22A



22B

NAISSANCE ET PROGRESSIVE AVENTURE DE LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE DU PASSÉ

Le tableau de classification des plantes, précédemment établi, avec son commentaire et ses illustrations, synthétise la composition globale des flores installées sur le globe, en Europe tempérée et sous climat tropical; il expose la hiérarchie des différentes formes de végétaux, des plus primitifs aux plus complexes, et leur association au sein de divers paysages naturels.

Cette présentation devrait, *a priori*, participer au suivi de la progressive installation de la biodiversité végétale, c'est-à-dire le parcours évolutif de ses éléments quittant le milieu aquatique pour conquérir la terre ferme. Au terme de l'émergence des Phanérogames, le définitif épanouissement, à la fin de l'ère secondaire et sur tous les continents, des angiospermes, qui produisent et libèrent le pollen, illustre avec brio l'un des progrès les plus performants de la micro-biodiversité.

LE GLOBE TERRESTRE DÉPOURVU DE BIODIVERSITÉ DU VIVANT

L'âge de la Terre est approximativement évalué à 4 milliards et demi d'années. Le Globe est à l'origine strictement minéral et entouré d'une enveloppe gazeuse privée d'oxygène, essentiellement constituée de vapeur d'eau issue du bombardement de météorites, associée à de l'ammoniac, du méthane et de l'hydrogène.

Il faut imaginer une vaste surface inhospitalière, d'étendues solides et liquides, inorganique et sans relief, mais très fortement irradiée par les ultraviolets émanant du soleil.

Ce sont ces incessantes radiations et de multiples décharges électriques qui seraient à l'origine de la formation, durant plusieurs centaines de milliers d'années, de composés organiques, tels que les acides aminés et nucléiques, premières sources de vie; les plus anciennes identifient le Précambrien, il y a plus de 3 milliards d'années.

L'avènement essentiel de la photosynthèse qui réalise l'édification de molécules organiques sous l'action de la lumière, et celui de la chlorophylle, pigment indispensable au phénomène, se situeraient vers 2 milliards et demi d'années.

Figure 23.
Coupe de stromatolithes formés sous l'action de bactéries photosynthétiques ou Cyanobactéries. On observe une succession de croûtes formant une roche, la laminite cyanobactérienne. À l'origine, c'est un assemblage de filaments qui a piégé et aggloméré des sédiments. La photosynthèse a favorisé la précipitation du carbonate de calcium qui est le constituant des croûtes calcaires.



LA VIE S'INSTALLE SUR LE GLOBE

Elle progresse très lentement pour des êtres capables de subsister dans un milieu privé d'air. Ce sont les formations organiques rudimentaires, sans véritable noyau, mais dotées de substances chlorophylliennes et dénommées Procaryotes ou Protocaryotes. Leurs plus anciennes traces sont végétales, uniquement aquatiques et se placent au milieu du Précambrien, il y a un peu plus de 2 milliards d'années. Ce sont les Cyanobactéries, autrefois nommées algues bleues.

Les microflores les plus archaïques sont américaines et africaines ; la formation du *Gunflint* décrite dans l'Ontario méridional renferme des algues, des bactéries et des champignons inférieurs. Ces végétaux primitifs ont néanmoins peu à peu dégagé de l'oxygène qui s'est transformé en ozone sous l'action des ultraviolets. Il s'est alors constitué une pellicule protectrice de ce gaz qui a fait écran entre les radiations et les prémices de la vie végétale représentées par des organismes pluricellulaires, dits Eucaryotes et pourvus de véritables noyaux, à partir de 1,5 milliard d'années.

Les algues vont prospérer les premières, associées à des éléments sphériques assimilés à des spores. Les plus anciennes traces des plantes sont en effet leurs spores résistantes à la dessiccation. Les premières spores à l'origine de la reproduction des végétaux les plus anciens, aquatiques puis terrestres, seraient donc apparues au Précambrien.

À la fin de cette période, entre 800 et 600 Ma, les mers peu profondes, les lagunes et les zones littorales vont donc se peupler d'algues, alors que la surface des zones émergées n'accueille toujours pas d'éléments végétaux.



Figure 24.
Le paysage du Nord de la France, à la base du Dévonien inférieur, il y a environ 415 Ma.

La végétation terrestre est encore pauvre ; elle est représentée par des Psilophytes, des Lépidophytes et des Filicales qui commencent à s'installer à la surface des territoires émergés.

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE À LA CONQUÊTE DES TERRES ÉMERGÉES

Nous allons suivre la lente installation des communautés végétales sur les continents.

Le Paléozoïque

Le Paléozoïque, ou ère primaire, qui suit le Précambrien, va durer un peu moins de 300 millions d'années (Ma). Il débute vers 540 Ma, par le système **Cambrien** caractérisé par la diversification des Thallophytes, des algues par exemple, qui développent au cours de plusieurs millions d'années, des incrustations calcaires appelées stromatolithes (fig. 23).

Après son émergence au Cambrien, une riche faune marine se diversifie dans les mers peu profondes du système suivant, **l'Ordovicien**. À partir de 445 Ma environ, tous les groupes d'invertébrés sont déjà présents et la véritable apparition, un peu plus tard, des plantes terrestres adaptées à la vie aérienne, débute avec des végétaux vasculaires mais très primitifs, les Protosilophytes, qui produisent des spores comme tous les végétaux apparus à l'aube de l'ère primaire.

Aucun événement paléogéographique important ne se produit entre le Cambrien et la fin de l'Ordovicien. Cependant à l'Ordovicien terminal, une conjoncture de causes qui sont : d'une part un changement climatique rapide vers un refroidissement et d'autre part, une régression généralisée, suivie d'une transgression anoxique, provoque une crise biologique, entre 445 Ma et 435 Ma, qui fait surtout disparaître la quasi-totalité des espèces marines déjà individualisées ; beaucoup sont asphyxiées.

La limite supérieure du Silurien est bien marquée par la surrection de la chaîne calédonienne dans toute l'Europe septentrionale actuelle (Ardenne, Scandinavie, Écosse, Irlande par exemple) ; elle se poursuit vers le Canada et les États-Unis où elle forme les Appalaches.

À cette époque, on admet l'existence d'un continent unique originel ou Pangea ; il est entouré d'une seule masse aquatique, la Panthalassa, ancêtre de l'Océan Pacifique et bordé de golfes : au Nord le Sinus borealis qui évoluera en Océan Arctique et au Sud la Téthys dont il reste la Méditerranée actuelle.

Figure 25.
Reconstitution du paysage
du Nord de la France, à la
base du Carbonifère, il y a
environ 350 Ma. (Dinantien).

La flore est encore assez
pauvre ; elle comprend : des
Lépidophytes arborescentes
ainsi que des Fougères
“*Diplopteridium affine*”,
dont les empreintes sont
bien représentées dans le
Dinantien des Vosges.



C'est au milieu de ce système, vers 425 Ma, jusqu'au Dévonien moyen autour de 395 Ma, que se manifeste réellement la reconquête de la vie végétale à la suite de la première crise biologique. Certains végétaux vasculaires se mettent en place et prennent d'importantes dimensions. Ce sont d'abord les Psilophytes vraies qui ont dû se développer sur les bordures continentales dans une mince épaisseur d'eau.

Les Psilophytes, du Grec *Psilos*, sont des plantes nues. Ce sont des pionnières qui amorcent “la sortie des eaux”, c'est-à-dire la conquête des continents. Elles sont actuellement représentées par *Psilotum* et *Tmesipteris* “fossiles vivants” réfugiés dans les régions tropicales. Ce groupe a été créé pour nommer les ancêtres fossiles des végétaux terrestres. Ce sont par exemple, parmi les plus anciens et très importants, puisqu'ils seraient à la base de toutes les lignées de plantes vasculaires : *Cooksonia*, *Psilophyton*, *Rhynia* et les genres *Zoosterophyllum*, premières plantes de la lignée des Lycophytes.

Parallèlement, on assiste à une nouvelle importante diversification des algues ; les algues du Cambrien sont accompagnées d'autres formes, qui ont dû se rapprocher de la côte en flottant dans les lagunes saumâtres.

À partir du Dévonien, autour de 410 Ma (fig. 24), la paléogéographie du globe évolue. Le bouclier scandinave agrandi par les plissements calédoniens est soudé au continent nord atlantique et la Téthys s'individualise en Méditerranée centrale. La progressive destruction des reliefs entraîne les vastes étendues désertiques des “vieux grès rouges”. Par ailleurs, la surface des territoires émergés s'accroît cependant à la faveur des saillies, résistantes à l'érosion.

C'est donc durant ce système que la véritable installation de la végétation terrestre s'affirme. Les Cryptogames non vasculaires, tels que les Bryophytes (mousses, hépatiques) se développent et les champignons se multiplient.



Figure 26.
Reconstitution du paysage
du Nord de la France, à la fin
du Carbonifère, il y a environ
300 Ma. (Westphalien
Supérieur).

Enfin, l'apparition des Cryptogames vasculaires, prêles, lycopodes et fougères au sens large (Ophioglossales, Marattiales et Polypodiales...), marque réellement la conquête des territoires continentaux dévoniens.

Le Dévonien est aussi la période des grands progrès évolutifs qui concernent :

- la structure du végétal, avec la production du bois assurant croissance et solidité ;
- la reproduction sexuée, avec l'hétérosporie* mâle et femelle, la fécondation de l'ovule ;
- la production de l'embryon qui sera sauvegardé dans une graine résistante aux intempéries.

Ainsi, au terme de plusieurs révolutions botaniques, le Dévonien supérieur, entre environ 380 et 360 Ma, voit apparaître des forêts modestes qui vont s'agrandir et l'avènement du pré-pollen et des plantes à ovules, qui représentent plus de 95 % de la biodiversité actuelle au sein de la classe des Ptéridospermées dans l'embranchement des Spermatophytes ; elles font partie des Préphanérogames qui annoncent les Phanérogames comprenant aujourd'hui les gymnospermes et les angiospermes.

Pourtant ce système est jalonné de crises biologiques mineures : la plus importante, qui se situe au Dévonien supérieur vers 365 Ma, est responsable de la disparition des communautés récifales et d'une façon générale de l'extinction en masse à l'échelle mondiale de la faune marine. Certains vertébrés, et parmi eux les poissons, régressent au Dévonien moyen et s'éteignent à la fin du Dévonien supérieur. Parmi les organismes terrestres, les amphibiens sont concernés.

La crise ne semble pas affecter ni interrompre le départ évolutif des végétaux continentaux durant le Dévonien ; elle n'intéresse que le domaine marin, le milieu aquatique continental n'étant que pas ou peu concerné.

À la suite du Dévonien, dès le début du Carbonifère, entre 360 et 355 Ma, la mer envahit le continent des vieux grès rouges et y dépose un calcaire à faciès néritique de plate-forme continentale ; au contraire dans la Méditerranée centrale, s'accumulent des sédiments profonds. C'est le début d'une des périodes les plus importantes de l'histoire géologique du Globe qui va connaître les principaux épisodes orogéniques, précurseurs hercyniens, et le développement de la fameuse flore dite "anthracolithique".

C'est, en effet, durant tout le **Permo-Carbonifère**, le plein épanouissement d'une flore terrestre luxuriante, avec l'apogée des Cryptogames vasculaires (hormis les Psilophytes), la diversification des Préphanérogames et le développement des premières Phanérogames ; toutes ces plantes qui se sont fossilisées dans une série de petits bassins littoraux ou dans des dépressions fermées en eau douce en plein continent et sous un climat chaud et très humide quasi-tropical, ont en effet constitué les dépôts du houiller. Au sein du système Carbonifère, nous distinguons trois formations essentielles dans les bassins houillers du Nord : le Dinantien, le Westphalien inférieur, moyen et supérieur, puis le Stéphaniens qui se différencient en fonction de leur richesse en fougères, en conifères et en Phanérogames.

Ce sont les empreintes de ces végétaux (fig. 25) et les flux sporopolliniques abandonnés dans les dépôts, qui permettent de suivre l'évolution des formes regroupées en genres et par familles, dont certaines vont s'éteindre au passage Carbonifère-Permien autour de 300-295 Ma (fig. 26).

À cette période, la Mésogée s'est trouvée divisée en deux grandes régions ; au nord, une vaste dépression lagunaire et au sud la véritable Mésogée marine.

Au début du Permien, vers 295 Ma, des formations laguno-désertiques à roches détritiques vont recouvrir les dernières couches de houille de l'Europe occidentale et la suite des importants mouvements orogéniques va aboutir à la formation de la chaîne hercynienne, qui affecte l'Europe occidentale et l'Europe centrale, mais aussi tout le reste du globe de l'Amérique à l'Asie ; en France, elle concerne le Massif Armoricaïn et le Massif Central.

C'est le début d'une sécheresse qui s'installe et entraîne l'appauvrissement de la flore. En effet, autour de 250 Ma, la fin du Permien est caractérisée par la décadence des flores du Carbonifère et la progressive apparition des plantes de l'ère secondaire qui suit ; certaines familles de végétaux non vasculaires sont encore présentes, les fougères déclinent et les Phanérogames déjà apparues, dont les gymnospermes, persistent. Les grandes absentes sont toujours les angiospermes, avec leurs fleurs, leurs grains de pollen et leurs graines !



Le Mésozoïque, ou ère secondaire

À cette charnière évolutive se situe la grande extinction du Permo-Trias autour de 250 Ma. Les causes en sont six événements géologiques globaux : un changement climatique vers le réchauffement, une régression marine générale (avec une baisse de 250 m du niveau marin !), une baisse de la salinité des mers, les plus vastes et plus puissants épanchements volcaniques, un profond changement du rythme des inversions magnétiques, une très rapide transgression au Trias basal (avec une remontée de 210 m du niveau marin !) accompagnée d'un déficit en oxygène, donc une asphyxie des communautés benthiques. L'extinction P/T est la plus importante que la Terre ait connu, tuant 95 % de toutes les espèces dont 75 % des espèces terrestres, plantes, insectes et vertébrés, dont les premiers reptiles apparus.

De ce fait, le milieu marin s'effondre, avec une disparition de 57 % des familles présentes au Permien. La reconquête et le repeuplement ne commencent qu'au milieu du Trias, aux environs de 235 Ma.

En milieu continental, la flore triasique s'appauvrit et s'adapte à un climat plus chaud et surtout plus sec ; ainsi celle des marécages disparaît. Elle devient cosmopolite, à gymnospermes, Ptéridophytes et Ptéridospermées s'étant néanmoins raréfiés, et semble relativement uniforme à l'échelle du globe. Les palynomorphes sont dominés à 95 % de restes et de spores de champignons qui proviennent vraisemblablement de la destruction des plantes et de leurs débris organiques.

Figure 27. Développement des Juglandacées au Paléocène. Noyer commun ou noyer royal (*Juglans regia*). A : Le port de l'arbre. B : L'inflorescence mâle. C : Noyer du Caucase (*Pterocarya caucasica* ou *fraxinifolia*).

Il y a donc une réduction graduelle de la flore établie entre la fin de l'ère primaire et le début du Trias. La strate herbacée reprend avec les Lycopodes.

Mais une nouvelle crise biologique se manifeste au Trias supérieur, autour de 200 Ma. Elle entraîne encore plus particulièrement un bouleversement de la faune, avec une extinction majeure au sein des espèces marines. Ces extinctions vont se poursuivre jusqu'à la limite Trias-Jurassique. Les causes de ce nouveau grand désordre sont mal documentées. Elles peuvent être attribuées à un impact d'origine extraterrestre (qui aurait creusé un important cratère au Québec), mais aussi à des éruptions volcaniques importantes ayant occasionné une chaleur mortelle.

Par ailleurs, la paléogéographie évolue vers un vaste continent au régime désertique, la Laurasia qui réunit le bloc nord atlantique et celui de l'Angara à l'est. Au sud, le Gondwana se disloque.

Enfin au Trias supérieur, nous assistons à un renouvellement rapide des flores très certainement en relation avec la fin de la crise, c'est-à-dire le déclin de l'aridification du climat, de la diversification et de la formation des évaporites.

Le passage Trias-Jurassique, assez mal illustré, est néanmoins caractérisé dès le début du Jurassique par un élargissement de la profonde Mésogée, tandis que le domaine continental nord européen, vestige de la chaîne hercynienne, est peu à peu envahi par des transgressions marines en provenance du sud et qui progressent durant tout le Jurassique. Certaines régions en reliefs constitueront des îles au milieu de bassins ennoyés. Mais l'événement paléogéographique important au cours du système Jurassique est le morcellement du Gondwana en deux blocs, l'un africano-brésilien, l'autre australo-indo-malgache, disloqué lui-même au Jurassique moyen, en Australie et bloc indo-malgache, à la suite de différentes transgressions mésogéennes.

Tous les écosystèmes étant soumis à la même ambiance climatique, il s'en suit une certaine uniformité floristique. L'évolution des flores devient de plus en plus performante durant le Jurassique, avec une prédominance des gymnospermes, la présence des Bennettiales, des Ginkgoales et des Cycadales; puis elle se précipite au **Crétacé**, entre environ 150 et 65 Ma. Quelques types archaïques subsistent encore du Trias, mais la nouvelle composition des végétations établies sur les blocs continentaux est dominée par les gymnospermes, Coniférales, surtout, avec une grande diversité d'espèces, les Ptéridophytes à l'apogée de leur histoire sur le globe, les Cycadales et les Bennettiales moins abondantes et peu variées.

Il ne semble y avoir aucune barrière floristique entre les deux systèmes, mais il faut attendre le milieu du Crétacé et plus précisément **l'étage Albien**, entre environ 115 et 100 Ma, pour voir apparaître clairement les angiospermes libérant les grains de pollen; cependant les prémices de cette définitive émergence se situeraient dès le Barrémien, il y a 130 Ma. En effet, il est admis depuis près d'un siècle, que l'origine des angiospermes est tropicale, ceci à partir de grains de pollen de formes primitives découverts dans du Crétacé inférieur de Chine et de restes fossiles angiospermiens dans des strates du Crétacé inférieur (entre 100 et 140 Ma) de Mongolie et de Sibérie. Commence alors le règne des angiospermes qui entraîne le recul des gymnospermes.



Figure 28.
 Les taxons tropicaux
 chassés d'Europe par le
 refroidissement au début de
 la dernière période glaciaire.
 Le copalme d'Amérique
 (*Liquidambar styraciflua*)
 – Hamamélidacée.
 A: L'arbre.
 B: Le fruit.
 Le Cyprès chauve (*Taxodium*)
 – Taxodiaceae.
 C: Les pneumatophores.
 D: L'inflorescence mâle.
 E: Le fruit.

À la limite Crétacé-Tertiaire, autour de 65 Ma, la flore moderne est installée et tous les organismes continentaux ont fait la conquête de l'ensemble des niches écologiques disponibles sur terre et même dans l'eau douce.

C'est durant le passage d'une ère à l'autre que sévit la dernière crise d'extinction. Elle se manifeste par l'activation de la tectonique qui engendre de nouveaux reliefs. Par ailleurs, l'impact d'un astéroïde a créé un large cratère dans la presqu'île de Yucatan au Mexique et des flots de laves ont constitué les immenses plateaux du Deccan en Inde. Mais c'est la perturbation de la sédimentation dans les fonds océaniques qui affecte principalement la faune marine au sein de laquelle figuraient les ammonites ; cette extinction a aussi supprimé 18 % des vertébrés terrestres dont les dinosaures. On ne décèle par contre aucune rupture au sein de la flore terrestre, aucun arrêt de la radiation évolutive des plantes à fleurs et de leur diversité au niveau des familles.

À ce moment, les Hyménoptères sociaux, dont les abeilles, entrent en scène parmi les insectes et renforcent le rôle des autres pollinisateurs, en contribuant à la pollinisation des angiospermes, entraînant leur diversification.

Le Cénozoïque, ou ère tertiaire et Quaternaire

Vers 65 Ma, la flore tertiaire inféodée à un climat globalement chaud et humide, ne se différencie de l'actuelle que par sa répartition géographique, d'un continent à l'autre. Cependant, dès la fin du Crétacé, de nouvelles provinces phytogéographiques se sont individualisées à mesure que les aires continentales se sont déplacées.

La partie inférieure du Tertiaire ou Paléogène, entre 65 Ma et 23 Ma, est encadrée par deux régressions marines et comprend trois systèmes: Paléocène, Éocène et Oligocène. Le Nord continental est occupé par un large territoire constitué de l'Amérique du Nord soudée à l'Europe par le Groenland ; il est entouré d'une mer à l'emplacement de la mer du Nord et bordé au sud par une grande Méditerranée géosynclinale. Dans cette vaste fosse, les sédiments accumulés seront violemment plissés, dans un premier temps à l'Éocène, pour constituer les Pyrénées et les chaînes provençales et ensuite à l'Oligocène pour édifier la grande chaîne alpine composée de massifs s'étirant du Maroc à la péninsule indochinoise.

La Néogène qui suit, entre 23 Ma et la fin du Pliocène, 3-2 Ma, débute par une transgression et comprend deux cycles sédimentaires: le Miocène et le Pliocène. Le Miocène connaîtra le soulèvement définitif de la chaîne alpine, le morcellement du continent atlantique et à la fin, la fermeture de la Méditerranée ; l'isthme de Gibraltar n'offrira une nouvelle communication avec l'océan qu'au Pliocène.

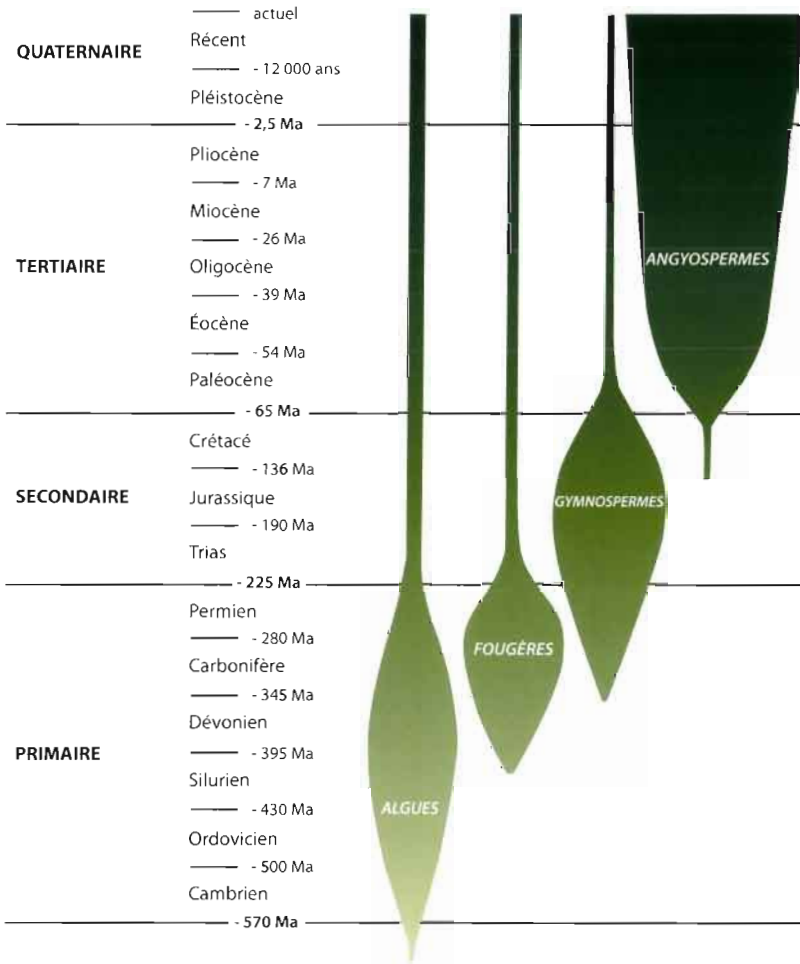
Compte tenu de cette nouvelle répartition des espaces terrestres, de nombreuses études polliniques ont été engagées. Nous mentionnons la belle synthèse régionale qui a été effectuée dans le Bassin Parisien (Châteauneuf, 1980) ; ce dernier représente en effet un bon exemple de province paléotropicale pour l'Europe occidentale.

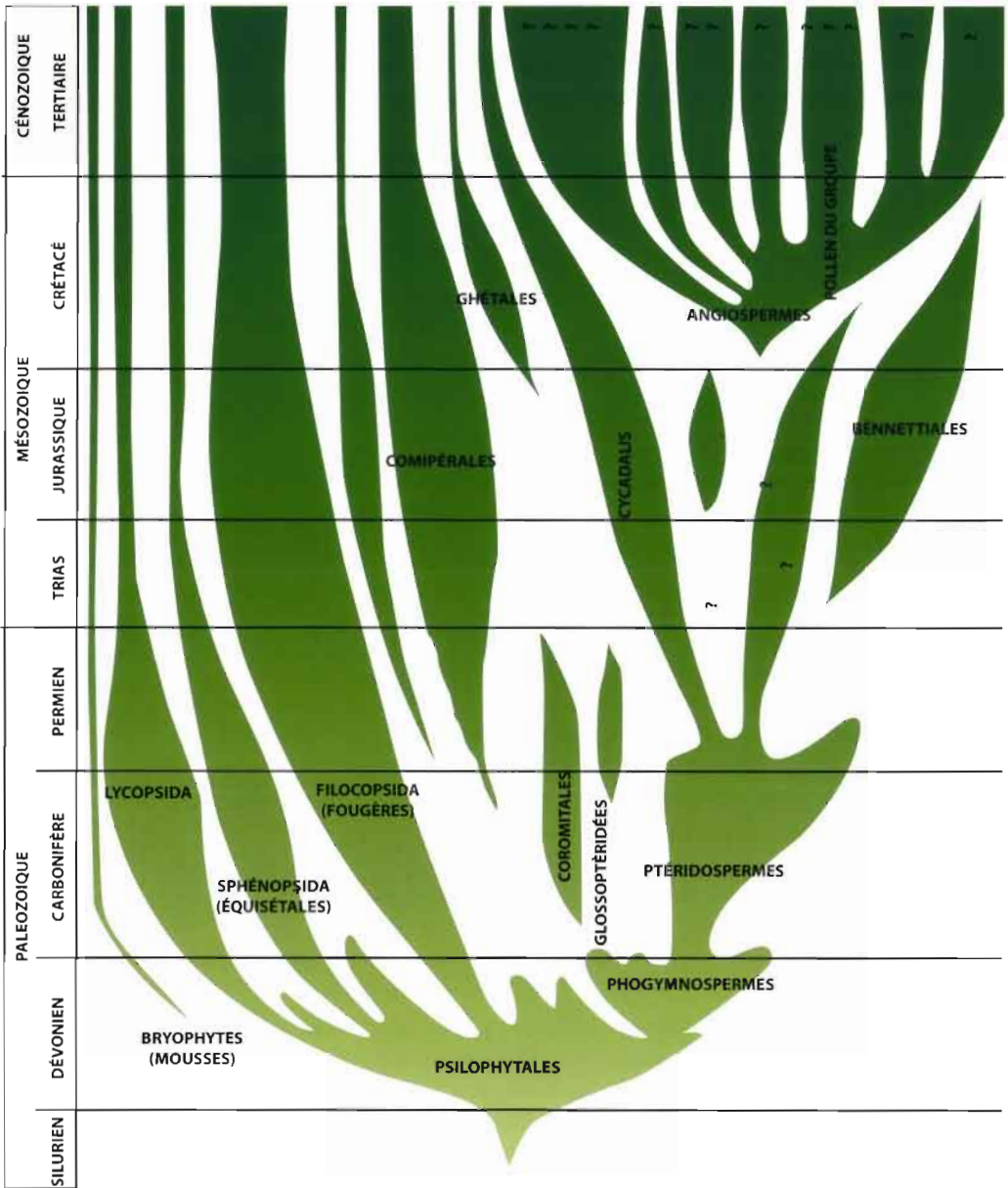
- Au Paléocène, la flore est peu différente de celle du Crétacé supérieur; à noter que les Juglandacées se sont développées (figure 27).
- Au début de l'Éocène, des flores arbustives chaudes et humides s'installent (par exemple le palmier sur les territoires marécageux)
- À la fin de l'Éocène, des flores tempérées se développent; au début de l'Oligocène, les éléments de la flore tempérée nouvellement mise en place cohabitent avec des taxons thermophiles.
- Le rafraîchissement apparu à l'Oligocène supérieur provoque la disparition des taxons de l'Éocène et leur remplacement par des espèces plus froides.

Nous avons déjà assisté aux événements orogéniques qui ont perturbé le passage du Paléogène au Néogène, la fragmentation des aires continentales et donc des associations végétales. Plusieurs péjorations climatiques s'enchaînent alors et progressivement, le Pliocène va connaître la régression des éléments thermophiles au profit des taxons tempérés et froids.

Figure 29A.
Évolution des principaux grands groupes de végétaux au cours des temps géologiques.

Figure 29B.
Évolution globale de l'ensemble des plantes terrestres au cours des temps géologiques.





Enfin, une période de glaciation, se met en place entre 3 et 2 Ma, c'est l'ère **Quaternaire**. Le nouveau facteur climatique vers un refroidissement va alors être déterminant dans la nouvelle distribution des associations végétales à la surface du Globe.

Les taxons tropicaux (dits relictés du Tertiaire) (fig. 28), vont se déplacer vers de nouveaux biotopes adaptés à leurs exigences écologiques et être remplacés par des taxons inféodés aux climats plus tempérés à froids, établis actuellement par exemple en Europe occidentale (fig. 29).

LA SURVIE DE LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE

Cet aperçu de l'apparition et de l'évolution de la biodiversité végétale sur la planète Terre, peut surprendre, émouvoir même, mais ne jamais laisser indifférent; de nombreuses questions peuvent encore se poser à propos des interprétations actuellement formulées sur cette histoire du passé de la végétation et de sa progressive installation, mais aussi sur l'hypothétique maintien dans un proche avenir, des paysages aujourd'hui établis.

Nous constatons immédiatement l'étonnante disparité des tranches de temps qui séparent la progression des premiers organismes vivants sur le globe dans le monde marin, qui s'évaluent en milliards d'années au sein du Précambrien, de la durée globale de la lente installation de toutes les communautés végétales sur les espaces terrestres, depuis leur sortie de l'eau; elles se calculent en millions d'années, depuis le début du Paléozoïque, avec l'avènement des Protopsilophytes à l'aube du système Silurien autour de 430 Ma, jusqu'à l'épanouissement des plantes à fleurs, au Crétacé inférieur final, un peu avant 100 Ma (fig. 30).

Cette relative précipitation de l'évolution des végétaux doit son histoire à deux ensembles qui se complètent :

- d'une part, les caractéristiques anatomiques et physiologiques propres au végétal;
- d'autre part, une série d'innovations performantes, en dépit de la succession des cinq crises d'extinction qui ont considérablement affecté les faunes, marines surtout, sans vraiment contrarier les enracinements continus de végétaux variés.

Une exception pourtant, celle de l'exubérante végétation quasi-tropicale développée au Permo-Carbonifère, qui n'a pas eu le temps de s'adapter à la crise de sécheresse du Permo-Trias et qui s'est épuisée puis terriblement appauvrie.

Il est enfin surprenant d'apprendre que la dernière grande crise, au passage du Crétacé au Tertiaire, est responsable de la disparition de deux véritables "dynasties", celle des ammonites et celle des dinosaures! Alors que les végétaux maintenus en place, ont vécu la naissance et l'épanouissement des angiospermes dans cette même tranche de temps.

En fait, le véritable départ de la vie végétale bénéficie d'emblée de la complémentarité existant entre l'assemblage de quelques cellules pourvues de

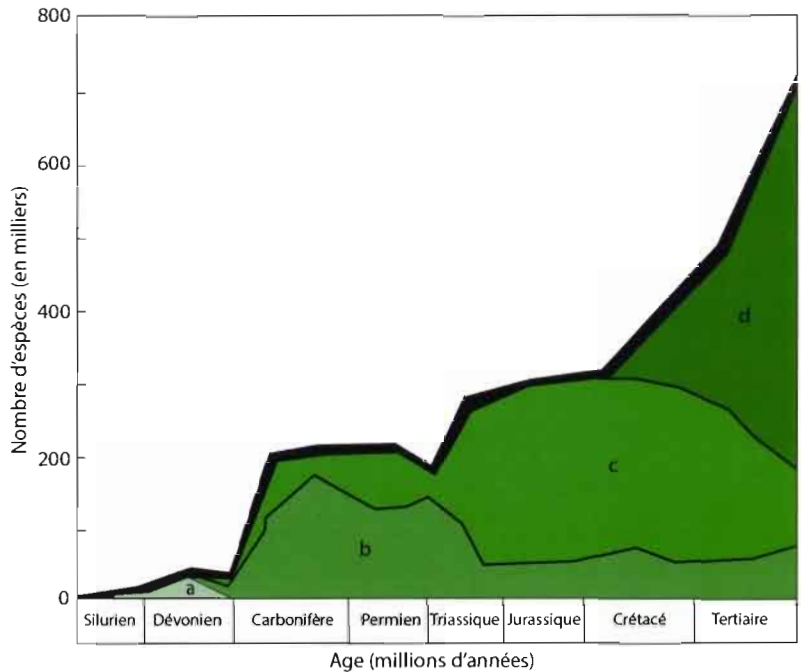


Figure 30.
Évolution du nombre des espèces végétales du Silurien à la fin du Tertiaire.
a: Premières plantes terrestres.
b: Ptéridophytes.
c: Gymnospermes.
d: Angiospermes.

structures équivalentes à des chloroplastes et les premiers effets connus de l'activité photosynthétique ; d'où l'émergence, au terme de plus de 2 milliards d'années, de plantes chlorophylliennes et autotrophes.

Nous avons vu que leurs continuelles transformations morphologiques et organiques leur ont conféré d'étonnants pouvoirs d'adaptation aux changements des conditions environnementales, par exemple pour lutter contre la dessiccation et les températures extrêmes, ou pour protéger leurs organes reproducteurs, en les enfouissant sous terre ou plus prudemment en les enfermant dans une sorte d'enveloppe qui les tient à l'abri des intempéries.

Enfin, à la série des grandes innovations, sont venus s'ajuster deux importants progrès, en particulier: la vascularisation qui engendre des végétaux comportant des tiges pourvues de vaisseaux conducteurs de sève, les affranchissant des milieux humides et leur permettant de sortir de l'eau ; l'installation définitive de végétaux sur la terre ferme, qui s'affirme enfin avec la production du bois qui solidifie et stabilise.

La reproduction sexuée grâce à l'hétérosporie

La production d'isospores, c'est-à-dire de spores toutes semblables est peu à peu renforcée par l'apparition de deux formes différentes qui deviennent des cellules sexuelles ou gamètes ; le gamète mâle n'a plus besoin de se déplacer dans un milieu liquide pour aller féconder le gamète femelle, déjà à l'abri dans une capsule protectrice. Le résultat de la fécondation produit un œuf qui assure la pérennité de la plante.

Conclusion

Dans le droit fil de cette présentation de la résistance des végétaux aux violentes perturbations enregistrées sur la planète, nous constatons que les traces de “vie végétale” inscrites dans les terrains fossilifères, sont certainement aussi nombreuses que celles des restes de “vie animale”, souvent mal conservées ou détruites ; d’où une approche bien documentée des reconstitutions floristiques du passé sur les continents.

Il semble donc que ce soit l’ensemble des caractéristiques spécifiques aux végétaux et le continuel renouvellement de leur progrès évolutifs qui puissent expliquer la rareté, voire l’absence d’extinctions majeures au sein des premiers grands embranchements floristiques individualisés, au cours de l’évolution de la biodiversité.

Nous avons observé que les principales crises biologiques, comme celle qui a perturbé le début du Paléozoïque, à la fin de l’Ordovicien entre 445 et 435 Ma, avaient fait disparaître la quasi-totalité des espèces marines déjà installées. Or, c’est dans cette même tranche de temps que les premières plantes vasculaires se sont rapprochées des marges continentales et se sont progressivement adaptées à une vie aérienne ; leur arrivée et leur ancrage sur les terres émergées sont certainement les premiers facteurs à retenir au bénéfice de leur survie. Ensuite leur étonnante faculté à résister aux bouleversements orogéniques des étendues terrestres et aux extrêmes climatiques, en développant de nouvelles pièces anatomiques végétatives et reproductrices, a autorisé la progression de leur biodiversité. Ainsi, avec l’apparition tardive, à la fin de l’ère secondaire, des végétaux produisant le pollen, de nombreux autres taxons appartenant aux embranchements des Ptéridophytes et des premières gymnospermes, apparus dès l’ère primaire, sont parvenus jusqu’à nous et participent à l’ensemble de la biodiversité végétale actuelle.

À l’heure actuelle, il est malheureusement vérifié que cette biodiversité se réduit de façon dangereuse et que les causes en sont multiples.

La biodiversité des sols qui accueillent les végétaux est elle-même menacée par des dégradations : érosions, fuites des teneurs en matières minérales et organiques, pollutions diffuses, tassements, acidifications, salinisations... La manipulation mal gérée des usages que l’on fait des terres : urbanisation anarchique, mises en cultures et déforestations excessives peu contrôlées figurent parmi les principales causes d’appauvrissement de la biodiversité des végétaux, les constituants des sols n’ayant pas le temps de se régénérer et de s’adapter à une nouvelle destinée ; le cloisonnement des espaces verts lié au recouvrement des terrains en milieu urbain menace aussi le maintien d’une biodiversité locale. Il est donc évident aujourd’hui, que l’accroissement de la pression exercée par les activités humaines, leurs modes de gestion mal

maîtrisés et les débordements de l'industrialisation laissent peu de place au respect de la nature.

La biodiversité végétale serait-elle donc gravement menacée?

Durant des milliers d'années, le grand nombre d'extinctions massives a causé un grand tort à la biodiversité, même s'il semble qu'après chacune d'elles, la végétation, profitant de nouvelles niches écologiques libérées et de l'apparition de nouveaux taxons déjà plus évolués, ait réagi dans le sens d'une progressive reprise de la diversité. La reconquête a donc été positive. Or, à ce jour, il n'en est pas moins vrai que certaines espèces continuent de disparaître et que ce phénomène est désormais en grande partie le fait de l'anthropisation. Si l'Homme est le grand responsable, il s'agit d'en tirer des conclusions adaptées et de proposer des solutions utiles.



LE POLLEN

Le pollen, invisible à l'œil nu, est omniprésent dans tous les espaces ouverts. La "pluie de soufre" : un amas de milliers de grains de pollen au mètre cube est libéré par exemple, par les conifères, en suspension dans l'atmosphère et tombe du ciel...

Il y a plus de cent millions d'années, au terme de la dernière phase d'évolution du monde végétal, l'apparition du pollen est une véritable révolution biologique, ses aptitudes sont multiples.

Parmi les insectes, ses compagnons, nous serions tentés de penser que l'abeille l'a choisi, en butinant et aspirant le nectar, pour le ramener à la ruche et le faire participer à la mellification. Mais chemin faisant, de fleur en fleur, cet élément microscopique assume surtout sa fonction de cellule reproductrice mâle des plantes à fleurs et la pérennité des floraisons.

Sa complexité anatomique et son rôle essentiel de fécondateur en font ainsi l'emblème de la micro-biodiversité végétale.

Protégeons-le!

HISTORIQUE ET DÉCOUVERTE

La place du pollen au sein de la biodiversité végétale a été pressentie dès l'Antiquité et identifiée, en particulier par ses possibles vertus reproductrices. Au IV^e siècle avant J.-C., Hérodote voyait déjà, dans la poussière du pollen, un rôle fertilisant. Au I^{er} siècle avant J.-C., Pléine l'Ancien traite du pollen dans le livre I de son *Histoire naturelle*. Les premiers herbiers, rudimentaires, ont vu le jour il y a bien longtemps. Ils n'intégraient pas les plantes mais leur représentation. Les premiers herbiers réels, quant à eux, sont associés à la médecine. En effet, les plantes, utilisées comme médicaments, représentaient un souci constant dans le domaine de la santé.

Le tout premier, **Herbarius**, répertorie 131 plantes. Il a été compilé en latin, au IV^e siècle de notre ère, à partir d'un original grec. L'auteur invoqué, Apulée, est un écrivain berbère du II^e siècle.

Mais c'est la pharmacopée de Dioscoride, diffusée sous sa forme latine *De materia medica*, qui fera l'objet des plus belles illustrations, comme l'atteste l'exemplaire de Vienne, réalisé vers 512 à Byzance. À partir du VI^e siècle, les bénédictins du Mont-Cassin, de Bénévent, de Squillace, en contact avec Byzance, avaient commencé à collecter ce qui subsistait du savoir antique. L'*Herbarius* du Pseudo-Apulée sera produit au milieu du IX^e siècle.

En Asie, on retrouve des illustrations de plantes sur les parois de temples comme celui d'Angkor Thom, au Cambodge, au XII^e siècle de notre ère, montrant l'intérêt de l'Homme pour son environnement végétal (fig. 31).

Figure 31. Représentations de plantes sur les bas-reliefs de temples d'Angkor (Jayavarman 7, XII^e siècle).

PEDANIUS DIOSCORIDE

Il fut un des naturalistes grecs parmi les plus renommés, à la fois médecin, pharmacologue et botaniste. Né vers 40 après J.-C. en Cilicie, région alors historique de l'Anatolie méridionale, il meurt vers 90 après J.-C. Il produit un ouvrage : *De materia medica*, vers 60 après J.-C., au terme de nombreux voyages, principalement effectués au sein de l'Empire romain et du monde grec qui lui permettent de recueillir de précieuses informations botaniques. Ces dernières sont particulièrement orientées sur la collecte de plantes réservées à un usage thérapeutique, pour leurs propriétés sanitaires bénéfiques. Ses observations minutieuses, ses descriptions de chaque genre d'un lot de 500 plantes, en font un livre de botanique qui rassemble, durant l'Antiquité, les principales sources de connaissances sur la discipline. Mais il insiste surtout sur leur vertu et la façon de les récolter. L'ouvrage est alors considéré comme un traité médical consacré aux "plantes médicinales". Ses copies se succèdent tout au long du Moyen Âge, jusqu'au XVI^e siècle.



À partir du XI^e siècle, les herbiers se multiplieront en Europe, sous l'influence des Arabes. L'*Herbarius*, constamment recopié au Moyen Âge, sera intégralement illustré pour son édition imprimée en 1481. Au XVI^e siècle, Pierre André Matthioli (1501-1577), à la fois médecin et botaniste, réalise une Flore médicale, *De plantis epitome utilissima*, et une traduction alphabétique du *De Materia medica* de Dioscoride, à laquelle il ajoute d'importants commentaires. Le système linnéen de dénomination des végétaux ne sera en effet adopté que deux siècles plus tard. Cette recherche ne fera que se perfectionner jusqu'à nos jours, faisant alors intervenir le pollen et sa fonction dans la reproduction de la plante. Mais le grain de pollen n'a été véritablement découvert qu'au XVII^e siècle, après son observation, à la faveur d'un des premiers microscopes (fig. 32).



Figure 32.
L'ancêtre du microscope au XVII^e siècle (France).

Jusqu'à la parution du livre de Charles Darwin, (*On the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilized by insects, and on the good effects of intercrossing, London 1862*), l'écologie végétale n'était pas considérée comme une science à part entière. Des chercheurs importants lui ont succédé, comme Paul Knuth, Fritz Knoll et Hans Kugler, dans le domaine de l'écologie pollinique. Après la Seconde Guerre mondiale, les travaux ont été repris, notamment par le norvégien Knut Faegri.

Le XVIII^e siècle voit les débuts d'une classification botanique. C'est également à cette époque que Christian Konrad Sprengel (1750 – 1816), théologien allemand, mais aussi professeur et naturaliste, découvre la sexualité du monde végétal. Après 1787, Sprengel orienta sa recherche sur la pollinisation des plantes et les interactions entre celles-ci et les visites des insectes. Avec son étude *Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen* (Berlin 1793), il fut un des pionniers de l'écologie pollinique en tant que discipline scientifique. Avec un de ses prédécesseurs, Josef G. Köhltreuter, il reste un auteur de référence dans ce domaine, incompris de son vivant : ses collègues jugeant "obscène" que les plantes puissent avoir une sexualité, dénonçaient également ses travaux qui allaient dans le sens de la sélection et de l'évolution. La première définition du pollen a été présentée dans le dictionnaire de Bouillet, en 1862. Pour lui le pollen, mot latin, y est décrit comme une poussière souvent jaune, très fine, renfermée dans les loges des anthères avant la fécondation.

Quant à la Palynologie, en tant que discipline, elle a été créée et définie en 1944 par deux botanistes, Hyde et Williams. Dès 1943, il était possible de consulter les magnifiques schémas synthétisés par G. Erdtman. (fig. 33).

Des clés de détermination, liées à la description pollinique, ont été élaborées, fondées sur le même principe que celui utilisé pour la botanique. Nous en décrivons dans les pages suivantes les différents caractères.

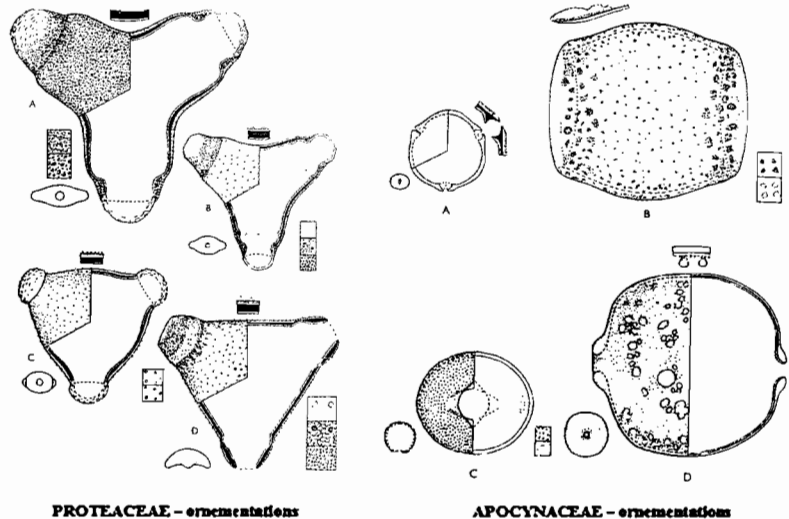


Figure 33.
Description du pollen par
Erdtman (1943)

BIODIVERSITÉ MORPHOLOGIQUE ET MICROSCOPIQUE

Le pollen représente la cellule de reproduction mâle des plantes à fleurs, angiospermes et gymnospermes. Sa taille moyenne est de 20 à 30 microns et ses tailles extrêmes, entre 7 (celle du myosotis) et 250 microns (parmi les gymnospermes, les grains de pollen à ballonnets, et parmi les angiospermes, la famille des Cucurbitacées).

L'importance du grain de pollen réside en grande partie dans la résistance de sa membrane organique, l'exine, qui lui donne la possibilité de se fossiliser et de conserver sa forme intacte durant des millions d'années. Le meilleur milieu de conservation pour lui est un milieu réducteur, c'est-à-dire pauvre en oxygène comme la tourbe (fig. 34), car, seule l'oxydation peut le détruire. On le retrouve également dans le miel et, dans ce cas, le contenu pollinique de celui-ci permet d'en définir l'origine mellifère et géographique.

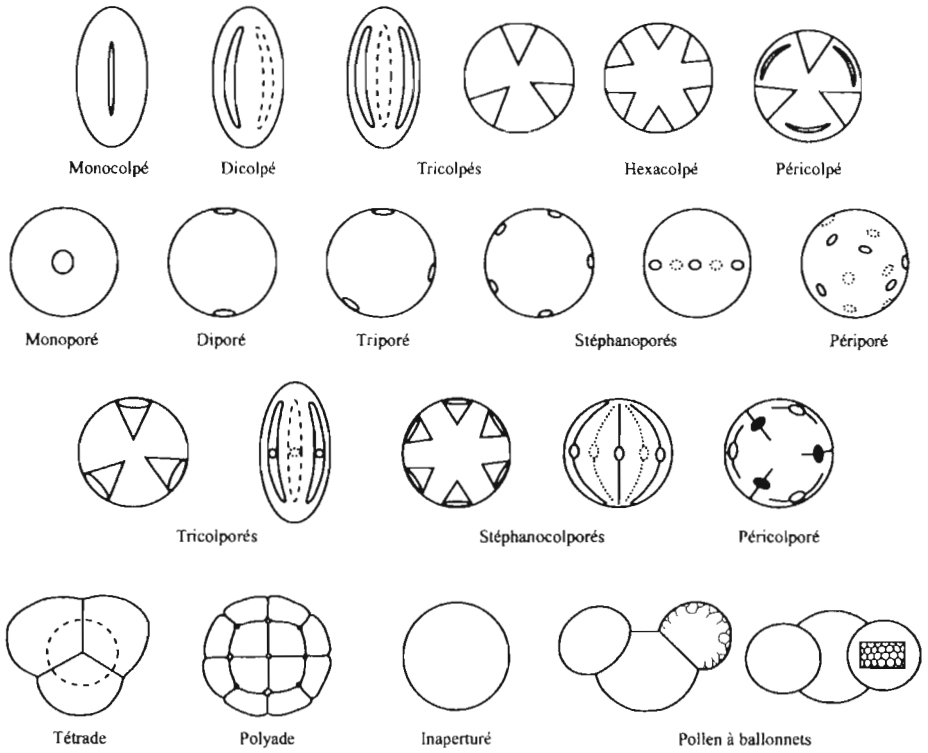


Page de droite :
 Figure 35.
 Différentes formes polliniques associées à des grains de pollen et à leurs plantes productrices.
 De gauche à droite et de haut en bas :
 Palmier à sucre (Arécacée).
 Tamier commun (Dioscoreacée).
 Liseron (Convolvulacée).
 Pisonia (Nyctaginacée).
 Basilic (Lamiacée).
 Maïs (Poacée).
 Chatons de noisetier (Bétulacée).
 Hibiscus (Malvacée).
 Lantana (Verbenacée).
 Tiaré/Gardenia de Tahiti (Rubiacée).
 Mimosa (Mimosacée).
 "Oreille d'éléphant" ou Alocasie (Aracée).
 Inflorescence de pin (Abietacée).

Figure 34.
 Tourbière irlandaise.

Sa forme, sa structure, son ornementation ainsi que ses ouvertures (ouvertures: pore/*porus* ou sillon/*colpus*), leur nombre et leur position, le caractérisent et permettent de déterminer les grains à la famille, au genre, voire à l'espèce. En effet, à une espèce végétale correspond une forme de pollen qui lui est propre, ce qui laisse imaginer le nombre de combinaisons considérables de formes différentes et la grande diversité pollinique (fig. 35).

La membrane du pollen est composée de l'intine, interne, et de l'exine, externe. L'exine est à son tour constituée de l'endexine et de l'ectexine. Lors de la fossilisation du grain, seule l'exine est conservée. Si l'endexine est une



couche simple, l'ectexine, dont l'épaisseur varie d'un grain à l'autre, peut être simple ou tectée. Lorsqu'elle est tectée, l'ectexine se divise de l'intérieur vers l'extérieur en une sole, une couche de columelles et un tectum. La surface de l'exine peut être lisse ou porter différents types d'ornementations en relief ou en creux. (fig. 36).

Structures et sculptures peuvent être identifiées au microscope optique en faisant varier la mise au point et en "traversant" le grain par un jeu de contraste de lumière. On observe alors qu'à la surface du pollen, l'exine peut s'organiser en réseaux plus ou moins lâches ou en striations (fig. 37).

Les grains de pollen sont produits par milliers dans les étamines. Ils se forment dans l'anthere à partir de cellules mères à noyaux diploïdes volumineux qui subissent deux divisions successives pour donner 4 cellules filles à noyaux haploïdes groupées en tétrades ; sauf cas exceptionnel, les tétrades vont se séparer et se dissocier chacune en quatre grains de pollen. Le pollen, allongé, sphérique ou aplati possède un axe de symétrie reliant les pôles ainsi qu'un

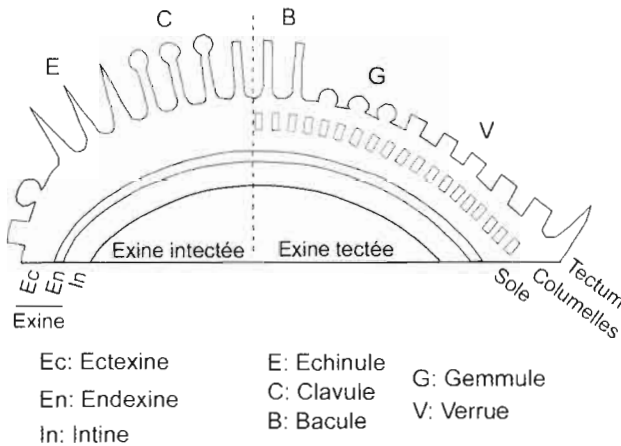


Figure 36. Coupe de la membrane d'un grain de pollen : structure et sculptures. Dessin synthétique représentant les principaux paramètres de détermination du pollen.

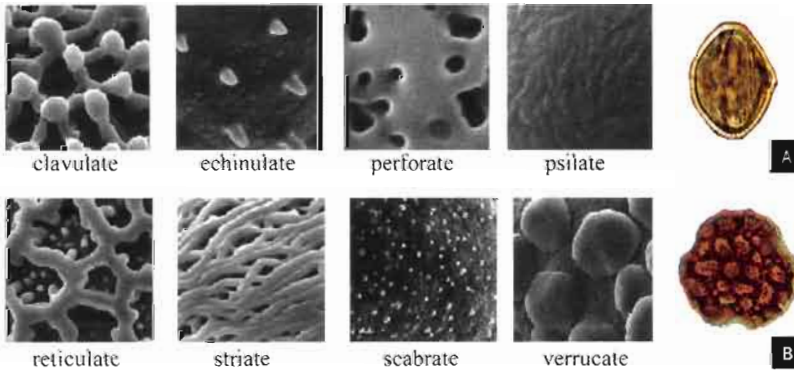


Figure 37. Différentes ornementations de l'exine du pollen, vues au microscope électronique à balayage. De gauche à droite et de haut en bas : clavulate. Echinulate. Perforate. Psilate. Reticulate. Striate. Scabrata. Verrucate. A : Gluta de Java. (*Gluta benghas*), Anacardiacee. B : Flamboyant. (*Delonix regia*), Caesalpiniciacee.

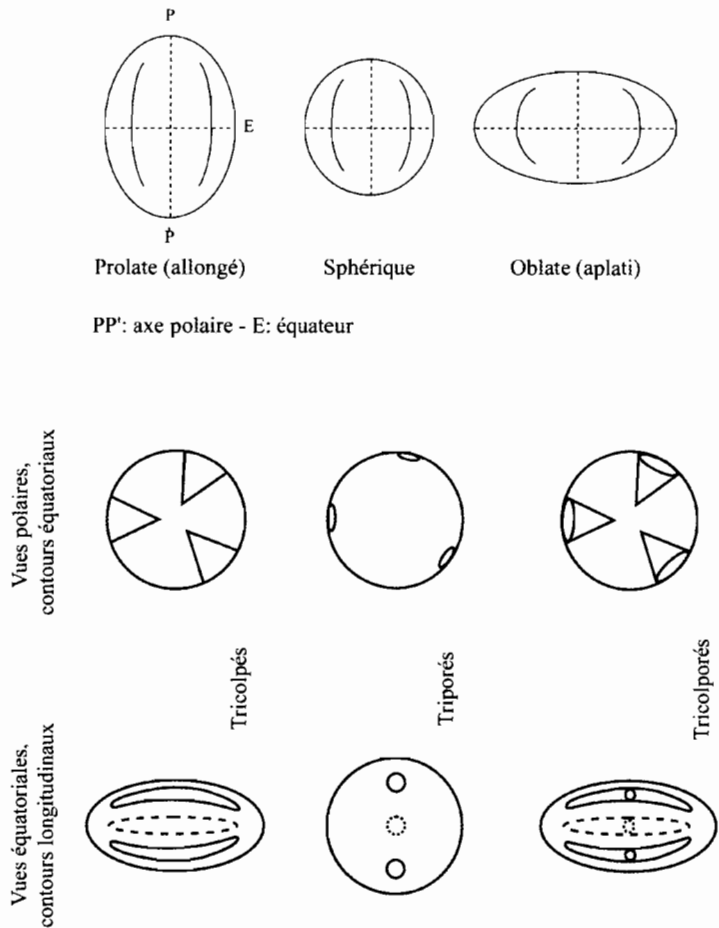


Figure 38. Symétrie et apertures. Les apertures correspondent à des zones de moindre résistance de l'exine qui permettront la sortie du tube pollinique lors de la germination.

équateur, plan perpendiculaire à l'axe de symétrie polaire. Les apertures se disposent généralement en fonction de cette symétrie. Les pores se situent sur l'équateur et les sillons, coupant l'équateur, suivent l'axe de symétrie (fig. 38). Les pores et les sillons varient par leur taille ainsi que par l'épaisseur de l'ectexine à leur niveau. Les pores et les sillons peuvent s'associer, le pore se trouvant alors dans le sillon. Le nombre de pores et de sillons est également variable. Certains grains ne possèdent aucune ouverture, d'autres restent regroupés par quatre (tétrades) ou multiple de quatre (polyades). Enfin, il existe des grains de pollen possédant deux ou trois ballonnets disposés de part et d'autres du corps du grain (gymnospermes).

La palynologie, au sens large, prend également en compte les spores de fougères. Ces cellules se présentent sous deux formes principales, les spores monolètes, munies d'une cicatrice unique, et les spores trilètes possédant une cicatrice triple, en étoile (fig. 39). Pour déterminer le pollen fossile dans les sédiments, il faut tout d'abord constituer une collection de référence à partir de fleurs d'herbier, donc actuelles. Il est bien sûr important de prendre pour

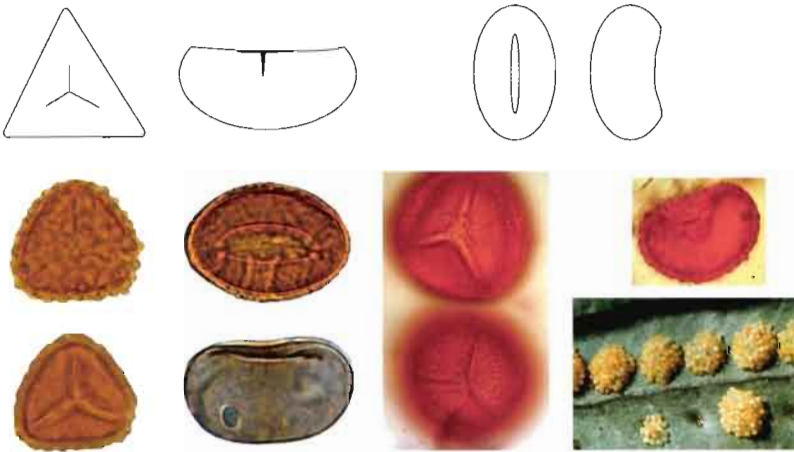
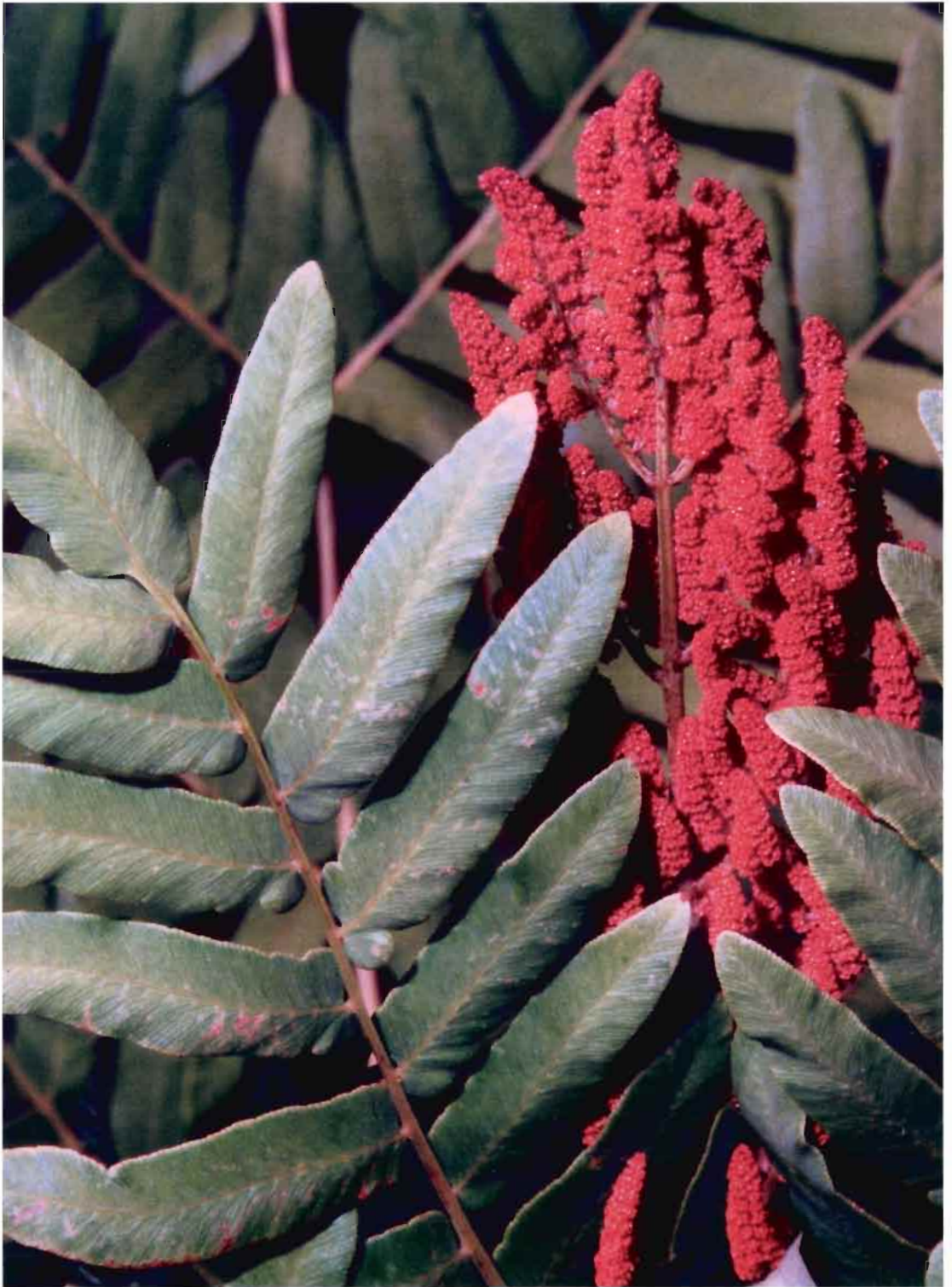


Figure 39.
Spores de fougères.

principe que la flore et ses grains de pollen n'ont pas évolué, notamment au cours des derniers millénaires. Une préparation chimique nécessaire consiste à vider le grain de pollen de son cytoplasme. Cette opération, ou acétolyse, fossilise artificiellement le grain et le rend propre à la comparaison avec le pollen retrouvé dans les sédiments. Le pollen monté entre lames et lamelles dans une gélatine glycinée est photographié. Grains de pollen et photothèque numérique sont ensuite associés à l'écologie et à l'origine de la plante.

L'étude du pollen contenu dans des sédiments nécessite une manipulation chimique plus complexe que l'acétolyse : elle vise à détruire toute la matière minérale, grâce à des acides tels que l'acide chlorhydrique éliminant les carbonates et l'acide fluorhydrique détruisant les silicates. Des bases comme la potasse sont utilisées pour nettoyer la préparation de matières organiques et acides humiques "parasites". Naturellement, les méthodes varient en fonction de la nature du sédiment. Dans le cas de sédiments très riches en fibres végétales, il s'avère nécessaire de procéder à des tamisages ; au début, la maille du tamis est supérieure à 250 μm pour éliminer les débris de plus grande taille que le pollen et à la fin de la préparation, la maille du tamis est inférieure à 10 μm pour éliminer les impuretés restantes. Par contre, dans le cas de sédiments archéologiques (souvent pauvres en pollen) on utilise la méthode de flottation en liqueur dense (par exemple, le chlorure de zinc). Sa densité étant proche de celle du pollen, il concentre en suspension la totalité du matériel pollinique.

Quelle que soit la méthode utilisée, les grains de pollen fossiles, issus du résidu de la préparation, sont montés entre lames et lamelles, déterminés et comptés. L'inventaire réalisé sur une lame constituera la base du diagramme pollinique à partir des valeurs statistiques des différents taxons rencontrés.



VÉRITABLE SIGNIFICATION BIOLOGIQUE

Le pollen, après la floraison, est dispersé par le vent, par l'eau mais aussi par les animaux et l'Homme. La richesse de la dispersion dépend donc en premier lieu de l'importance de la floraison et de la quantité de pollen contenu dans les étamines. Le *Pandanus* par exemple, possède des inflorescences de grande taille et son pollen se dépose massivement à proximité de l'arbre. À l'inverse, le bambou connaît une floraison excessivement rare.

Le mode de dispersion pollinique est donc variable (figure 40); on parle d'anémogamie pour la dispersion par le vent (40A), cas de nombreuses plantes et en particulier des gymnospermes, d'hydrogamie pour la pollinisation dans l'eau, en particulier pour le cornifle nageant (40B), et de zoogamie dont les principaux vecteurs sont, par exemple, les oiseaux, comme le colibri (40C) et les mammifères, comme les chauves-souris (40D), les animaux domestiques (40E)



Figure 40.
Pollinisation.

A: Par le vent (anémogamie).
Gymnosperme : coup de mistral dans un pin d'Alep.

B: Par l'eau (hydrogamie).
Cornifle nageant,
Ceratophyllum demersum.

C. D. E: Par les animaux
(zoogamie). Colibri de la
Martinique.

Chauve-souris sur fleur
d'Agave.
Animal domestique.

F: Par l'Homme.
Mariage de la vanille.

Figure 41.

Scènes de butinage par des insectes.

A: *Parnassius mnemosyne* et *Parnassius phæbus* sur *Centaurea nigra* (Lépidoptère)

Apollon (en vol) et semi-apollon (posé) sur une fleur de centaurée noire.



B: *Edemera nobilis* sur *Rosa pimpinellifoliae* (Coléoptère)
Cédémère noble sur une rose pimprenelle.



C: *Chrytocephalus* et *Cistus ladaniferus* (Coléoptère).

Accouplement de chrysomèles au cœur d'un ciste.

D: *Trichius zonatus* sur une fleur de *Rubus fruticosus* (Coléoptère) Trichie zonée sur une fleur de ronce frutescente.

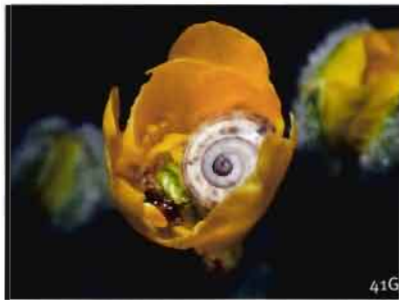


E: *Macroglossum stellatum* butinant en vol sur une fleur de *Centranthus ruber* (Lépidoptère)

Moro sphinx ou sphinx colibri butinant en vol sur une fleur de valériane rouge.

F: Coléoptères, Diptères, Hyménoptères sur une fleur de *Daucus carota*.

Plusieurs ordres d'insectes (Coléoptères, Diptères, Hyménoptères) réunis sur une fleur de carotte commune.



G: Un insecte et un escargot se partageant un logement au cœur d'une renoncule acre (*Ranunculus acris*).

H: *Bombylus major* à l'approche de *Valeriana officinalis* (Diptère)

Le grand bombyle à l'approche de la valériane officinale.

I: *Aeschna cyana* sur *Lythrum salicaria* (Odonate, orthoptère). Aeschna bleue sur salicaire commune.



et les insectes ; c'est l'entomogamie (fig. 41). Enfin, l'Homme doit aider manuellement la fécondation du vanillier (Fig. 40F).

Le grain de pollen va féconder la fleur femelle par l'intermédiaire d'un tube pollinique qui se développe et pénètre l'exine au niveau des ouvertures ; quand le pollen est inaperturé, il utilise une déchirure.

On assiste dans le cas de la dispersion par le vent à plusieurs types de fécondations :

- le pollen féconde la fleur dont il est issu, c'est le cas des plantes hermaphrodites où les organes mâles et femelles se trouvent dans la même fleur ;
- il féconde une fleur femelle pour les plantes monoïques, quand les fleurs mâle et femelle sont distinctes sur l'arbre (fig. 42) ;
- le même phénomène se produit lorsque les plantes sont dioïques ; on a alors affaire à des arbres uniquement mâles et uniquement femelles (fig. 43).

Certaines plantes à fleurs qui doivent leur fécondation aux animaux leur sont souvent totalement inféodées. On comprendra donc l'importance des agents pollinisateurs, tels que les insectes et principalement les abeilles, pour la survie de nombreuses espèces végétales.



Figure 42.
Arbre à pain – *Artocarpus altilis* (Moracée) – plante monoïque.
A : Plante.
B : Fruit.
C : Fleur mâle.



Figure 43.
Papayer – *Carica papaya* (Caricacée). Papayer femelle et papayer mâle – plante dioïque.

Les plantes entomophiles sont multiples et variées ; la visite de leurs fleurs par les agents pollinisateurs entomogames est, pour la plupart, guidée par un intérêt alimentaire, la quête du nectar, qui entraîne la récolte du pollen.

Les caractères floraux des plantes pollinisées sont généralement bien particuliers : couleurs chatoyantes et odeurs attractives favorisent le repérage et bien souvent fidélisent le client (fig. 41B).

Certaines fleurs attirent simultanément différents genres d'insectes ; ainsi les Apiacées (Ombellifères) et certaines Astéracées (Composées) accueillent, sans distinction, Coléoptères, Diptères et Hyménoptères (fig. 41F). Cependant, les Coléoptères aux pièces buccales broyeuses, qu'ils soient lourds ou légers, butinent volontiers au cœur de corolles largement épanouies et riches en étamines, telles que celles des Rosacées (fig. 41B et 41D) ; la Corolle d'une Cistacée peut aussi servir de lieu de rencontre pour leur accouplement (fig. 41C).

LES MALVACÉES

Bel exemple de l'étroite relation qui existe entre les fleurs et les abeilles ; c'est la fleur qui semble solliciter l'insecte et ainsi piéger la butineuse qui doit approvisionner la ruche en nectar et en pollen. La famille des Malvacées rassemble plusieurs plantes herbacées, rarement ligneuses, souvent vivaces ; elles sont ubiquistes, peu exigeantes, communes en France (dans les près, pâturages, broussailles, bois clairs, lisières, bords des routes, littoraux...) et très répandues en Europe.

Certaines d'entre elles concernent l'herboristerie, en entrant dans la composition de mélanges de fleurs médicinales, surtout pectorales. Le flux pollinique des malvacées est très généreux à la faveur d'un type de pollinisation, à la fois autogame et entomogame. Par ailleurs, le pollen de cette famille est un très gros grain (dont le diamètre moyen mesure en moyenne 60 μ) péripore et orné d'une multitude de petites épines qui favorisent son adhérence à la toison des milliers de soies réparties sur le corps de l'abeille, et par conséquent la constitution de belles pelotes. Les Malvacées sont donc mellifères et participent à l'élaboration des miels multifloraux appelés aussi "miels toutes fleurs".



Butinage de l'abeille sous la pluie pollinique de la guimauve officinale (*Althaea officinalis*) – Malvacée.

Par contre, certains Lépidoptères et Diptères, légers, au vol rapide, comme le moro sphinx et le grand bombyle sont particulièrement aptes à plonger au cœur d'une corolle étroite au sein d'une inflorescence complète, celle par exemple de la valériane rouge ou de la valériane officinale (fig. 41E et 41H).

D'une façon générale, toute corolle confortable est censée pouvoir être transformée en siège de ponte ou en poste de guet, en vue, hélas, d'une capture éventuelle par un prédateur (par exemple, le thomise) – (cf. chap. III).

Il ne faut pas écarter non plus la possibilité d'accueil d'un hôte atypique, mais amateur d'humidité comme l'escargot, pour une pollinisation au hasard (fig. 41G).

Enfin, divers exemples de zoogamie ont permis de constater que la morphologie florale est bien souvent en rapport avec celle de l'organe collecteur, quel que soit le pollinisateur : le bec de l'oiseau, la langue de la chauve-souris, le pelage des chats, des chiens... et parmi les insectes, la trompe du papillon qui plonge dans la corolle des Astéracées tubuliflores (fig. 41A), ou cette sorte de "pédale" placée au fond de la corolle de certaines Fabacées (genêts), Lamiacées (sauge) et Orchidées... qui fait se rabattre sur le visiteur, les étamines pleines de pollen, comme sous l'effet d'un ressort, à l'exception de la vanille qui nécessite la participation de l'Homme. (fig. 40F).

Par ailleurs, nous remarquons qu'il existe un certain synchronisme entre la physiologie de la plante et celle du pollinisateur ; le végétal et l'animal partagent sensiblement les mêmes exigences écologiques, donc le choix de biotopes identiques ou très proches ; un bel exemple, la légère libellule, pourvue d'ailes membraneuses mais transparentes, vit en groupe rassemblé autour d'une pièce d'eau fraîche où elle peut, à la fois y récolter des larves aquatiques de petits insectes et tout en se déplaçant furtivement et inlassablement de fleur en fleur, recueillir le précieux nectar des salicaires qui poussent au bord de l'eau (fig. 41I).

LE POLLEN ET LA PALYNOLOGIE : LEURS DIVERSES APPLICATIONS

Le pollen intervient dans de nombreux domaines scientifiques: la géologie, la paléoclimatologie, la préhistoire (reconstruction des paysages anciens), la médecine (l'allergologie et la phytothérapie) l'agriculture, la criminologie mais aussi l'apithérapie et la méliissopalynologie (cf. chapitre III).

LA GÉOLOGIE

L'utilisation de l'analyse en géologie est principalement liée à la détection de couches organiques dans les sondages pour y découvrir des tourbières par exemple, mais surtout du pétrole.

C'est également la chronologie pollinique qui a permis la mise en évidence de périodes climatiques glaciaires, interglaciaires mais aussi interstadiaires.

Figure 44.
Prélèvements sur une coupe stratigraphique néolithique de plein air.
Site de Caucade à Nice.



ESR (Résonance de Spin Électronique utilisée pour les stalagmites, les os, l'émail des dents...), K/Ar (Potassium/Argon pour l'étude des roches cristallines et les laves...), C¹⁴ (Carbone 14 pour ce qui est de la matière organique, fiable jusqu'à environ - 30 000 BP)

LA PRÉHISTOIRE ET LA PALÉOCLIMATOLOGIE

En Préhistoire, l'analyse pollinique a pour but de reconstituer l'environnement végétal des hommes fossiles. À partir de prélèvements sédimentaires effectués en grotte ou sur des coupes stratigraphiques de plein air (fig. 44) et après élimination de la matière minérale, les grains de pollen isolés sont déterminés et regroupés par associations végétales écologiques. Les courbes polliniques des diagrammes permettent de suivre des successions de paysages qui, en l'absence de l'intervention de l'homme, dépendent de l'évolution du climat. (annexes p. 152-153) Elles sont chronologiquement cadrées avec les datations "absolues" qui, grâce à des analyses physico-chimiques très élaborées, permettent d'attribuer aux sédiments des dates chiffrées et des datations relatives qui utilisent les différents degrés d'évolution des faunes, des industries lithiques, des ossements humains et des ensembles de végétation contemporains (pollen, bois, fruits...), mais aussi le paléomagnétisme et les niveaux marins.

Les principaux sédiments propres à l'étude paléo-climatique sont les tourbières, les marécages et les lacs dans lesquels sont réalisés des carottages qui, replacés dans la chronologie du Quaternaire, servent de repères de référence.

De très nombreuses études sont donc réalisées qui permettent de faire le lien entre climat, végétation et comportement humain (migration, adaptation, aménagement de l'environnement par l'homme et enfin, agriculture).

LA MÉDECINE, L'AÉROPALYNOLOGIE, LES POLLINOSES ET LA PHYTOTHÉRAPIE

Certaines analyses polliniques sont utilisées en médecine pour réaliser un lien entre des pathologies respiratoires et cutanées principalement et la pluie pollinique ambiante. En comparant des pics polliniques saisonniers d'espèces végétales bien déterminées avec des pics d'allergies, illustrés par des symptômes précis, il est possible d'établir une relation entre pollen et maladie et d'élaborer des médicaments désensibilisants. Le célèbre "rhume des foins", occasionné par la floraison des Poacées, est loin d'être la nuisance la plus fréquente. Il existe d'autres maladies allergiques souvent plus graves, voire mortelles, telles que l'asthme ou l'eczéma. La micro-biodiversité saisonnière joue ici un rôle primordial. En Nouvelle-Calédonie par exemple, certaines vagues d'allergies respiratoires ont pu être corrélées avec les floraisons de *Casuarina*. Cet arbre de la famille des Casuarinacées y est très répandu et contient de nombreuses espèces.

Les multiples vertus attribuées aux grains de pollen, les font considérer depuis des siècles comme les principaux éléments de la médecine empirique; ils constituent en effet l'un des aliments essentiels de l'abeille et sont appelés "pain des abeilles". Mais par ailleurs, il faut reconnaître que leur composition chimique, à la fois qualitative et quantitative (35 % de glucides, 5 % de lipides, environ 20 % de protides sous forme d'acides aminés dont certains sont

indispensables), un grand nombre de vitamines (parmi les plus importantes, B, C, D, E et A), un grand choix de substances minérales et d'oligo-éléments, présentent un intérêt de premier ordre en diététique et en médecine. Le pollen peut donc être assimilé à un complément alimentaire naturel aidant à soigner des troubles fonctionnels.

L'AGRICULTURE

L'analyse de la pluie pollinique permet aux agriculteurs de prévoir une surabondance ou au contraire, une pénurie de fruits. Ils peuvent, avec les données palynologiques, anticiper et intervenir sur leurs récoltes, réaliser des hybridations par fécondations croisées ou garder des lignées pures par auto-fécondation. Les Poacées à l'état sauvage se transforment par exemple ainsi en céréales, formes cultivées.

LA CRIMINOLOGIE

Sans vouloir rejouer les *Experts*, il est démontré que les études polliniques ont un rôle à jouer en criminologie dans une des sections d'investigations scientifiques policières. Les grains de pollen piégés dans les cheveux, les vêtements, sous les ongles et à la semelle des souliers informent sur des événements liés à des agressions et des meurtres et font partie des indices permettant à la police de résoudre une énigme.

Le rhume des foins et les allergies respiratoires sont très sévères en Nouvelle-Calédonie. Il a été associé à la pollinisation des Poacées comme c'est le cas partout dans le monde mais également à celle de *Pinus* et de *Casuarina*. Des études ont été réalisées à Nouméa, en collaboration avec le CTTMR (Comité contre le Tabagisme, la Tuberculose et les Maladies Respiratoires de Nouvelle – Calédonie) et le laboratoire de palynologie. Les Poacées ne semblent donc pas seules responsables des allergies et les Casuarinacées, notamment, montrent des concordances entre pollinisation et allergies.



LE POLLEN, LES POLLINISATEURS ET L'HOMME

"Si l'abeille venait à disparaître, l'humanité n'aurait plus que quatre années à vivre..."

Cet énoncé quelque peu surprenant, apparu il y a à peine vingt ans, et maintes fois reproduit, est attribué à Albert Einstein, disparu depuis près de soixante ans. À la suite du déferlement de publications relatives au progressif affaiblissement des abeilles et à l'effondrement de leurs colonies, il apparaît actuellement comme une rumeur médiatique. Mais en réalité, cette illustre sentence n'est peut-être que le reflet d'une pensée futuriste du grand savant, déjà préoccupé par l'interdépendance qui existe entre l'abeille, ses facultés de butinage et la mellification, le pollen, la pérennité des plantes à fleurs et la subsistance des habitants de la planète toujours plus nombreux; c'est-à-dire, les principaux maillons de la chaîne opératoire qui exige le respect de la biodiversité végétale et sa survie.

Il convient donc de l'interpréter comme un appel à la réflexion et à la vigilance pour tenter de maîtriser les nuisances.

L'ABEILLE ET LE POLLEN : LES FABULEUSES ADAPTATIONS DE L'ABEILLE AU BUTINAGE ET À LA MELLIFICATION

L'ABEILLE PARMIS LES INSECTES

Le nombre des espèces animales occupant la surface du Globe, se compte par millions ; les trois-quarts appartiennent à la classe des insectes, mais deux seulement d'entre eux ont été domestiqués par l'Homme qui tire profit de leurs produits. Ce sont le ver à soie qui n'est autre qu'une larve, la chenille du papillon Bombyx du mûrier, et l'abeille qui, parmi les autres Hyménoptères, guêpes et bourdons, bénéficie d'une utilisation intelligente de ses extraordinaires singularités anatomiques et sociales. Il s'agit du genre *Apis*, *Apis mellifica* L. (l'abeille qui fabrique du miel), dénommé ainsi par Linné en 1761 qui avait initialement proposé *Apis mellifera* en 1758 (l'abeille qui transporte du miel), terminologie qui est encore souvent utilisée par les scientifiques par souci d'antériorité.

Cet être d'instinct vit dans une société dont l'organisation repose à la fois sur la distribution et la différenciation de multiples tâches et sur la coordination de toutes les capacités individuelles réunies.

Ces dernières lui octroient en effet la faculté de butiner et de récolter le précieux nectar que l'insecte va transformer en miel. Au cours de sa récolte, l'abeille charge l'ensemble de son corps d'une multitude de grains de pollen de la fleur visitée, qui ainsi piégés dans ses poils sont introduits dans la ruche, et dans le miel.

Les grains de pollen spécifiquement récoltés au cours du butinage et transformés en pelotes, sont stockés et tassés dans les alvéoles ; ils constituent une réserve nutritionnelle surtout destinée à l'alimentation des larves.

Ce sont donc le nectar et le pollen qui figurent parmi les principales ressources de la colonie, indispensables à la survie de la ruche et fort appréciées de l'homme pour ses qualités gustatives et thérapeutiques.

Il faut ajouter que le butinage engendre aussi la pollinisation, c'est-à-dire la dispersion du pollen et la diversification des plantes, de leurs fruits et de leurs graines, la pérennité des espèces, en même temps que le rendement de certains processus agricoles en faveur de meilleures récoltes.

ANATOMIE DE L'ABEILLE

Tout au long de ses voyages quotidiens, l'abeille, pourtant d'apparence gracile, fait face à différents dangers, grâce à la solidité de son corps recouvert d'une véritable carapace, substance cornée, la chitine, légère mais résistante ; sa rigidité est compensée par de nombreuses articulations, entre la tête, le thorax et l'abdomen, entre les plaques dorsales et ventrales et aux différents niveaux des pattes et des ailes.

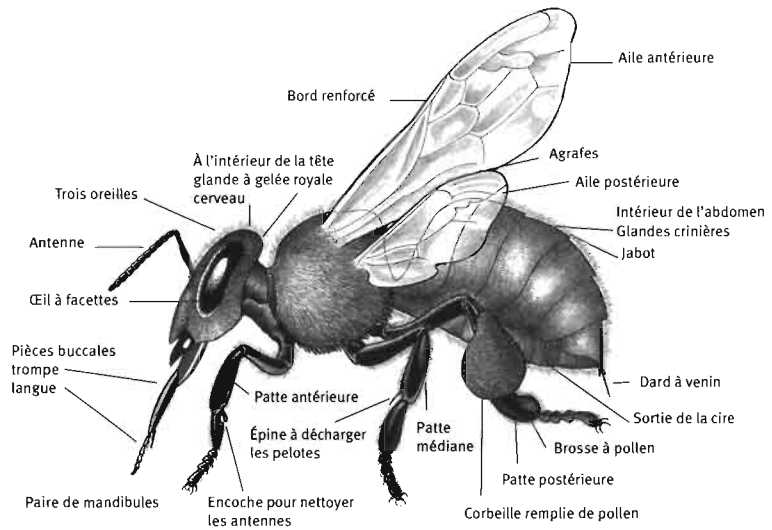


Figure 45. Anatomie de l'abeille.

Rappelons que l'ensemble du corps de l'hyménoptère (fig. 45) est parsemé de milliers de soies ramifiées qui lui donnent l'impression d'être enveloppé dans un duvillet manteau de fourrure.

C'est grâce à cette particularité, que l'insecte découvert dans un morceau d'ambre a été reconnu comme étant une abeille parmi des insectes du début du Crétacé. Son rôle primordial de pollinisatrice des angiospermes, apparues un peu plus tôt, entraîne la diversification de ces dernières depuis déjà environ 100 millions d'années.

La tête

C'est la couleur des fleurs et les odeurs qu'elles émettent qui attirent les abeilles pourvues de réels "détecteurs-émetteurs-récepteurs" logés dans sa tête. De forme triangulaire (fig. 46), elle contient en effet les principaux organes des sens, un cerveau et un système buccal des plus complexes.

- **Les deux gros yeux** à facettes sont situés sur les côtés ; chacun est composé d'un faisceau de petits tubes coniques. Ces milliers d'éléments (ou ommatidies) collectent les images en les rassemblant vers le nerf optique qui va renvoyer une mosaïque de petites images juxtaposées, pour à la fois, une large vision à presque 360°, et aussi l'occasion de séparer et de distinguer à peu près 300 images par seconde.
- **Trois ocelles**, posés en triangle au-dessus de la tête, enregistrent à la fois les variations de l'intensité lumineuse de l'aube au crépuscule, mais aussi comme un "GPS", les directions à choisir au cours des déplacements.
- **Les deux antennes**, véritables détecteurs à parfums, à saveurs et à sonorités, captent aussi le toucher et servent ainsi de guide au sein de la ruche.

L'APPARITION DE LA PREMIÈRE ABEILLE.

Les insectes seraient apparus à l'ère primaire, dès le Dévonien, il y a environ 400 Ma ; mais leur développement et leur évolution occupent tout le Carbonifère, entre 360 et 325 Ma. Il faut attendre l'ère secondaire pour y découvrir, durant le Trias, les premiers fossiles d'Hyménoptères et à partir du Crétacé inférieur, des Hyménoptères sociaux vivant en colonies comme les abeilles que l'on rencontre autour de 100 Ma, en même temps que les premières angiospermes, bien que de toutes récentes données semble apporter un âge plus ancien à l'apparition des angiospermes.

Un grand nombre d'abeilles et autres insectes figurent aussi parmi les divers fossiles piégés dans les morceaux d'ambre de la Baltique et datés d'environ 50 à 30 Ma.

Une récente découverte est venue le confirmer. Publiée dans la revue *Science* en 2006, elle révèle l'existence d'une "sœur" des abeilles actuelles, prisonnière d'un fragment d'ambre, en provenance d'une mine du Nord de Myanmar (Birmanie), et qui remonterait donc au début du Crétacé, autour de 100 Ma. Ses caractéristiques (dont certaines appartiennent aussi aux guêpes), sont surtout propres aux abeilles : poils plumeux ramifiés sur le thorax (fig. 47), les pattes et la tête ; tête en forme de cœur ; mandibules allongées et tridentées de façon aiguë. Tout ceci montre que cet hyménoptère représente une forme de transition entre les guêpes et les abeilles actuelles et qu'il est déjà équipé pour butiner et transporter le pollen.

La rencontre abeille-pollen a donc pu se réaliser dès le début du Crétacé :

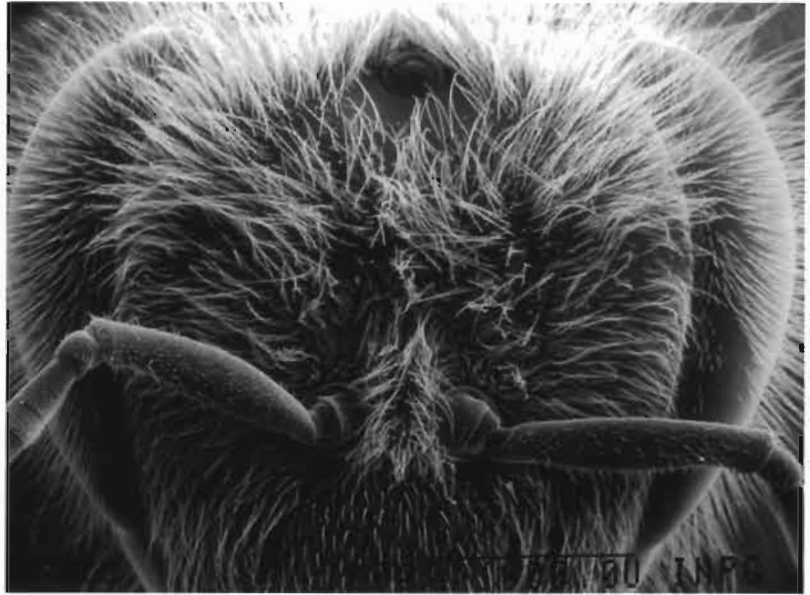
- il y a environ 100 Ma ;
- en même temps que l'apparition des plantes à fleur libérant le pollen.

L'abeille a ainsi contribué à la pollinisation des angiospermes, entraînant leur diversification.

Toutes ces informations sont rassemblées et coordonnées dans un cerveau constitué de cellules nerveuses réunies dans un cordon qui s'épaissit en ganglions répartis dans la tête, mais aussi en différents points du corps ; il est assimilable à un ordinateur miniaturisé.

• **Les organes buccaux** ont naturellement le privilège du sens du goût. Les pièces de la bouche situées à la base inférieure de la tête, sont reliées à une trompe, sorte de langue en tube, annelée, très mobile et poilue, terminée par une "cuillère" ; le tout constitue une pompe, aspirateur de nectar.

Figure 46.
La tête de l'abeille renferme de véritables "détecteurs, émetteurs, récepteurs" capables d'apprécier et de contrôler toutes les fonctions sensorielles. Le sens du goût demeure le privilège des organes buccaux réunis en un outil sophistiqué, destiné à broyer, aspirer, sucer, malaxer...



La bouche s'élargit derrière la trompe, au niveau des deux grosses glandes dites hypopharyngiennes qui sécrètent la gelée royale, suc nutritif destiné essentiellement à alimenter la reine et partiellement les larves.

À la base de la trompe, deux mandibules, au niveau desquelles débouchent les glandes salivaires, servent de pince pour transporter, nettoyer... et modeler la cire ; ce sont de puissants outils broyeurs-lécheurs qui déchirent aussi les sacs polliniques des anthères, récoltent la propolis (mastic végétal) et éventuellement défendent la ruche contre les intrus.

Le thorax

Porte les organes de locomotion, 4 ailes et 6 pattes : très solide, il est composé d'anneaux soudés les uns aux autres et rempli de muscles.

- **Les ailes** sont attachées à la limite qui sépare la partie ventrale de la partie dorsale. Elles sont actionnées par les muscles qui soulèvent les boucliers thoraciques et d'autres plus petits qui servent de gouvernails.

Avant de s'envoler, l'abeille agrafe ses 4 ailes, deux par deux grâce à des petits crochets, du bord antérieur de l'aile postérieure, sur le bord postérieur de l'aile antérieure.

Les ailes restent accrochées durant le vol, mais les crochets sont dégrafés au repos.

La voilure est constituée d'une double membrane tendue sur des nervures, et le bord antérieur de l'aile qui affronte l'air est renforcé.

L'abeille en vol, au profil aérodynamique, atteint une grande vitesse, entre 25 et 30 km/heure, en l'absence de vent, et en exécutant au moins 200 battements d'ailes à la seconde.

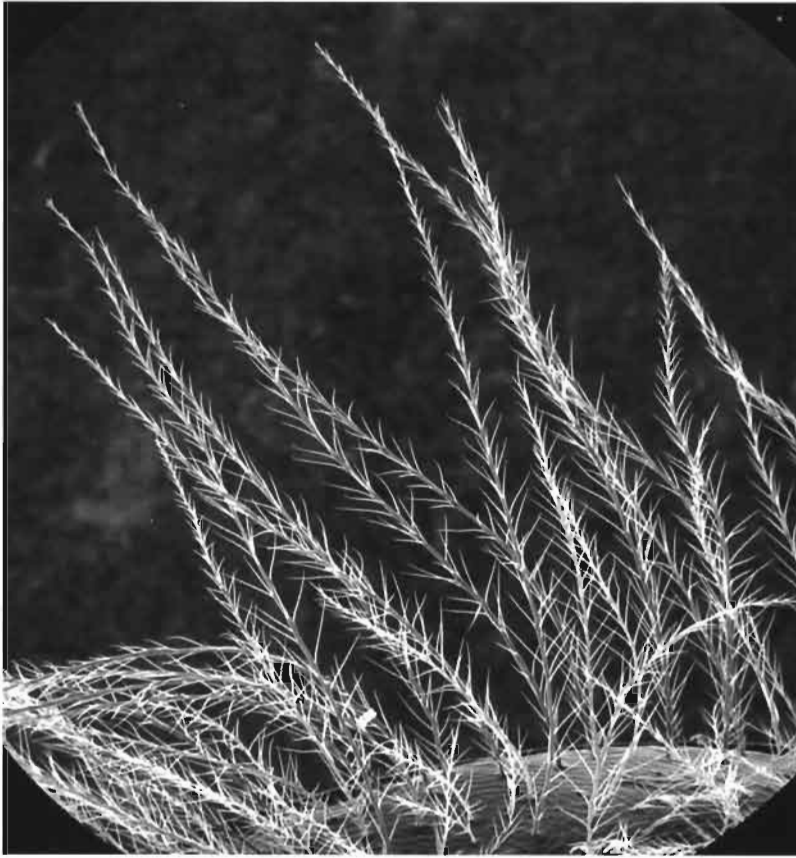


Figure 47.
Un exemple de soies implantées sur le thorax de l'abeille. Attirée par la couleur et les odeurs émises par les fleurs, l'abeille, dès le matin, commence une longue journée de butinage afin de récolter le nectar et le pollen qui seront déposés et utilisés dans la ruche ; lors de ses multiples contacts avec les étamines, les grains de pollen libérés des anthères sont piégés dans les milliers de soies ramifiées qui tapissent son corps.



Figure 48.
Les pattes postérieures sont garnies d'appareils hautement spécialisés, destinés à la récolte du pollen. Les grains de pollen groupés en pelotes sont pris en charge et stockés dans les alvéoles par les pattes médianes.

- **Les pattes** sont aussi attachées au thorax, très mobiles et composées de 8 segments : la hanche, la cuisse, la jambe et le tarse divisé en 5 articles : le premier est allongé, les 4 autres sont plus petits ; par ailleurs, le dernier article de chacune des six pattes est muni de griffes pour circuler sur des surfaces tendres, et de ventouses pour grimper aux surfaces rugueuses ou lisses.

- Les pattes antérieures servent à la toilette ; après chaque sortie, l'abeille se peigne, nettoie ses antennes dans une encoche d'un segment du tarse, et ses yeux.

- Les pattes médianes brossent les flancs et le ventre ; le milieu du dos inaccessible individuellement est nettoyé par les compagnes qui utilisent leurs mandibules. À la base de la jambe, une épine sert à décharger la pelote de pollen.

- Les pattes postérieures sont les plus hautement spécialisées pour la récolte du pollen (transporté sous forme de pelotes) (fig. 48).

Le procédé de la récolte est exceptionnellement précis. L'abeille posée sur une fleur, gratte le pollen avec ses mandibules et ses pattes antérieures ; elle l'humecte de miel emmagasiné au départ de sa visite. Pendant le vol, ce sont les pattes postérieures qui sont les plus actives : le pollen est balayé par la brosse du premier article du tarse ; il est ensuite ramassé par le peigne situé entre la jambe et le tarse, puis poussé dans la corbeille, petite dépression bordée de poils rigides et située à la base de la jambe. Au fond de la corbeille, un poil unique isolé constitue une sorte de mât autour duquel s'entassent les grains, poussés par les pattes, la droite travaillant sur la gauche et inversement. Quand la corbeille est pleine, l'abeille retourne à la ruche et dépose ses pelotes dans les alvéoles, avec ses pattes médianes.

C'est donc une masse de grains de pollen, pesant 40 à 50 milligrammes, que notre infatigable butineuse a fabriquée et transportée, en une seule visite, c'est-à-dire à peu près la moitié de son propre poids !

L'abdomen

Il est composé de segments emboîtés, reliés par des membranes souples qui lui procurent une grande flexibilité ; il est par ailleurs protégé par deux plaquettes indépendantes, l'une dorsale et l'autre ventrale reliées aussi par des membranes, d'où une grande extensibilité pour la respiration en hauteur et pour l'alimentation, la circulation ouverte, et le développement des organes de reproduction sur la face ventrale.

- **L'abdomen constitue un vaste laboratoire.** L'intestin est précédé d'un jabot, véritable garde-manger pour transporter tous les liquides collectés, nectars, miellats, eau et qui conservera la réserve de miel utilisée au cours du butinage. Les quatre dernières plaquettes ventrales abritent les glandes cirières. La cire une fois fabriquée est portée aux mandibules par les pattes postérieures, puis médianes ; triturée par les mandibules, elle sera transformée en boulettes qui serviront à la confection des rayons. L'extrémité de l'abdomen contient l'appareil de "défense et attaque", dit appareil vulnérant, qui rassemble le dard et les glandes à venin.

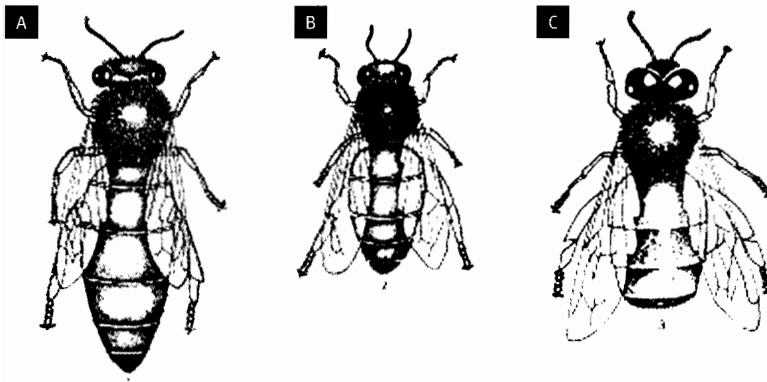


Figure 49.
Les habitants de la ruche.
A: Reine (16 à 20 mm).
B: Ouvrière (12 mm).
C: Mâle (15 à 16 mm).

• Ce sont les **organes reproducteurs** qui déterminent les deux sexes, mâles et femelles organisés en castes. La ruche contient plusieurs centaines de mâles, une reine et 40 000 à 60 000 ouvrières. (fig. 49)

Seuls les mâles, ou faux bourdons, sont issus d'œufs non fécondés. Ils ne possèdent aucun instrument de travail, ne sont même pas capables de se nourrir sans l'aide des ouvrières et sont dépourvus de dard. Leur rôle unique sera de féconder la reine durant le "vol nuptial", en abandonnant ainsi environ un million de spermatozoïdes, vivants et mobiles durant les 4 ou 5 années d'existence de la reine.

Les femelles sont divisées en deux castes : la reine et les ouvrières.

– La reine est la plus grande habitante de la ruche ; elle est issue d'un œuf fécondé et est alimentée, lors de sa vie larvaire et durant toute son existence par la gelée royale ; elle ne se nourrit pas elle-même mais fait appel à des nourrices parmi les ouvrières. Sa caractéristique majeure est de contenir un abdomen bourré d'ovaires qui libèrent des œufs à raison de 1 toutes les 40 secondes, soit un nombre compris entre 1 500 à 2 000 par jour !

Les œufs seront fécondés par les spermatozoïdes reçus durant le vol nuptial et accumulés dans une spermathèque à ouverture variable et en communication avec un oviducte qui conduit les œufs : lorsque la spermathèque est ouverte, l'œuf qui passe est fécondé et il éclôt une femelle ; quand elle est fermée, l'œuf qui passe n'est pas fécondé, il éclôt alors un mâle.

Cet étrange procédé de fécondation ne semble pas le fait du hasard car les "œufs mâles" atterrissent dans des cellules plus grandes que les "œufs femelles" en rapport, donc, avec la taille des faux-bourdons et des ouvrières.

– Les ouvrières sont de petite taille. Elles possèdent des organes sexuels rudimentaires non développés et sont ordinairement stériles ; si elles pondent, il éclôt des mâles car ils ne sont pas fécondés.

Les ouvrières munies des divers attributs que nous avons déjà décrits, répartis dans les différentes parties du corps, sont destinées à effectuer les nombreux travaux d'intérieur nécessaires au bon entretien de la ruche ; néanmoins elles demeurent les spécialistes des expéditions de butinage et les pourvoyeuses de toute la colonie.

LA RUCHE AU FIL DES SAISONS

La colonie hiverne dans la ruche mais ne s'endort pas pour autant. Les ouvrières travaillent toujours mais n'assurent qu'un service minimum ! Elles font le ménage, surveillent les intrusions devant l'entrée, sauf quand il fait trop froid. Mais leur principale préoccupation est certainement **le maintien de la régulation thermique** de la ruche. En effet, la température des abeilles varie en fonction de celle de son milieu environnant ; en s'agglutinant en un tas en forme de grappe, elles constituent l'équivalent d'un climatiseur qui arrive à maintenir une température stable dans la ruche. Au centre de la grappe, la température oscille entre 30 et 33°. La chaleur résulte d'une alimentation riche en sucres qui proviennent des réserves engrangées par l'abeille dans la ruche et parfois, en partie, d'un apport extérieur.

Mais dès les premiers effets du printemps, la ruche s'éveille. Le butinage commence rapidement et nos courageuses ouvrières vont visiter jusqu'à cinq millions de fleurs par jour et rapporter dans leur habitat leur précieuse récolte. Tout bénéfique également pour les fleurs qui produiront de nombreux et beaux fruits, à la mesure de la qualité et de la quantité des pollinisations (fig. 50).

L'été, le refroidissement est obtenu par évaporation d'eau et par ventilation collective. Ainsi survit toute la tribu.

Ajoutons que, si malgré les maladies et autres dangers qui la guettent, l'abeille a survécu depuis plusieurs dizaines de millions d'années, à l'abri de la domestication, c'est qu'elle a pu se défendre de ses prédateurs grâce à l'aiguillon barbelé situé, nous l'avons vu, à l'extrémité de son abdomen, capable en piquant l'ennemi de lui injecter une bonne dose de venin mortel.

Figure 50.
Dès les premiers effets du printemps, la ruche s'éveille.



Il semble néanmoins aujourd'hui important de se préoccuper de la survie des abeilles, qui d'après de sombres statistiques, semblent hélas menacées par de nouvelles technologies anthropiques qui apparemment les affaiblissent et entraînent leur progressive disparition.

L'ABEILLE EN DANGER : LES MALADIES, LES PRÉDATEURS ET AUTRES NUISANCES

LES MALADIES DES ABEILLES, OU MALADIES APIAIRES

Elles relèvent de quatre catégories d'agents pathogènes : les parasites animaux et végétaux, les protozoaires (êtres vivants unicellulaires), les bactéries et les virus. Ces agents peuvent s'attaquer indifféremment aux abeilles adultes, au couvain (œufs et larves) ou aux deux à la fois.

Les maladies des abeilles adultes sont parasitaires, bactériennes ou virales.

Parmi les maladies parasitaires, citons :

- l'acariose, provoquée par un acarien (*Acarapis woodi*) qui envahit la première paire de trachées thoraciques et entraîne à la fois, l'asphyxie et l'épuisement ;
- La nosérose, maladie intestinale causée par un protozoaire (*Nosema apis*) qui libère des microsporidies dans l'intestin ; les spores très petites se multiplient très rapidement, surtout en fin d'hivernage et les troubles occasionnés entraînent aussi la mort ;
- l'amibiase, maladie de carence, due au développement de l'amibe (*Malpighamoeba mellifica*) hébergée dans l'abeille, est souvent associée à la nosérose.

Les agents bactériens et les possibilités d'attaques virales sont multiples, surtout depuis l'arrivée de *Varroa* qui crée des failles dans la carapace de chitine.

Citons enfin un exemple de maladie virale redoutée, qui se développe à partir du virus CPV de la paralysie chronique.

Le couvain est très fragilisé

Il peut être attaqué par une bactérie dévastatrice (*Bacillus larvae*) ; sa particularité est de fabriquer des spores qui germent, infectent l'intestin de la larve. Les cadavres sont transformés en une sorte de bouillie nauséabonde. C'est un américain qui a isolé le bacille responsable, d'où le nom de la maladie, appelée loque américaine.

Il existe aussi une loque européenne, mais moins contagieuse, qui serait due à une autre bactérie (*Bacillus alvei*), entraînant un ensemble de manifestations pathologiques voisines.

Le couvain peut également développer une mycose (Ascosphérose) à partir de la prolifération d'un champignon, *Ascospaera apis*, dont le mycélium asphyxie et "plâtre" les larves. Ajoutons qu'il sévit aussi la maladie du couvain sacciforme due au virus S.B.V. (*sacbrood bee virus*) ; ce dernier bloque la 5^e mue larvaire et empêche ainsi l'évolution de la puppe qui se vide. Par ailleurs, le virus attaque les glandes hypopharyngiennes destinées à alimenter le couvain (et la reine).

Parasitose

La principale maladie qui atteint à la fois les abeilles adultes et le couvain est la redoutable Varroase, provoquée par l'attaque en chaîne d'un acarien femelle, le *Varroa destructor* (*Varroa jacobsoni*) qui se nourrit de l'hémolymphe (le sang des abeilles). Le lieu de développement privilégié est le couvain. La femelle *Varroa* s'introduisant dans l'alvéole avant l'operculation se met immédiatement à pondre. Dès la première naissance débutera la première contamination en chaîne de toutes les autres larves et ensuite des adultes qui transmettent la maladie à d'autres colonies...

Enfin, deux autres maladies sont aussi à craindre :

- l'aspergillose déclenchée par le champignon *Aspergillus flavus* dont le mycélium "pétrifie" larves et adultes ;
- et la paralysie aiguë, due au virus APV.



LE VARROA

Le varroa est l'enfant unique de la petite famille famélique des *Varroidae* ; c'est un acarien particulièrement diabolique qui parasite à la fois l'abeille et son couvain. Son extraordinaire diffusion à travers le monde est essentiellement liée aux échanges commerciaux et internationaux. Découvert en Indonésie au début du XX^e siècle, il diffuse dans toute l'Asie et en ex-Union Soviétique. C'est l'exportation d'essaïms, du Japon vers le Paraguay, qui lui aurait fait gagner l'Amérique et c'est son introduction en Bulgarie qui lui a permis d'infecter toute l'Europe, d'Est en Ouest. D'où son installation en France, puis son extension en territoire méditerranéen vers l'Afrique. Les nuisances du varroa sont redoutables puisqu'il s'introduit à la fois au sein du couvain ainsi infesté et à travers la chitine de l'abeille adulte pour se nourrir de son hémolymphe. Drôle de famille ! C'est une femelle dite fondatrice qui va déclencher le processus de contamination dans la ruche en s'introduisant dans une alvéole avant l'operculation, et s'y laisser enfermer pour pondre 2 à 8 œufs toutes les 30 heures. Le premier œuf pondu deviendra un mâle qui va féconder ses sœurs dès leur naissance... les femelles fécondées par leur frère vont émerger de l'alvéole, en même temps que l'abeille adulte qui a ouvert le *cachot*, pour immédiatement parasiter le reste de la ruche et le cycle continue ! Cette invasion du varroa dans les ruches peut donc devenir, si elle n'est pas éradiquée, une des causes parmi les plus importantes qui participent au syndrome d'effondrement des colonies mellifères.



Figure 51.
Parmi les prédateurs les plus offensifs de l'abeille, le thomise, une araignée crabe (au vu de la forme de son abdomen et de sa marche oblique), a la faculté de prendre la couleur de son substrat ; c'est cet art du camouflage qui lui permet de se cacher au centre d'une fleur et d'attendre patiemment sans bouger l'arrivée de l'abeille qui vient boire son nectar, pour se précipiter sur elle, la capturer et la dévorer. Sur cette photo, le thomise capture une abeille au cœur d'un ciste.

LES AUTRES NUISIBLES

Parmi les autres nuisibles, signalons deux papillons voisins, les fausses-teignes, *Galleria-mellonella*, la grande fausse-teigne et *Achroea grisella* la petite: la chenille représentant le stade larvaire a un appétit féroce et dévore cire, pollen, cocon, en dévastant les rayons, puis en filant elle-même des cocons enrobés de sortes de très épaisses toiles d'araignées. La fausse-teigne ne se développe que dans les petites ruches mal protégées.

LES PRÉDATEURS DE L'ABEILLE

Les prédateurs de l'abeille sont aussi dangereux pour les colonies dont les ruches sont moins habitées et se dépeuplent peu à peu.

Parmi les plus offensifs, nous citerons :

- L'araignée crabe, c'est-à-dire le thomise (*Thomisus onustus*), spécialiste du camouflage. (fig. 51)
- La guêpe solitaire, ou philante apivore (*Philanthus triangulum*) appelée encore "le loup des abeilles" qui chasse les abeilles domestiques; elle pique l'ouvrière pour la paralyser afin de la ramener dans son nid en la transportant entre ses pattes.
- Le diabolique frelon asiatique (*Vespa velutina*). Cette espèce particulièrement virulente récemment arrivée à Bordeaux dans un colis en provenance de Chine, a la particularité de s'adapter facilement à un nouveau biotope et de se multiplier rapidement. D'abord répandu en France dans le sud-ouest, il vient d'apparaître dangereusement en île de France !

Parmi les gourmands :

– Le pivert ou pic-vert, charmant et bel oiseau, au plumage jaune et vert sur le corps et rouge sur la tête, est équipé d'un bec en forme de pic pour frapper, prélever et se nourrir d'insectes et de larves dans l'écorce des arbres ; mais aux abords de l'hiver, il se permet de rechercher sa nourriture au cœur de ruches dont il troue les parois.

– L'ours, sympathique, mais amateur de miel et de couvain, sort de sa tanière au début du printemps, affamé, pour souvent attaquer les ruchers et détruire les abris des colonies. (fig. 52)



LE FRELON ASIATIQUE

Le *Vespa velutina* est arrivé de Chine par le Sud-Ouest et sa présence en France a été révélée en 2006 par Jean Haxaire et ses collaborateurs. Il est très facile à reconnaître car très différent du frelon européen *Vespa crabo*. Il est plus petit, sa tête est noire, jaune orangé sur la face. Le thorax est velouté, brun noir ; les segments de l'abdomen bruns sont bordés d'une petite bande jaune orangé mais le quatrième se distingue par sa couleur uniforme jaune orange. Enfin, l'extrémité de ses pattes est jaune. Sa faculté d'adaptation est remarquable. Il s'est bien habitué à notre climat tempéré. Il se reproduit, construit des nids et supporte l'hiver. Le vol des reines est particulièrement bruyant et impressionnant. On lui attribue une certaine timidité, pourtant son audace à s'attaquer aux colonies mellifères est redoutable. Il guette les ouvrières chargées de leur provision de pollen, en vol stationnaire, à l'entrée de la ruche ; il les saisit entre ses pattes et leur tranche la tête d'un coup, à l'aide de ses puissantes mandibules. Puis, il fait une boulette du corps, d'où sont exclues les pattes et les ailes, et transporte le butin dans son nid pour nourrir les larves. Sa rapidité à intervenir pour assassiner deux abeilles en trois secondes, fait que quelques frelons suffiraient pour dilapider une ruche affaiblie. Ce nouveau fléau devient évidemment un des facteurs qui pourrait ruiner l'apiculture déjà déstabilisée par la surmortalité due aux pesticides.

Il convient de signaler aussi **les facteurs climatiques** qui peuvent provoquer des carences en pollen et surtout **les facteurs anthropiques** tels que le manque d'hygiène et de suivi prophylactique qui favorisent l'implantation et le développement des affections. Nous insisterons enfin sur l'utilisation abusive de certaines technologies novatrices et de compositions chimiques, terriblement nocives pour le maintien de la biodiversité animale et végétale.

Ces dernières nuisances méritent un bulletin d'alerte.



...issant lune pour laultre / **E**t pourtant de lire /
...ayne / et de la indignation dit le faige / Celluy qui est

LES INSECTES ET LA POLLINISATION

LE CONSTAT AU QUOTIDIEN

Les amoureux de la nature ont depuis longtemps déjà constaté la raréfaction de leurs insectes les plus familiers.

- Les coléoptères, hannetons, cétoines dorées, lucanes..., massifs et lourdauds, ont déserté les terrasses sur lesquelles ils venaient s'échouer sur le dos, en attendant qu'une main généreuse les redresse sur leurs six pattes.
- Les sarabandes de moustiques et autres insectes volants et parfois piqueurs, ont libéré les quelques points lumineux des jardins obscurs.
- Les visites des jardinières ensoleillées, par le tourbillon des couples de papillons colorés, se sont espacées au fil des saisons.
- L'éclairage froid et verdâtre qui balisait les sentiers des promenades crépusculaires estivales, s'est pratiquement éteint avec la raréfaction de la grande famille des lampyres qui diffusait ses signaux lumineux pour attirer les partenaires.

L'ABEILLE EN DANGER

Un phénomène nouveau s'avère, hélas, vérifié : la progressive disparition des colonies mellifères ; Les premières disparitions des abeilles sont mentionnées dès la fin du XIX^e siècle mais de façon très anecdotique. Par contre, à l'issue de la Seconde Guerre mondiale, l'emploi souvent mal contrôlé des grands insecticides en agriculture, tels que le DDT et le Lindane par exemple, qui sont des polluants organochlorés à large spectre d'activité, commence à créer de graves accidents relatés dans la presse. Enfin, au cours des années quatre-vingt-dix, les semences enrobées et le célèbre Gaucho, insecticide systématique, arrivent sur le marché. À ce moment, les premières hécatombes provoquent la ruine de certains ruchers ; coïncidences ou conséquences... les médias se déchaînent, les procès suivent. Depuis 2000 et tout au long de ces dernières années, les colonies s'effondrent un peu partout dans le monde, en particulier aux États-Unis avec le "CCD" – Colony Collapse Disorder ou syndrome d'effondrement. La survie des colonies mellifères paraît aujourd'hui dangereusement menacée. Or ce sont les insectes pollinisateurs, au moins à 90 % les abeilles domestiques, productrices de miel, qui depuis la fin du Crétacé, il y a environ cent millions d'années, contribuent à la pollinisation des angiospermes entraînant leur diversification.

Il y a donc urgence à enrayer ce nouveau phénomène et à tout mettre en œuvre pour le faire disparaître.

Page de gauche :

Figure 52.

Un rucher attaqué par des ours. (Miniature extraite du Livre nommé *Fleur de vertu*, traduit d'italien en françois, par François de Rohan, XVI^e siècle).

Autant d'exemples de déclin d'insectes, le plus souvent pollinisateurs qui assurent la survie ou l'évolution d'au moins 80 % des espèces végétales dans le monde, et la production de près de 84 % d'espèces cultivées en Europe.

Or, si leur santé est en péril, leur territoire de butinage se réduit aussi, par l'incidence des modifications des environnements et des systèmes agricoles. Ainsi, dans nos campagnes et en plaine, les grasses prairies productrices de plantes fourragères, blé noir, sainfoin, moutarde, trèfle... riches en nectar et satisfaisant aux besoins de l'élevage, sont actuellement remplacées par d'autres semences, des graminées par exemple, qui sont fauchées avant la floraison pour faire du foin ; les nouvelles cultures, tournesol et colza, néanmoins développées, fournissent du nectar mais leur miel est moins goûteux.

LES PRINCIPAUX POLLINISATEURS SONT ESSENTIELLEMENT LES ABEILLES

C'est aujourd'hui la mortalité massive des colonies, reconnue depuis déjà plusieurs années par tous les apiculteurs professionnels et amateurs et par les scientifiques naturalistes, qui a principalement convaincu les médias et fait déclencher un plan de mesures pour surveiller et freiner rapidement l'emploi excessif des antibiotiques, des insecticides et autres pesticides, ainsi que l'installation, sans concertation, d'antennes-relais émettrices de champs électromagnétiques. En effet, cette nouvelle nuisance a été récemment mise en évidence par des chercheurs de l'Université de Koblenz-Landau, en se livrant à une expérience. Ils ont lâché 25 ouvrières butineuses qui sont toutes revenues à la ruche après 45 minutes de visites dans la campagne. En renouvelant la manœuvre et en exposant les abords de la ruche aux rayonnements émis par des antennes-relais de téléphones portables, seules six abeilles ont retrouvé leur chemin. Les autres apparemment "déboussolées" se sont perdues et les disparitions ont provoqué une baisse de production de miel entraînant une perte de 21 % du poids des rayonnages de la ruche. (Communication, Matthieu Fannièrre – *Découverte* n° 354, janvier-février 2008.)

Cette constatation, qui n'est pas isolée, est naturellement à prendre en compte par les gestionnaires des plans d'urbanisme, déjà alertés par les plaintes de nombreux citoyens.

LES BILANS QUI FONT PEUR

Il faut ajouter à cette sinistre présentation, le danger évident qu'il y a de pulvériser les produits par avion et l'idée de modifier génétiquement certaines plantes en leur faisant fabriquer leur propre pesticide ; idée très discutable, puisqu'il s'y oppose la découverte du "phénomène de résistance", développé par certaines plantes génétiquement modifiées...

LES MESURES D'URGENCES QUI S'IMPOSENT

Il est bien évident que les molécules contenues dans les pesticides dispersés sans ménagement, contaminent les eaux, les sols, et par conséquent, la faune et la flore. Les perturbations qui s'ensuivent, qu'elles soient avérées ou suspectées, doivent impérativement être maîtrisées. Les atteintes de la biodiversité animale et végétale, qui sont liées et déjà parfaitement identifiées dans le processus de déstabilisation de l'apiculture, ont fini par alerter les scientifiques, les organismes de santé et les médias. Aussi les politiques interviennent-ils en promettant de mettre en œuvre des plans d'urgence pour minimiser les dégâts déjà enregistrés.

– La loi dite Grenelle I décide en 2009 de faire diminuer de moitié l'usage des pesticides d'ici 10 ans et dans l'immédiat, de faire retirer du marché une quarantaine de molécules hautement toxiques pour 2010.

– Le Sénat a adopté un amendement prévoyant la mise en place de mesures afin de préserver les abeilles.

Il a été conseillé à l'apiculture de se structurer en institut scientifique pour gérer un réseau de surveillance des dangers qui menacent les abeilles et en particulier les rapports qui existent entre les maladies et certains produits phytosanitaires, surtout neurotoxiques, distribués dans la nature.

D'où une regrettable controverse qui divise encore scientifiques, écologistes, fabricants et diffuseurs de produits toxiques et même, apiculteurs et agriculteurs qui ont pourtant des intérêts communs.

LES DANGERS DE LA CHIMIE

Sous l'intitulé "faits et chiffres", ce bilan a été publié dans *Science et vie*, en avril 2009.

En France, en 2007, 77 255 tonnes de produits phytosanitaires auraient été commercialisées pour un chiffre d'affaires de plus de 1,8 milliard d'euros. Ce chiffre placerait la France au 1^{er} rang de la consommation européenne de ce genre de marchandise qui concerne : 48 % de fongicides, 35 % d'herbicides près de 3 % d'insecticides et acaricides, le reste étant réparti entre les anti-limaces, les régulateurs de croissance des plantes et les engrais de synthèse.

L'ensemble regroupe plus de 300 substances dont, parmi les principales, 44 % sont utilisées pour traiter les céréales, 18 % pour la vigne, 10 % pour le maïs et 10 % pour le colza qui est presque essentiellement butiné par les abeilles.

BIODIVERSITÉ : MENACES SUR PLUS D'UN TIERS DES ESPÈCES

L'année internationale de la biodiversité 2010, s'annonce mal. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a publié, le 3 novembre, une Liste rouge selon laquelle, 17 291 espèces animales et végétales, sur les 47 677 espèces répertoriées par l'organisation, sont menacées d'extinction : 21 % des mammifères connus sur terre, tous couverts par l'étude, courent ce risque, tout comme 30 % des amphibiens et 12 % des oiseaux connus.

Parmi les catégories dont le recensement de l'UICN ne couvre pas totalement la population mondiale : 28 % des reptiles, 37 % des poissons d'eau douce, 70 % des plantes et 35 % des invertébrés recensés sont menacés.

Les causes de ce risque d'extinction concernent principalement, la destruction de l'habitat (forêts, massifs coralliens...) de ces espèces. À prendre en compte ensuite, l'action anthropique avec : les plans d'assèchement de zones ou de terres cultivables et la surexploitation des ressources, dont par exemple, une pêche excessive, la pollution et l'influence d'espèces invasives.

Certaines espèces sont aussi touchées par des maladies difficiles à éradiquer. "À cela s'ajoute le changement climatique, que l'on ressent déjà, et dont l'impact sera massif", note M. Vié (Directeur adjoint du programme espèces de l'UICN).

Enfin, il est souligné que la France, dont les collectivités d'Outre-mer abritent une faune et une flore très riche, se situe au huitième rang des pays hébergeant le plus grand nombre d'espèces en danger au niveau du Globe.

Avec 778 espèces mondialement menacées, présentes sur son territoire, la France se place parmi les dix pays les plus concernés par ce phénomène, aux côtés de l'Équateur, des États-Unis, de la Malaisie, de l'Indonésie, du Mexique, de la Chine, de l'Australie, du Brésil et de l'Inde.

(*Le Monde*, vendredi 6 novembre 2009)

D'après Bertrand d'Armagnac

D'autres solutions, plus "écologiques", ont fait l'objet de propositions aux agriculteurs, afin de limiter, voire résorber, la dépendance aux produits toxiques ; par exemple : la diversification rapide des cultures et la mise en repos temporaire des terres afin que les insectes parasites n'aient pas le temps de s'installer et de proliférer ; l'élevage programmé d'insectes spécifiquement prédateurs ou parasites des ennemis des cultures, qui arrivent à éradiquer le ravageur aussi vite qu'un produit chimique, en préservant le reste

de l'environnement ; la réorientation de la sélection de variétés cultivées, plus résistantes aux parasites ; la tentative de soigner les plantes par des produits phytosanitaires extraits d'autres plantes qui fabriquent des molécules sélectives, uniquement toxiques pour les ennemis des cultures, ou qui stimulent les défenses naturelles des végétaux ; l'engagement d'une lutte contre les mauvaises herbes qui envahissent les grandes cultures, en les sectionnant mécaniquement ou en les recouvrant. (Extrait de *Science et Vie*, avril 2009)

Autant d'idées que d'expériences à tenter, à suivre...

Il semble donc maintenant reconnu, impérieux et urgent de faire savoir et comprendre que la reproduction sexuée des plantes à fleurs et leur pollinisation, indissociables de la production de nombreuses variétés de plantes, de fruits et de légumes et de la fabrication du miel, dépendent à la fois, des pollinisateurs et des grains de pollen. Les pollinisateurs sont au moins à 90 % les abeilles domestiques ; hormis le rôle essentiel qu'elles jouent en apiculture, elles participent au maintien de la diversité végétale en favorisant le brassage génétique indispensable à l'équilibre des biotopes. Les grains de pollen, microscopiques, sont néanmoins les facteurs incontournables et fascinants du phénomène biologique de la reproduction et les témoins de sa réussite. L'association équilibrée Abeille-Pollen qui s'est maintenue déjà durant plusieurs millions d'années, doit donc impérativement être sauvegardée.

L'ABEILLE ET L'HOMME

L'APICULTURE ET L'APICULTEUR

La collecte du miel avant l'apiculture

Les besoins en sucres et l'attrait pour le miel ont, depuis les temps reculés de la Préhistoire, motivé les hommes à rechercher, au mépris du danger, des essaims dissimulés dans les arbres et le creux des rochers; guidés par les nuages bourdonnants des insectes, les chasseurs ont ainsi réussi à collecter des rayons de cire, pleins du miel fabriqué par les abeilles sauvages.

En témoignent quelques scènes de ces récoltes, inscrites dans l'icographie pariétale, en Inde, en Australie, en Afrique du Sud et dans l'est de l'Espagne.

Cette partie de la péninsule ibérique a produit des artistes qui ont peint sur des parois rocheuses dans la province de Valence, de nombreuses fresques brun-rouge, regroupées sous l'appellation "Art du levant" et attribuées au Mésolithique par de nombreux spécialistes. Parmi ces dernières, une scène de "cueillette de miel" sur les parois de la grotte de l'Araignée (La cueva de la Araña) est tout à fait réaliste. (fig. 55)

La gestuelle de nos lointains ancêtres, semble très proche des techniques archaïques mais efficaces, encore employées par les Pygmées Aka de la Centrafrique, particulièrement adroits pour localiser les nids, les recueillir et les vider avec gourmandise. (fig. 53)

Par ailleurs, en territoire népalais, les membres d'une ethnie qui habite dans une vallée au pied de l'Himalaya culminant à près de 8 000 mètres, pratiquent une "chasse au miel" des plus dangereuses. C'est une tradition ancestrale transmise de génération en génération. Elle oblige les chasseurs, au péril de leur vie, deux fois par an, à descendre le long de falaises vertigineuses,

Figures 53 et 54.
Un Pygmée Aka de la Centrafrique, chasseur de miel et une récolte.

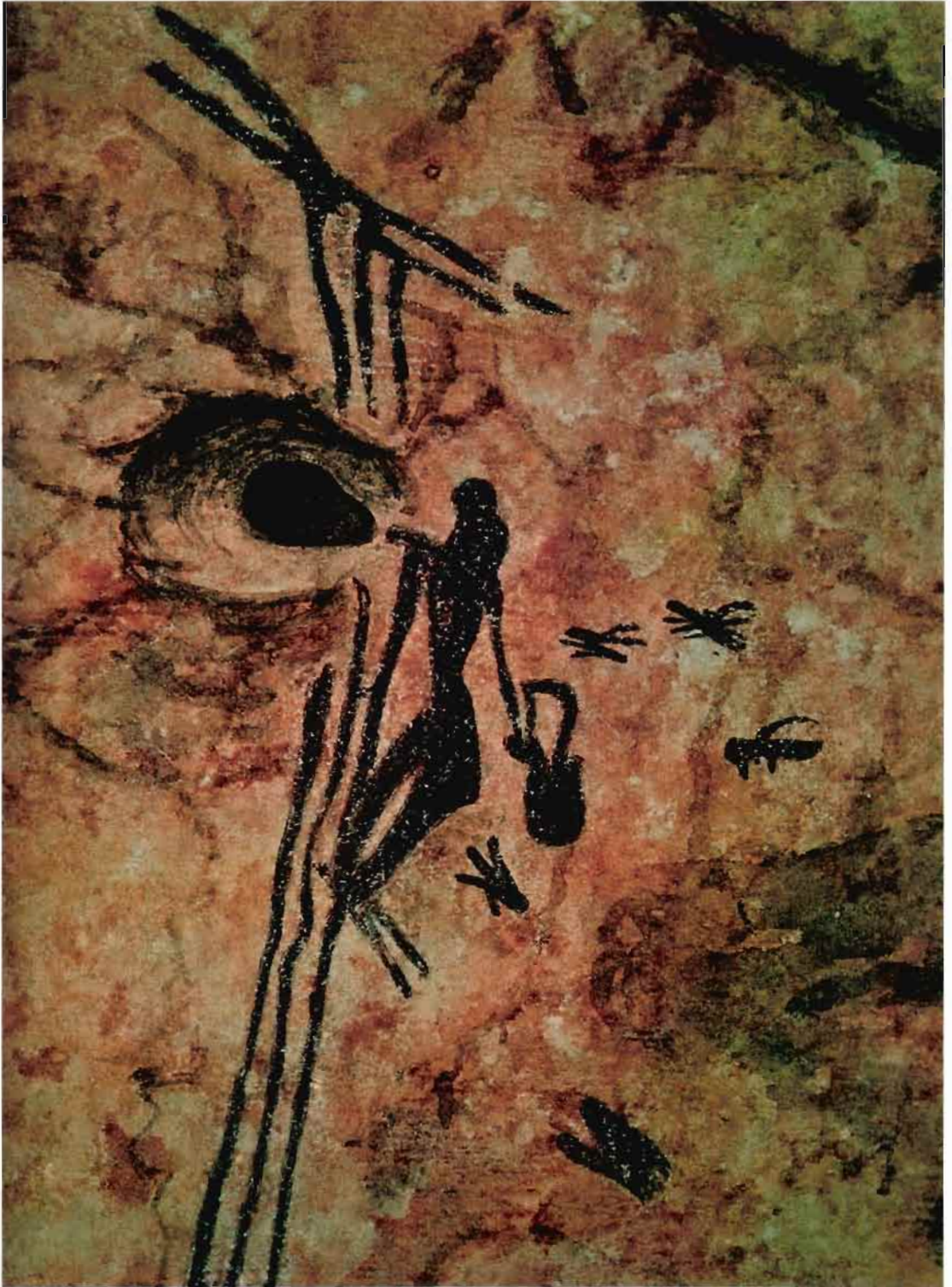
Page de droite :
Figure 55.
Chasse au miel. Cueva de la Araña (Espagne). Époque mésolithique. Environ 5 000 ans.



53



54



suspendus à de légères échelles en fibres de bambou tressées. Ils accèdent alors aux nids d'une abeille géante et agressive construisant son habitat sous la voûte du surplomb rocheux. Véritable expédition qui peut devenir mortelle et qui se termine par le troc du miel contre d'autres denrées alimentaires et la vente de la cire au profit du seul propriétaire du miel, autrefois, le roi.

Nous sommes encore loin de l'apiculture quand l'Antiquité nous propose l'une de ses légendes : l'apparition, et par conséquent la naissance de l'abeille, illustrée par le mythe d'Aristée. Fils d'Apollon et d'une nymphe, Aristée aurait appris aux hommes à élever les abeilles qui, elles, seraient nées de la décomposition des entrailles d'un taureau...

Cette légende est toujours relatée par Virgile dans les *Géorgiques*, quarante ans avant notre ère et illustre encore certaines gravures sur cuivre du XVIII^e siècle ! Cependant, trois siècles avant Jésus-Christ, Aristote, maître incontesté de la science antique, avait déjà étudié les abeilles et décrit les corbeilles à pollen et le mécanisme de la récolte ; ses observations sont consignées dans l'ouvrage *L'histoire des animaux*. Puis, au I^{er} siècle avant Jésus-Christ, Pline l'Ancien réserve plusieurs de ses livres à l'histoire des êtres vivants : hommes et animaux. Dans l'un d'entre eux, la ruche y est décrite comme une véritable caserne ! Les attributions de chacun des habitants sont certes fantaisistes, mais la discipline est de rigueur avec une sentinelle à la porte, une trompette au réveil, les actifs au travail, les paresseux, blâmés, punis et tués, le silence de la nuit...

Le goût du miel, la ruche et les prémices de l'apiculture existent donc déjà chez les Grecs et les Romains, et depuis longtemps en Égypte. En effet, si l'on retourne quelque trois mille ans en arrière, en se référant aux ouvrages consacrés à l'histoire des dynasties égyptiennes, on découvre sans surprise que l'abeille figure parmi les hiéroglyphes inscrits sur les monuments appartenant à différentes dynasties entre environ 3 000 et 30 ans avant Jésus-Christ : l'élevage des abeilles et l'entretien des ruchers représentés sur les tombes pharaoniques sont déjà florissants dans l'ancien Empire.

Les débuts de l'apiculture

Nous pouvons ainsi considérer que l'apiculture est réellement entrée en fonction à partir du moment où un essaim, dans sa totalité, a été capturé, puis introduit dans un habitat où il peut se développer et fabriquer ses produits à l'abri des pilleurs, sous le contrôle d'un maître qui pourra surveiller l'évolution de la colonie, récolter, mais aussi devenir un ami. La capture des essaims, pratiquée depuis le début du Moyen Âge, semble avoir été difficile au regard du danger qu'il y avait de se faire attaquer et piquer par une nuée d'abeilles en colère !

Entre les XIV^e et XV^e siècles, les premiers apiculteurs que l'on peut assimiler à des professionnels, appelés *bigres*, sont des agents forestiers dépendants du pouvoir royal, dont la tâche est de recueillir des essaims sauvages et de les installer dans des ruches rudimentaires organisées autour de la récolte de la cire et du miel.

Les pratiques apicoles avancent néanmoins lentement, car il était courant de devoir asphyxier les ruches pour réussir à sortir les rayons, extraire le miel et décrocher la cire. Le véritable intérêt pour les abeilles et leur rôle de pollinisateur, débute à partir du XVI^e siècle, à la suite des observations scientifiques des premiers savants et philosophes et avec le développement de l'agronomie. La découverte du microscope et sa mise au point au XVII^e siècle, entraînent par ailleurs la visualisation du grain de pollen.

Ainsi s'établit clairement le rapport qui existe entre l'abeille et les autres pollinisateurs, le pollen, la diversification des plantes à fleurs et les produits de l'apiculture.

L'apiculture aujourd'hui

L'apiculture est définie comme une branche de l'agriculture qui consiste en une technique de l'élevage des abeilles réunies en colonies à l'intérieur d'une ruche. Il convient naturellement de leur prodiguer des soins afin qu'elles se maintiennent en bonne santé et produisent sans défailir, le miel et la cire qui seront accumulés puis récoltés dans la ruche.

La Société Centrale d'Apiculture et d'Insectologie est née en 1856 ; création, la même année, du premier rucher-école de France au jardin du Luxembourg par Henri Hamet, fondateur de la S.C.A. Puis en 1857, parution définitive de la revue *L'Apiculteur* (Journal des cultivateurs d'abeilles, marchands de miel et de cire) qui sera remplacé par *L'Abeille de France* (fig. 56).

Dans le bulletin de la *Société Centrale d'Apiculture*, régulièrement actualisé, nous pouvons lire une inquiétude grandissante au regard des constats de surmortalité des colonies. Une mobilisation pertinente est mise en place pour démontrer aux initiés, comme aux profanes, que tous les pollinisateurs sont concernés par l'empoisonnement de l'environnement et du pollen : c'est-à-dire tous les secteurs liés aux problèmes agronomiques et aux enjeux économiques. Une preuve en est : l'abeille urbaine, naturellement moins contaminée par les pesticides, se porte nettement mieux !

- **L'apiculteur.** Le rapport de confiance réciproque qui existe entre l'homme et l'abeille relève presque de la légende. Certains apiculteurs possèdent, semble-t-il, un tel talent à travailler au rucher, dont ils peuvent s'approcher sans hésitation, manipuler la ruche, retirer les cadres, surveiller, nettoyer... sans craindre les piqûres. Une sentence a été consacrée à cette intimité : "*Les abeilles aiment qui les aime*"; elle prend toute sa dimension au moment de la disparition du "maître", avec une coutume peut-être issue d'une légende, mais qui perdure dans certaines régions et qui suggère que l'on fasse porter au rucher, grâce à un signal, le deuil du propriétaire.

Les apiculteurs sont professionnels ou amateurs. En 2004, la France, agrandie par les territoires d'outre-mer, comptait près de 1 500 000 ruches. Les professionnels, au nombre de 1 800 environ, possèdent près de la moitié du cheptel. Les amateurs ne regroupent qu'une dizaine de colonies en moyenne, mais représentent près de 80 % des propriétaires de ruchers (fig. 57). Tous sont

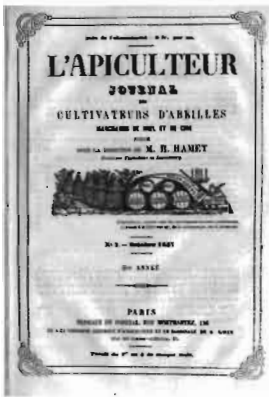


Figure 56.
Parution du journal
L'Apiculteur, n° 1,
octobre 1857.



des agriculteurs: ils dépendent de facteurs externes qui sont les caprices climatiques et météorologiques, mais aussi de facteurs internes liés au rucher et aux comportements souvent imprévisibles des insectes. Ils doivent faire preuve de connaissances pluridisciplinaires, en ce qui concerne l'agronomie, les éléments botaniques de la flore environnante et de ses périodes de floraison et les conséquences des variations climatiques. De plus une excellente approche des caractéristiques anatomiques de l'abeille, des dangers qui la guettent et de ses réactions émotionnelles en diverses circonstances sont également indispensables. Depuis le Moyen Âge, différents types de ruches à rayons fixes, en position horizontale ou verticale, ont été inventés et utilisés: poteries d'argile, paniers en vannerie, paille ou osier, en petit bois, cylindres en écorce, cucurbitacées ou tronc d'arbres évidés, en châtaignier comme dans les Cévennes. (fig. 58).

C'est seulement au cours du XIX^e siècle qu'apparaît la ruche à cadre mobile, mise au point par le Français Debeauvoys en 1844, et perfectionnée par l'Américain Langstroth, en 1851. La "caisse" est surmontée d'un toit et le fond utilise un plateau sur lequel s'ouvre l'entrée de la ruche. Les cadres accueillent le couvain et les provisions; le corps peut être surmonté d'une hausse pendant la récolte de la miellée. Cette innovation marque un tournant dans l'évolution de l'apiculture, car elle permet l'introduction dans la ruche et sa visite, pour effectuer certaines besognes en enlevant les cadres, et accéder aux rayons construits par l'abeille sans perturber la colonie. De nombreux modèles varient selon la forme et la dimension de la boîte et des cadres; les plus utilisés aujourd'hui ont été conçus par Dadant ou Voirnot par exemple. Le rassemblement de plusieurs de ces abris individuels constitue un rucher (fig. 58A).

Figure 57.
 Les ruches d'hier et d'aujourd'hui.
 A: Les apiculteurs au rucher "Bel-Air" à Saint Gaultier (Indre).
 B: L'aménagement de multiples cadres à l'intérieur de la ruche, augmente les surfaces destinées à recueillir les précieuses réserves de la colonie. La quantité de cire et de miel déposée dans les alvéoles constitue les provisions d'hiver.
 C: Cadre déserté par les abeilles victimes du syndrome d'effondrement de la colonie.



58A

Figure 58A.
Rucher ardéchois.

Figures 58B et 58C.
Rucher et ruche cévenols,
en troncs de châtaigniers
évidés.



58B



58C

Mais il existe aussi, en montagne surtout, dans l'Est de la France et d'une façon générale dans l'Est de l'Europe, une autre forme de rucher composé de plusieurs caisses juxtaposées et réunies dans un chalet (fig. 59).

Le rucher doit démarrer avec des ruches actualisées et en bon état, des colonies équilibrées et saines. La surveillance sanitaire doit impérativement être assurée en continu. L'apiculteur représente bien évidemment, l'un des principaux acteurs de la sauvegarde des colonies en danger.

L'APICULTURE EN SLOVÉNIE

Les ruches appelées aussi carnioliennes, sont des caisses basses, en bois, rassemblées les unes près des autres dans des maisonnettes qui ressemblent à des chalets. Ainsi regroupées sous un même toit, les colonies sont protégées, l'hiver contre le froid et la neige et l'été contre le soleil et la chaleur (fig. 59).

Au milieu du XVIII^e siècle, un certain art populaire, qui consistait à peindre les meubles paysans, a rejoint l'apiculture. Les frontons en bois lisse formant le devant des ruches ont alors servi de support aux artistes pour reproduire, parfois avec humour, des scènes de la vie quotidienne, des événements historiques ou des contes bibliques. Cette coutume perdure de nos jours et fait partie des traditions inscrites au cœur du patrimoine apicole de la Slovénie.

La Slovénie pratique une apiculture à la fois originale et performante. Son territoire actuel est le pays natal de l'abeille grise, dite carniolienne (*Apis mellifera carnica*) ; cette appellation est en rapport avec la toison de petits poils gris clair qui recouvrent son abdomen. L'abeille carniolienne est appréciée pour son humeur pacifique, sa rapidité d'exécution et son sens aigu de l'orientation ; elle possède en outre, un instinct de nettoyage qui contribue à son maintien en bonne santé. Au cours des siècles, elle s'est adaptée aux conditions climatiques contrastées du pays en supportant des hivers froids, suivis d'étés pluvieux et venteux ou subitement chauds et ensoleillés. Une mosaïque de paysages, qui s'échelonnent de la bordure alpine aux abords de la côte adriatique, lui offre une grande variété d'aires de butinage de nectars sucrés. Cependant, elle s'est spécialisée dans la récolte d'une manne, exsudation qu'elle découvre sur l'épicéa et le sapin.

Les miels sont donc aussi diversifiés que la flore. Le caractère tranquille de l'abeille a permis aux habitants d'installer les ruches près de leurs maisons ; l'élevage est protégé et l'Hyménoptère fait partie des animaux domestiques.



L'APITHÉRAPIE

L'étymologie du mot apithérapie est claire : *apis* ou abeille, en latin et *therapia* ou thérapie, en grec. Le terme désigne les produits introduits ou fabriqués par l'abeille dans la ruche, au service de la santé. Ce sont, le pollen, le nectar, le miellat, la propolis (et l'eau) récoltés par les butineuses et le miel, la gelée royale et le venin fabriqués au cœur de la colonie.

Seuls, le pollen, la propolis, la gelée royale, le miel et le venin, ont été retenus par le docteur Yves Donadieu (1983), pour leurs propriétés essentielles et les indications majeures qui les concernent; deux recettes qui utilisent le pollen y sont associées.

Le pollen

Les notions que nous avons rassemblées à propos de la vie et du travail des abeilles, permettent aisément de mesurer l'importance du rôle joué par le pollen au sein de la société des hyménoptères. Nous savons qu'il fait partie des principaux éléments collectés par les ouvrières butineuses qui le piègent dans leurs innombrables soies, et l'introduisent ainsi fortuitement dans leur habitat; en même temps elles le rassemblent volontairement pour le stocker dans les alvéoles. Il est consommé dans la ruche par les abeilles, à l'état brut ou en composition dans le miel.

LES RECETTES DU DOCTEUR DONADIEU (LE POLLEN, 1983)

Préparation d'une potion afin de se bien porter

“Prendre une cuillerée à soupe bien bombée de pollen pulvérisé que l'on mettra en suspension dans un grand verre de liquide, eau ou lait de préférence... Sucrez éventuellement avec une cuillerée à café de miel liquide et remuer à nouveau. Boire ce mélange tous les matins à jeun juste au début du petit-déjeuner, à raison de deux cures annuelles de 3 mois chacune, située l'une en cours d'été pour se terminer à la fin de l'automne, l'autre en cours d'hiver pour se terminer au début du printemps”.

Confection d'un masque pour se faire une beauté

“Prendre une cuillerée à café de pelotes de pollen que l'on pulvérisera dans un moulin à café électrique; y ajouter un jaune d'œuf et une demi-cuillerée à café de miel liquide. Passer le tout au mixer pour obtenir un mélange bien homogène que l'on étalera sur le visage et le cou en massant doucement. Laisser en place une bonne demi-heure et laver à l'eau tiède pour commencer puis froide pour finir afin de mieux tonifier la peau, qu'on laissera reposer ensuite quelques instants avant d'y appliquer quoi que ce soit”.

La propolis

Elle est prélevée par les ouvrières sur les bourgeons et l'écorce de certains arbres et utilisée dans la ruche pour mastiquer les fentes du logis, consolider les rayons et recouvrir les déchets difficiles à évacuer au dehors. Elle constitue donc une sorte de mastic végétal, employé dans l'industrie cosmétique et plus ou moins diététique, qui semble aussi intéresser le domaine médical.

La gelée royale

Ce nom prestigieux est attribué à la sécrétion des glandes hypopharyngiennes de l'abeille situées dans sa tête, au niveau de la bouche, derrière la trompe. Elle est en effet particulièrement nutritive et est, nous l'avons vu, essentiellement réservée à nourrir la reine et partiellement les larves au moment de leur développement dans l'alvéole.

Le miel

Ce produit fabriqué par l'abeille au sein de sa ruche représente une véritable symbiose entre le végétal et l'animal, ici, entre la fleur et l'insecte, au carrefour de la biodiversité. Très tôt, il a été recherché par l'homme de la Préhistoire qui, en quête pour sa subsistance de produits naturels, a vite découvert au fil des années ses vertus salutaires. La base de sa composition de nectar ou de miellat lui a rapidement permis de se placer au premier rang de l'alimentation sucrée, jusqu'à l'importation du sucre de canne au XVII^e siècle; mais le développement des plantations sur tous les territoires climatiquement adaptés a bientôt restreint sa renommée, aux seuls usages culinaires et thérapeutiques néanmoins chargés d'une réelle symbolique.

Le succès croissant de la consommation du miel et de sa commercialisation a exigé une législation à l'origine d'une définition encore diffusée : *“Le miel est la substance sucrée produite par les abeilles mellifiques, à partir du nectar de fleurs ou de sécrétions provenant des parties vivantes des plantes où se trouvant sur elles, qu'elles butinent, transforment et combinent avec des matières spécifiques provenant de leur propre corps et emmagasinent dans les rayons de la ruche”*.

Ces particularités rapidement énoncées méritent cependant d'être approfondies car il a été très tôt reconnu que le miel tenait aussi une large place en apithérapie.

Il convient par ailleurs de souligner ici, que les grains de pollen qu'il retient en suspension, témoignent de l'origine florale et géographique du butinage et que l'expertise et l'authenticité de l'étiquetage ouvrent la voie à une autre discipline, la méliissopalynologie.

Les nectars et les miellats

Ils constituent la base glucidique de la fabrication du miel.

Les nectars sont des émissions sucrées sécrétées par les nectaires, organes glandulaires des végétaux situés le plus souvent au fond de la corolle des fleurs, à la base des pétales, des étamines ou du pistil, voire en dehors de la fleur, à l'aisselle des feuilles, sur les pétales ou les sépales. Ils renferment en moyenne 40 % de sucres, teneur qui varie d'une plante à l'autre selon le moment de la journée, la saison et les conditions météorologiques.

Les miellats sont des exsudations produites sur les végétaux par certains insectes, principalement les pucerons, mais aussi d'autres insectes appartenant au groupe des cochenilles, psylles ou cigales, qui sucent la sève des arbres, en particulier les conifères, notamment le sapin, mais aussi l'épicéa, le pin et d'autres ligneux caducifoliés, le chêne et le tilleul par exemple ; ils en consomment surtout l'albumine et rejettent la partie sucrée à peine digérée qui tombe de la cime des arbres sur les feuilles. Cette pluie sirupeuse attire les fourmis et les autres amateurs, dont les abeilles, qui profitent de cette manne céleste à un moment de l'année où les floraisons estivales s'achèvent.

Hormis l'incontournable participation du nectar et du miellat à la mellification, il faut souligner l'intérêt de la cire, employée par les abeilles dans la ruche, pour bâtir les rayons et operculer les alvéoles remplies de miel ; elle entre par ailleurs, depuis l'Âge de Bronze, dans la composition de produits huileux utilisés par l'homme à des fins domestiques diverses, reproductions, moulages, sceaux, encaustiques...

Enfin, le venin produit par les glandes situées à l'extrémité de l'abdomen près du dard, fait partie de la pharmacopée proposée par l'apithérapie.

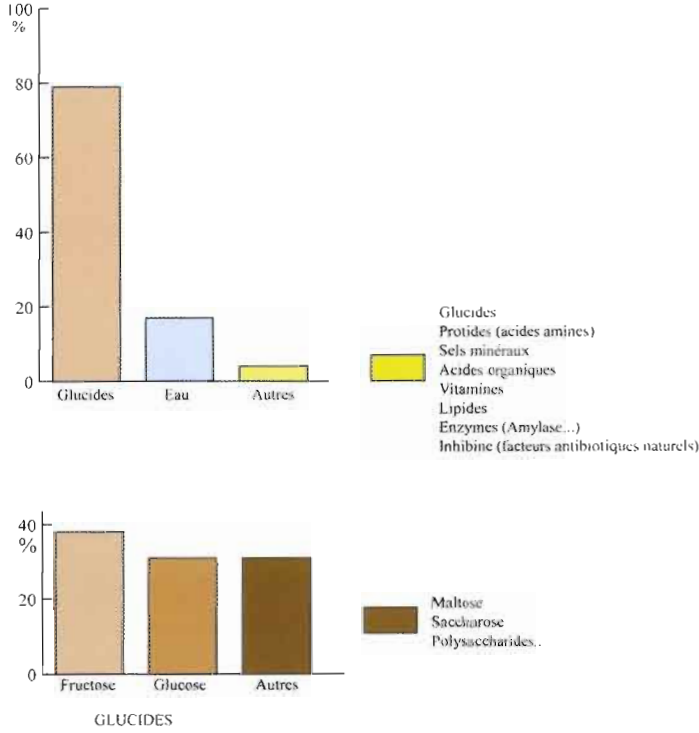
LA MÉLISSOPALYNOLOGIE

Un détour dans le passé

Le contenu pollinique d'un miel est découvert, dès la fin du XIX^e siècle, par R. Pfister (1895) qui prouve qu'il est aisé d'identifier les grains de pollen au microscope. Les grains ayant été introduits dans la ruche, permettent en effet de donner un nom à la principale fleur visitée et de connaître aussi les autres éléments de la flore de proximité. D'où la mise en évidence de l'origine à la fois botanique et géographique du produit fabriqué. Les premières recherches de Young en 1908 portent sur l'étude de miels suisses et américains et c'est le travail de C. Fehlmann (1911) qui évoque, pour la première fois, la discrimination microscopique qui existe entre miels de fleurs et miels de miellats.

Dès 1932, E. Zander entreprend une série d'ouvrages consacrés à cette nouvelle spécialité. Le terme de "palynologie" est déjà défini quand son application à la microscopie des miels prend le nom de méliissopalynologie.

Figure 60.
Composition du miel.



Les propriétés physiques et chimiques du miel

Le miel fabriqué au sein de la ruche par les abeilles est principalement destiné à leurs provisions. Cependant, l'excédent emmagasiné dans les alvéoles déso-perculées par l'apiculteur est traité en vue de sa commercialisation ; après un séjour dans un maturateur où décantent les impuretés, il est filtré et mis en pots. Il peut être plus ou moins coloré, fluide, épais ou cristallisé suivant son origine.

Les résultats de l'analyse d'un miel et sa présentation par l'apiculteur font appel à ses propriétés physiques et à sa composition chimique ; sa composition pollinique définissant l'origine florale.

Les propriétés physiques d'un miel se rapportent à ses différentes caractéristiques :

- sa masse volumétrique (environ 1422 kg/m^3 à 20°C), donc sa densité relativement importante ;
- sa viscosité qui dépend de sa teneur en eau et de la température ;
- sa conductivité thermique proche de celle de l'eau ;
- sa turbidité ;
- sa fluorescence ;
- son indice de réfraction ;
- son pouvoir rotatoire ;

– et sa coloration, de l'incolore au noir, en passant par toutes les gammes des jaunes, des roux et des bruns.

La composition chimique du miel concerne essentiellement les substances de base contenues dans le nectar ou le miellat, enrichies des sécrétions salivaires de l'abeille dotées d'actions enzymatiques diverses et complexes.

Les principaux constituants d'un miel fraîchement récolté sont (fig. 60) :

- l'eau (entre 14 et 24 %) ;
- les sucres ou glucides, entre 78 et 80 % : fructose, glucose, maltose, saccharose, etc. ;
- les lipides, en faible quantité, provenant de la cire mélangée au moment de l'extraction ;
- les protides, acides aminés et protéines, moins de 1 %, provenant des matières azotées contenues dans le nectar ou appartenant aux grains de pollen collectés avec le nectar ;
- les acides organiques, principalement, l'acide gluconique (0,3 %) ;
- les sels minéraux, 0,3 % pour les miels de nectar, près de 1 % pour les miels de miellat, plus foncés et plus riches en matières minérales ;
- les vitamines qui proviennent des grains de pollen et aussi de certains nectars ;
- les enzymes des sécrétions salivaires de l'abeille, indispensables à l'hydrolyse des disaccharides et la formation de sucres supérieurs nouveaux, le processus évoluant en passant d'une abeille à l'autre. Enfin, ajoutons les éléments en traces, puissants bactériostatiques qui empêchent le développement des bactéries mais ne les tuent pas.

Quand le spectre des sucres est nivelé et le taux d'humidité nécessaire atteint, le miel est prêt ; la dernière abeille travaillant à sa formation le dépose dans l'alvéole qu'elle opercule avec une pellicule de cire.

Les miels de nectar et les miels de miellats

Le **miel de nectar** est toujours assez clair ; il peut avoir une saveur douce comme le miel d'acacia (robinier), de tilleul, de luzerne... ou une saveur plus spécifique en rapport avec la fleur d'origine, elle-même très parfumée : oranger, romarin, lavande, eucalyptus... Certains miels restent naturellement liquides, d'autres cristallisent plus ou moins rapidement. À noter que le miel chauffé se conserve liquide, mais certains de ses composants peuvent être altérés par la chaleur, les enzymes en particulier.

Il existe deux types de miel de nectar :

- les miels unifloraux appelés "miels de cru" qui proviennent de façon prédominante d'une plante spécifiquement déterminée, dont les grains de pollen en pourcentages importants, 30 à 50 %, sont associés à du pollen secondaire de plantes réparties inégalement sur le même territoire que l'espèce principale.
- les miels unifloraux sont donc liés aux mêmes principales caractéristiques saisonnières de récolte que la plante dominante, donc géographiques, climatiques... et écologiques. Ainsi par exemple, le miel de romarin individualisé à partir de son contenu pollinique, documentera en même temps les spécificités

de la garrigue au sein de laquelle la plante fleurit; les composantes florales d'une garrigue étant différentes d'une région à l'autre, voire d'un pays à l'autre, il sera impossible, par exemple, de vendre un miel d'Espagne pour un miel de Provence!

Les miels polyfloraux ou multifloraux sont aussi nommés à juste titre "miels toutes fleurs". Ils sont très nombreux car ils appartiennent à une mosaïque de paysages; leur composition est donc complexe car elle dépend de collectes de pollen, multiples et variées.

Le **miel de miellat** est récolté par les abeilles en plein et en fin d'été, plus particulièrement sur les sapins et les épicéas. Sa couleur varie du jaune foncé au brun et sa saveur est souvent très prononcée.

Parmi les éléments figurés qui accompagnent le pollen de la plante prédominante, se trouvent rassemblés les grains des plantes montagnardes associées aux conifères, selon l'altitude. Dans ce cas, l'ensemble documente l'origine géographique du massif montagneux qui a été visité par les abeilles dans une région ou un pays précis, voire, dans un autre pays.

Le **miel Rosat** est un miel anecdotique, mais original.

Deux postulats sont donc à l'origine de la méliissopalynologie :

- les grains de pollen tombés dans le nectar ou le miellat et introduits dans la ruche sont intégrés au miel et y subsistent jusqu'à la fin de sa formation ;
- l'examen microscopique des grains de pollen et leur identification renseignent indiscutablement sur leur origine botanique, mais aussi géographique.

LE MIEL ROSAT

C'est un mellite (ou mélitte) défini comme un médicament sirupeux à base de miel; il est issu d'un mélange de miel et de suc de roses rouges fraîchement cueillies réduites en pâte et consommé dès le Moyen Âge, pour lutter contre les aigreurs et, plus tard, pour ses vertus considérées comme astringentes.

Il est publié dans le *Dictionnaire Encyclopédique des Sciences médicales*, en 1878, dans lequel est donnée la recette du mellite de roses rouges en infusion, de 1000 g de roses dans 6000 g d'eau bouillante et 6000 g de miel blanc, après évaporation de l'eau. Ce miel rosat longtemps reconnu pour ses qualités astringentes fut aussi employé en gargarismes, à la dose de 30 à 60 g dans 100 g d'eau.

D'autres plantes furent par la suite associées au miel pour fabriquer des infusions à valeurs diurétiques, purgatives ou antinévralgiques... ou des sirops apaisant les affections pulmonaires. Autant de produits appartenant à la pharmacopée de l'époque qui perdurent sous d'autres formes aujourd'hui.

La méliissopalynologie est normalement une méthode sûre de contrôle de qualité et de propreté, synonymes de valeur et en même temps et principalement, de prévention et de répression des fraudes.

Néanmoins, des normes de garantie devraient être clarifiées par la publication d'un document faisant état de critères établissant les limites de composition et de définition des miels monofloraux. Il n'en subsiste pas moins que les principaux acteurs de la méliissopalynologie demeurent le palynologue et son microscope (fig. 61).



Figure 61.
Pot à "Miel Commun"
Faïence de Bordeaux, vers
1775; Manufacture royale
Boyer. (Faculté de Pharmacie
de Paris).



FLEURS DES MIELS ET FLEURS DES ÎLES

La présentation des fleurs des miels au terme de cette étude nous permet de souligner :

- l'aptitude des abeilles à butiner, la protection de ces dernières et l'aménagement des ruchers qui nous incombent ;
- l'intérêt du miel, ce sucre naturel, parfumé et riche qui fut très apprécié dès la Préhistoire, puis l'Antiquité jusqu'à l'importation de la canne à sucre des colonies françaises jusqu'au XVI^e siècle ; il doit l'être encore pour ses vertus bienfaitrices et le plaisir de sa saveur. Il illustre également l'étendue de notre patrimoine artisanal et médicinal.

Nous présentons un large échantillonnage de miels français, le plus souvent monofloraux, décrivant leur couleur, leur arôme, leur goût ainsi que le pollen qu'ils renferment et leurs plantes productrices.

Quelques exemples ont été choisis parmi les miels de régions tropicales, dans les îles de Java, des Philippines et de Nouvelle-Calédonie. Ces miels sont généralement multifloraux avec, cependant, dans certains cas, des représentations importantes de plantes illustrant la position des ruchers au sein de formations végétales particulières. En Nouvelle-Calédonie, les apiculteurs cherchent à produire des miels monofloraux tels que le miel de "niaouli", *Melaleuca quinquenervia*, Myrtacée emblème du territoire. Les fleurs des îles, quant à elles, illustrent, à leur manière, la diversité mais aussi la fragilité de l'héritage que nous avons à préserver. La richesse de la flore décroît d'ouest en est et les îles sont colonisées par des plantes pionnières dont les graines sont diffusées naturellement par le vent, la mer et les oiseaux. Par ailleurs, l'insularité entraîne le développement de nombreuses formes endémiques élargissant encore les caractéristiques de la biodiversité végétale locale.

Les surprenantes aptitudes de l'abeille à butiner et à engendrer de surcroît la pollinisation et la diversification des plantes à fleurs, nous ont amenées à découvrir l'apiculture et sa progressive évolution. Nous avons alors pris conscience des multiples dangers qui menacent l'hyménoptère, depuis son apparition parmi les autres insectes et son étonnante faculté à les écarter durant plus de 100 millions d'années. Cette faculté a été mise à mal dès l'élaboration de nouveaux produits chimiques phytosanitaires que sont les pesticides et leur utilisation dans le but d'améliorer la qualité des productions agricoles et leur rendement. D'où le développement d'une nouvelle et terrible nuisance qui a pris une dimension internationale et qui semble très difficile à maîtriser. En effet, l'effondrement des colonies qui se manifeste en différents points du globe ne rencontre pas encore actuellement de réelle solution et la pratique de l'apiculture, qu'elle soit professionnelle ou la simple passion d'amateurs éclairés, connaît aujourd'hui de sérieux déboires.

La consommation du miel et sa commercialisation risquent donc de décroître à mesure que déclinent les ruchers.

Pourtant la richesse de la biodiversité végétale actuellement répandue sur la planète, après avoir vaillamment résisté aux accès de colère des éléments naturels, permet encore aujourd'hui sur les différents continents, la production d'une palette de miels, les plus diversifiés, issus d'une flore mellifère abondante, attractive et parfumée.

Nous présentons six miels monofloraux, volontairement d'origines très différentes, mais tout aussi goûteux.

FLEURS DES MIELS EN EUROPE TEMPÉRÉE

Les plantes mellifères, sauvages ou cultivées, sont celles qui produisent un important nectar ou fournissent du miellat ou les deux à la fois. Nous avons déjà abordé la participation des nectars et des miellats à la mellification (voir ci-dessus). L'extraordinaire variété des miels d'une région est inféodée à la diversité des paysages qui la modulent; il y a en effet autant de miels que de biotopes. À souligner l'intérêt des miels de montagne, rares mais particulièrement recherchés, qui bénéficient de la transhumance à la rencontre de taxons spécifiques (rhododendrons, trèfles, épilobes, ronces...), dont la miellée est abondante par beau temps. Les productions de miel des végétaux fleuris pourvoyeurs d'un généreux nectar ont été rassemblées par classes, selon l'importance de leur production, leur qualité et leur renommée.

La classe 6, accueille les taxons les plus productifs, par exemple, de nombreuses Lamiacées, le robinier (faux acacia) et le tilleul.

La classe 4, concerne toujours certaines Lamiacées, comme le romarin, et aussi des bruyères (la callune et la bruyère cendrée), mais encore le tilleul et l'épicéa.

Le châtaignier ne se place que dans la classe 2, malgré une production de pollen particulièrement prolifique, sans rapport avec celle de son nectar.

Ce classement est donc naturellement établi en relation avec la qualité et la quantité du nectar émis par les nectaires placés, nous l'avons vu, en différentes parties de la fleur, voire en dehors de celle-ci.

Les nectaires et leur production ont toujours suscité beaucoup d'intérêt et donné lieu à diverses théories. Il en ressort surtout que le nectar a certainement un rôle alimentaire et/ou constitue un attrait, qui est en fait une sorte d'appât pour les insectes. Il demeure enfin certain que le nectar joue un des rôles essentiels dans le phénomène de la pollinisation avec le butinage, en assurant la fécondation et la pérennité des plantes à fleurs, principalement des angiospermes.

Rappelons qu'il est constitué de diverses variétés de sucres (saccharose, glucose, fructose, maltose), qui représentent un pourcentage variant, d'après les spécialistes, entre 7 % et 87 % de sa composition globale, selon les genres et les espèces des fleurs. Par contre, il est bien difficile d'attribuer un quelconque quota aux miels de miellat totalement dépendants de la prolifération des pucerons, elle-même inféodée à des facteurs saisonniers donc climatiques. Il convient en effet d'insister ici sur les caractéristiques propres aux miels de miellat issus des excreta de pucerons surtout qui, comme nous l'avons vu, parasitent principalement les conifères et certains autres ligneux.

Le puceron, qui croît et se multiplie à un rythme accéléré, demande beaucoup de protéines qu'il puise dans la sève de tubes élaborés par certains végétaux; il en consomme beaucoup, équipé d'un appareil buccal adapté à la perforation des tubes et en rejette une grande partie, particulièrement riche en sucres, par l'anus, après avoir sélectionné les protéines à travers une sorte de filtre. Ce miellat visqueux ou cristallisé tombe sur les feuilles et attire les butineuses qui le lèchent et s'en régalent. Sa composition est différente de celle des nectars de fleur; il contient un sucre nommé mélézitose car découvert dans le miellat du mélèze. Le miellat effectue donc un double transit intestinal, dans le tube digestif du puceron et dans celui de l'abeille qui le transforme en miel, comme le miel de nectar, d'une double origine, végétale et animale.

Une remarque pour rassurer les amateurs de miel, en précisant qu'il n'existe pas de miel toxique en France, ni dans le reste de l'Europe sauf exceptions. Ils ne sont produits que dans certaines contrées tropicales où le pollen et le nectar ont été recueillis sur des plantes vénéneuses et aussi parfois par des hyménoptères eux-mêmes porteurs de poisons comme certaines guêpes...

Parmi les exceptions, le cas du nectar du tilleul argenté (*Tilia argentea* ou *tomentosa*); ce dernier, originaire des rives de la mer noire et du Caucase a été introduit en Europe dès le XVIII^e siècle. Il a été remarqué que des abeilles trop gourmandes de son nectar, meurent empoisonnées au pied des arbres, d'une surdose de ce produit contenant un narcotique (fig. 62). Aucun document alarmant néanmoins sur le miel, certainement fabriqué par les abeilles qui ont eu la possibilité de regagner leur ruche. Récolté notamment en Roumanie, il a bonne réputation.

Figure 62.

Butinage du tilleul argenté
(*Tilia argentea* ou *tomentosa*,
Tiliacée).



Par ailleurs, il s'avère que le miel peut difficilement échapper, selon le type de fleur et son aire de butinage, à la pollution par les produits phytosanitaires employés souvent abusivement pour lutter contre les maladies, microbiennes ou parasitaires et les prédateurs de l'abeille; c'est en effet l'hyménoptère qui les introduit dans sa ruche, au terme de ses collectes de nectar et de pollen.

Une expertise de pollution éventuelle a employé une méthode innovante de dosage métabolomique; cette méthode développée par Profilomic, entreprise de pointe au CEA, utilise le métabolome constitué de petites molécules "signal", les métabolites; associée à la spectrométrie de masse, elle a permis de rechercher au sein d'un choix de 76 miels, 91 molécules indésirables, dont 56 pesticides et 35 antibiotiques; elle a été objectivement publiée dans *60 millions de consommateurs* (N° 464 – octobre 2011). Les résultats sont variés, intéressants et souvent étonnants, voire inquiétants.

En outre, une simple analyse physico-chimique permet de connaître le taux d'humidité dont la valeur élevée favorise la fermentation, la teneur en HMF (hydroxyl – méthyl. furfural), témoin du vieillissement du miel, enfin, le profil des sucres dont la composition permet de vérifier l'origine florale, sans ajout illégal de sucre.

Que se passe-t-il en France? Le pays produit 18 000 tonnes de miel chaque année, alors que 40 000 lui seraient nécessaires pour satisfaire la clientèle des gourmands. Il lui faut donc passer par des marchés d'importation, en provenance de l'Union européenne (au sein de laquelle, il est actuellement permis d'utiliser de façon restreinte, certains antibiotiques pour traiter les ruches), mais aussi d'autres continents qui fournissent des produits obtenus par des procédés à la limite de la réglementation ou totalement frauduleux.

Une trentaine de miels (et leur emballage) choisis parmi quelques célébrités, ont été véritablement "épluchés" et notés entre 19 et 5/20. Il en ressort clairement que les 6 miels "bio" sont les moins pollués et bénéficient d'une note comprise entre 19 et 17,5, la palme du "o résidu" revenant à un miel d'Eucalyptus en provenance de Tasmanie; rien d'étonnant lorsque l'on sait que cette île appartient au continent australien qui échappe encore à l'invasion du terrible acarien *Varroa destructor* que les apiculteurs traitent aux insecticides.

PRÉSENTATION DE SIX MIELS D'EUROPE TEMPÉRÉE

L'assemblage des données concernant les plantes mellifères et leur miel que nous exposons, a naturellement bénéficié d'une importante bibliographie mais aussi de nos investigations personnelles.

Nous avons observé, humé et goûté les miels, à l'état liquide et parfois cristallisé; mais nous avons aussi effectué une recherche des flux polliniques qu'ils contiennent en appliquant la méthode adéquate afin de connaître la valeur du taux de pollen de la fleur principalement butinée et qui a donné son appellation au miel, par rapport au taux de pollen des autres taxons également visités au sein du même biotope. Au terme de la lecture d'une lame de chaque préparation, nous avons ainsi obtenu les chiffres révélateurs du contenu

pollinique de chacun des miels, garants de sa spécificité, donc de sa qualité. Nous avons traité 10 cl de chacun des miels ; après dilution dans de l'eau distillée et centrifugation pour éliminer l'eau sucrée, nous avons procédé à une acétolyse du culot pour détruire le contenu cytoplasmique des grains qui gênent la prise en compte des critères de détermination génériques, voire spécifiques du flux pollinique. Nous découvrons ainsi le taux du pollen le plus représenté, qui est celui de la principale plante mellifère butinée, identifiant le produit. Nous avons isolé et photographié certains de ces grains et les avons décrits.

L'acétolyse est indispensable aux contrôles d'expertise de méliissopalynologie pour les miels présentés à un concours ou réservés à une large commercialisation, ouverte, bien souvent, aux exportations et importations. Néanmoins, il n'est pas inutile d'ajouter à ce minutieux travail d'identification, les données relatives aux caractéristiques du cytoplasme et de la membrane cellulosique (intine) qui le maintient, bien visible sans traitement préalable.

Il est enfin évident que l'acétolyse ne concerne pas l'apiculteur qui gère, pour son plaisir, un domaine plus réduit, pour une diffusion familiale et souvent amicale. Il choisit des taxons qu'il préfère et dépose ses ruches au sein d'une aire de butinage adaptée ; sa récolte, dès la fin de l'operculation, peut difficilement lui réserver des surprises.

Le miel de sapin

Sapin commun (sapin blanc, sapin argenté ou pectiné) – *Abies alba* Miller ou *pectinata* – (Abiétacée).

- **L'arbre.** C'est un conifère de 50 mètres de haut maximum, très résineux, à feuilles persistantes linéaires en spirales ; son écorce est grisâtre, écailleuse. Les feuilles (épines) de 15 à 30 mm se présentent, verts foncés au dessus et blanchâtres au revers. Les fleurs mâles (fig. 64) et femelles sont portées sur des cônes différents sur le même arbre : le cône femelle ligneux est érigé et produit des graines ailées, le cône mâle disperse le pollen.

- **Le pollen** (fig. 63). Le pollen de sapin est un grain à deux ballonnets (bisacate), caractéristique des gymnospermes et de grande taille. (# 150 µm, corps central et ballonnets compris).

L'exine du corps central est épaisse dans sa partie basse proximale (cappa) (7 µm) et mince dans sa partie haute distale (cappula), prête à se fendre en guise d'aperture. Les ballonnets sont largement réticulés et présentent 3 plans d'alvéoles superposés.

À savoir : Le miel de sapin qui provient essentiellement d'un miellat, léché par les abeilles sur les épines, ne contient quasiment jamais de pollen du conifère.

- **Le miel.** Son origine est un miellat d'excreta de pucerons, élaboré sur l'arbre et déposé sur ses feuilles. Son aire de récolte concerne les moyennes montagnes d'Europe ; en France, ce sont les Vosges, le Jura, les Alpes, les Pyrénées

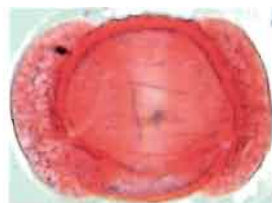


Figure 63.
Pollen d'*Abies alba*
(Abiétacée).

Figure 64.
Le sapin blanc, *Abies alba*
(Abiétacée).

et l'Auvergne. La production de la miellée est irrégulière et imprévisible, dépendante de la prolifération des pucerons. Sa couleur passe du brun noir ou brun verdâtre, au jaune irisé de vert. Son arôme est prononcé mais reste doux, boisé, à effluves de résine. Sa saveur est douce ; c'est celle du bois de conifère, de la balsamine ou encore du malt.

• **Ses autres caractéristiques.** Son contenu pollinique : la présence du pollen de sapin dans un miel est rarissime. Par contre les plantes les plus proches qui ont été butinées, avant ou après la collecte du miellat, ont abandonné dans le nectar, plusieurs de leurs grains qui se trouvent associés dans le miel ; c'est le cas ici de la présence exclusive des grains de pollen du châtaignier. Sa cristallisation est lente ; de ce fait le miel demeure longtemps sirupeux mais sa conservation est excellente. Enfin ses aptitudes thérapeutiques sont à souligner car ce miel de sapin est très riche en oligoéléments variés (phosphore, potassium, calcium, soufre, magnésium, zinc, bore, fer, cuivre) qui en font un fortifiant, un antiseptique et un diurétique.



Figure 65.
Pollen de tilleul à petites
feuilles.

Figure 66.
Le tilleul à petites
feuilles,
Tilia cordata (Tiliacée).



Le miel de tilleul

Tilleul commun – *Tilia x vulgaris* Hayne (*T. x europea*, c'est-à-dire : hybride de *T. Cordata* Miller, tilleul à petites feuilles et de *T. Platyphyllos* Scop., tilleul à grandes feuilles) – (Tiliacées) – [*x = hybride*]

- **Les arbres** (fig. 66). Ce sont de grands arbres caducs, de 30 à 40 mètres de haut. Leurs branches forment une large couronne étalée. Leur tronc est recouvert d'une écorce lisse, brun foncé ou grise. Leurs feuilles dentées sont poilues ou glabres. Leurs fleurs blanc jaunâtre sont parfumées. Leurs fruits poilus ou secs sont globuleux. Les inflorescences émergent d'une bractée facilitent la pollinisation.

- **Le pollen** (fig. 65). Les grains de pollen des différentes espèces de tilleuls sont isopolaires. Cela signifie que les surfaces de l'exine aux deux pôles opposés, distal et proximal, sont identiques. Ils sont subcirculaires en vue polaire, légèrement bréviaxes en vue équatoriale. L'ouverture est tricolporée, interaperturée ou planaperturée : ce qui signifie que les pores ne sont pas aux angles dans la tétrade mais sur les côtés. L'ectoaperture est représentée par trois sillons courts et l'endoaperture est pratiquement circulaire.

La taille des grains varie selon l'espèce, entre environ 30 µm en vue polaire et 45 µm en vue équatoriale.

L'exine comprend : une endexine mince (# 0,5 µm) entre les sillons porés et épaisse autour des pores où elle forme un bourrelet caractéristique, et une ectexine plus épaisse (# 1,5 µm), non structurée mais fossulée; c'est l'ensemble des fossules qui donne un aspect gaufré, réticulé à la surface du grain.

Une remarque valable pour tous les grains de pollen : quand les grains ne sont pas acétolysés, ils sont pleins ; il est alors possible de décrire l'intine et le cytoplasme.

Dans le cas du tilleul, il est possible de distinguer, une intine mince et un cytoplasme lisse et faiblement verdâtre.

- **Le miel.** Son origine est double, de nectar butiné par les abeilles et de miellat déposé sur ses feuilles par les pucerons.

Son aire de récolte est large car les tilleuls sont répandus dans la majeure partie de l'Europe et très communs en France. La miellée qui ne se produit que de juin à juillet est donc rapide et peu abondante. Sa couleur apparaît ambrée à jaune foncé. Son arôme persistant est celui des fleurs. Sa saveur également de tilleuls en fleurs, se révèle intense mais légèrement amère, voire mentholée.

- **Ses autres caractéristiques.** Elles concernent un contenu pollinique particulier du fait de sa double origine. Le survol de la préparation témoigne d'une faible représentation du pollen de tilleul (20 % à 30 %), qui provient du butinage dans l'arbre, par rapport aux taux des grains des autres taxons présents déposés dans le miellat (Brassicacées, châtaignier, Rosacées, Fabacées, érable), tous piégés au moment des festins de l'abeille. La cristallisation est variable selon les miels, mais sa bonne conservation est assurée. Ce miel, aussi riche en divers oligoéléments (potassium, calcium, manganèse), combat la nervosité et l'insomnie.

Le miel de châtaignier

Châtaignier commun – *Castanea sativa* Miller – (Fagacée)

- **L'arbre** (fig. 68). Ce grand arbre à port étalé qui mesure au moins 30 mètres de haut, possède un tronc gris brunâtre souvent orné de fissures en spirales. Ses feuilles oblongues, sont pointues, dentées et écailleuses au revers. Ses fleurs d'un vert jaunâtre, se présentent en chatons érigés ou étalés ; les fleurs mâles forment de longs chatons blancs au-dessus des fleurs femelles groupées le plus souvent par 3, dans une cupule ou bogue. Les fruits (au nombre de 1 à 3) sont des noix brunes, lisses et brillantes contenues dans la bogue épineuse, très piquante, qui les libère en se fendant. Le châtaignier est un arbre silicicole, originaire du sud-est de l'Europe, mais sa culture actuelle s'est étendue. La floraison qui s'échelonne sur une quinzaine de jours, de juin à juillet, est très généreuse ; elle favorise donc une bonne production de pollen, de nectar et le butinage.

- **Le pollen** (fig. 67). Le pollen de châtaignier est isopolaire. Il est subcirculaire en vue polaire et légèrement plus haut que large en vue équatoriale, donc faiblement longiaxe. Sa taille est petite : en vue polaire # 18 µm ; en vue équatoriale # 12 µm. L'aperture est tricolporée ; les trois sillons sont interrompus par un pore entouré d'un anneau épais (# 1 µm). L'exine est mince,



Figure 67.
Pollen de châtaignier.

Figure 68.
Le châtaignier commun,
Castanea sativa (Fagacée).



sans ornementation ; l'ectexine et l'endexine réunies atteignent à peine 1 μm . Quand le grain n'est pas acétolysé, l'intine apparaît aussi épaisse que l'ensemble ectexine-endexine et le cytoplasme est dit lisse, car il ne contient aucun élément qui troublerait son homogénéité ou sa transparence.

- **Le miel.** Étant donné le succès de la mise en culture du châtaignier, l'aire de récolte de son miel de nectar concerne toutes les régions tempérées de l'hémisphère nord. En France, il est particulièrement répandu dans les Cévennes, en Bretagne, dans les Pyrénées, en Ardèche et en Corse.

- **Ses autres caractéristiques.** Ainsi, le miel de châtaignier est chargé d'un flux pollinique important, comme en atteste l'observation de la préparation qui affiche un taux de 95 % du pollen de l'arbre par rapport aux taux très bas des autres taxons (Éricacées, Fabacées, Campanulacées, Rosacées et tilleul). La couleur brun-rouge, sombre à l'état liquide, passe par plusieurs tons de marron quand survient la cristallisation, assez tard et parfois assez grossière. Néanmoins sa conservation est stable et bonne. La principale particularité du miel de châtaignier est d'avoir "du caractère" : son odeur est puissante, forte et suave à la fois, sa saveur est prononcée, boisée, parfois amère et persistante.

Il peut donc dérouter à la dégustation, mais il conserve la bonne réputation d'être bénéfique à la circulation sanguine et de posséder des qualités à la fois cicatrisantes et énergétiques, en rapport avec sa richesse en oligoéléments (potassium, magnésium, manganèse, baryum).



Les miels de bruyère

Il existe plus de 800 espèces de bruyère. Les bruyères (Éricacées) ont la particularité de ne pousser que sur des sols décalcifiés, acides donc siliceux, sur les falaises, dans les bois, les landes, les coteaux arides et les tourbières.

Les deux genres les plus communs et les plus proches sont la bruyère commune, callune et la bruyère cendrée.

Le miel de callune

- **La plante.** Callune ou bruyère commune – *Calluna vulgaris* Linné – (Éricacée) (fig. 69). C'est un arbrisseau d'une assez petite taille, 80 cm au maximum ; les pieds sont rapprochés et constituent un tapis, peu poilu, au contraire d'autres genres de la même famille. Les feuilles, nombreuses et opposées, prennent l'aspect de petites écailles. Les fleurs, petites, entre 3 et 4 mm, de couleur pourpre pâle à rose lilas, sont réunies en grappes menues ; leurs sépales en forme de pétales sont plus longs que les véritables pétales et constituent un calice en clochette qui cache la corolle. Les étamines sont discrètes.

- **Le pollen** (fig. 70). Les grains de pollen de la callune se présentent dans une tétrade calymmée, plus ou moins déformée du fait que les grains sont en position tétragonale, presque dans un même plan. Le diamètre de la tétrade mesure en moyenne 35 µm. Les grains sont tricolporés. Les sillons sont groupés par six paires de demi-sillons, difficiles à observer, sur le profil des grains où l'exine s'amincit ; les pores sont circulaires et discrets. L'exine est composée d'une ectexine et d'une endexine sensiblement de même épaisseur, l'ensemble ne dépassant pas 2 µm. L'ectexine est nettement réticulée avec un réseau très fin et irrégulier. Quand la tétrade n'est pas acétolysée, il est possible d'observer une intine mince et un cytoplasme lisse.



Figure 70.
Les grains de pollen en tétrade tétragonale de la callune.

Figure 69.
La callune commune, *Calluna vulgaris* (Éricacée).

Figure 71.
Le butinage de la callune.



- **Le miel.** Le miel de callune est issu du nectar de la fleur. L'aire de récolte concerne les terrains siliceux accueillant des formations végétales très variées, que ce soit en plaine ou en montagne: forêts claires, talus, bords de routes, landes, dunes, partout dans le monde, sauf au Spitzberg; les principales récoltes en France s'effectuent dans les Pyrénées, les Cévennes, l'Auvergne et les Landes.

De ce fait, les floraisons et les butinages (fig. 71), débutent en montagne, à la fin du mois de juillet et s'achèvent en plaine au début de l'automne. Le butinage très régulier, dure presque un mois mais la récolte du nectar est incertaine, les incidents climatiques pouvant s'avérer nombreux et variés.

- **Ses autres caractéristiques.** Néanmoins, l'étude de la préparation pollinique rend compte d'une importante participation des Éricacées (40 %) parmi les visites des abeilles et de certaines autres familles et genres qui sont par exemple, par ordre décroissant d'importance, les Fabacées, les Lamiacées, les cistes, les chênes verts... Sa couleur ambrée, rougeâtre à l'état liquide, passe au brun orangé en se solidifiant. Son arôme puissant et ses fortes saveurs fruitées, parfois amères, peuvent surprendre le consommateur. Son extraction difficile, due à sa consistance gélatineuse, s'accompagne d'une lente cristallisation et sa conservation est hasardeuse. Ce miel original semble assez peu apprécié en France mais sa commercialisation est assurée par l'exportation dans le reste de l'Europe, principalement en Allemagne. Ses caractéristiques thérapeutiques sont cependant avantageuses dans le cas des maladies rénales et des grandes fatigues, surtout celles des convalescents, grâce à sa richesse en oligoéléments (potassium, fer, soufre, manganèse, bore, baryum).

Le miel de bruyère cendrée

Bruyère cendrée – *Erica cinerea* Linné – (Éricacée)

- **La plante** (fig. 72). C'est un arbuste nain qui mesure entre 2 et 8 cm; il est glabre, seules les jeunes pousses sont poilues. Les tiges sont ligneuses et les feuilles, étroites et linéaires, sont verticillées par 3, de couleur vert foncé, souvent bronze. Les fleurs en clochettes, de couleur rose pourpré, parfois rose ou blanche, mesurent de 4 à 7 mm. Elles se présentent en grappes denses ou en inflorescences compactes, groupées vers le haut des tiges. Les étamines sont discrètes, enfermées dans la corolle. Les fruits sont des capsules glabres.

- **Le pollen** (fig. 73). Comme la plupart des Éricacées, les grains de pollen sont groupés en tétrade calymmée bien nette, l'ectexine enveloppant l'ensemble des quatre grains figurant un tétraèdre subsphérique. Cette fréquente caractéristique fait que la tétrade est difficile à déterminer à l'espèce. Le diamètre de l'ensemble mesure entre environ 35 et 45 µm. Les grains sont tricolporés. Les ouvertures concernent six paires de demi-sillons à bords irréguliers, bifides et légèrement épaissis dans leur partie terminale et des pores subcirculaires bien nets. L'ensemble endexine et ectexine de l'exine ne dépasse pas 2 µm



Figure 73.
Grain de pollen en tétrade
calymmée de la bruyère
cendrée.

Figure 72.
La bruyère cendrée,
Erica cinerea (Éricacée).

d'épaisseur; l'ectexine plus mince que l'endexine est finement réticulée. Quand la préparation n'est pas acétolysée, il est possible de distinguer, une intine aussi épaisse que l'exine et un cytoplasme finement granuleux.

Remarques: la présence du pollen de la bruyère cendrée dans un miel est caractéristique des régions côtières atlantiques de l'ouest de l'Europe. Le grain y est associé avec d'autres dits d'accompagnement. Cette combinaison avec le flux pollinique d'autres taxons est souvent utile pour la recherche de l'origine géographique de l'ensemble; l'association classique avec la callune et le châtaignier est courante et cette opportunité participe à l'approche de la détermination.

- **Le miel.** Le miel de bruyère cendrée est aussi issu du nectar de la fleur. L'aire de récolte concerne aussi les terrains siliceux assez secs, accueillant des formations végétales variées: forêts claires, landes subalpines et maritimes; les principales récoltes s'effectuent en France dans le Nord, le Centre, par exemple le Massif-Central, dans l'Ouest, la Bretagne et la Sologne, très rarement dans l'Est. Le maximum de la floraison a lieu de juillet à septembre mais peut se poursuivre jusqu'en novembre.

- **Ses autres caractéristiques.** La préparation pollinique contient un fort pourcentage des grains tétraédriques de la plante butinée. Les chiffres sont sensiblement identiques à ceux obtenus dans le miel de callune. Leur territoire étant voisin, il n'est pas rare que les miels de bruyère commercialisés soient produits par l'ensemble des deux Éricacées. Ce miel épais est déjà marron à l'état liquide, mais encore plus foncé quand il est cristallisé. Son arôme est prononcé. Sa saveur boisée est légèrement amère. Sa cristallisation est lente et sa granulation est fine. Sa conservation est bonne. Malgré sa densité, son extraction est facile. Il contient moins d'oligoéléments que le miel de callune; néanmoins le silicium, le bore et le baryum lui confèrent des qualités thérapeutiques diurétiques.



Figure 74.
Pollen de romarin.

Figure 75.
Le romarin, *Rosmarinus officinalis* (Lamiacée).



Le miel de romarin

Rosmarin officinal – *Rosmarinus officinalis* Linné – (Lamiacée ou Labiataée)

- **La plante** (fig. 75). Ce petit arbuste, très touffu, peut atteindre 1,50 m de haut et reste vert toute l'année; comme presque toutes les Lamiacées, son odeur aromatique est très caractéristique et stimulante. Les rameaux bruns à tige carrée sont dressés et étalés. Les feuilles sont persistantes, sessiles, linéaires, coriaces, enroulées sur les bords, vert foncé sur le dessus, blanchâtres et duveteuses en dessous. Les fleurs, de blanches à bleu moyen, forment des petites grappes serrées terminales. La corolle bilabée (fig. 76), possède des étamines violettes à style long et saillant propice au butinage. Cette plante produit une huile volatile qui entre dans la composition de l'eau de Cologne et des produits sanitaires; c'est un antiseptique et un insecticide, mais aussi un tonique général, cérébral, digestif, cardiaque, anti-rhumatismal.
- **Le pollen** (fig. 74). Le grain de pollen du romarin est isopolaire, subsphérique à subhexagonal en vue polaire; relativement fragile, il peut se déformer. La taille du grain est importante, autour de 30 μm en vue polaire et entre 35 à 40 μm en vue équatoriale. Les ouvertures sont des sillons au nombre de six; le grain est stéphanocolpé mais les sillons sont inégalement répartis sur l'équateur, deux intervalles étant plus larges que les quatre autres. La largeur des

sillons varie entre 4 et 5 μm et leur profondeur entre 7 et 14 μm ; les bords sont très nets et les extrémités très aiguës. À noter que quelques débris d'exine encombrant la surface des sillons. L'épaisseur des deux enveloppes, ectexine et endexine, est sensiblement la même et l'ensemble ne dépasse pas 2 μm . À la surface de l'ectexine, des columelles constituent un petit réseau régulier dont la taille des mailles avoisine 1 μm . Dans une préparation non acetolysée, il apparaît une intine d'épaisseur variable et un cytoplasme granuleux.

- **Le miel.** L'aire de récolte de ce miel de nectar est celle de tous les taxons aromatiques de la famille des Lamiacées qui renferme les plantes les plus mellifères ; cette dernière est ainsi omniprésente dans les garrigues et les maquis, jusqu'à 1500 m d'altitude et sur tout le pourtour méditerranéen. En témoignent les taux de représentation de chacun des taxons individualisés au sein du flux pollinique de la préparation : Lamiacées entre 50 % et 80 %, suivies par les Fabacées, le pistachier, le myrte, le chêne vert, le ciste, les Éricacées, les Malvacées, et les Rosacées.

- **Ses autres caractéristiques.** La floraison du romarin dure presque tout l'hiver, mais elle s'intensifie réellement dès le début du printemps ; plus la miellée est généreuse et sur une courte période, meilleure est la récolte. La couleur du miel est claire à la récolte quand il est encore liquide, cristallisé il devient blanc irisé de jaune et de gris. Sa cristallisation est fine et rapide. Son arôme est discret et évoque celui de la plante ; sa saveur subtile est cependant intense et persistante. Sa conservation est excellente. Ce miel très délicat, célèbre depuis l'Antiquité romaine et encore durant le Moyen Âge, est toujours très prisé. Il est recommandé en outre aux personnes présentant une déficience des fonctions digestives, hépatiques principalement, étant donné sa richesse en oligoéléments spécifiques (calcium, fer, bore, cuivre).



Figure 76.
Rosmarinus officinalis

FLEURS DES MIELS EN RÉGIONS TROPICALES

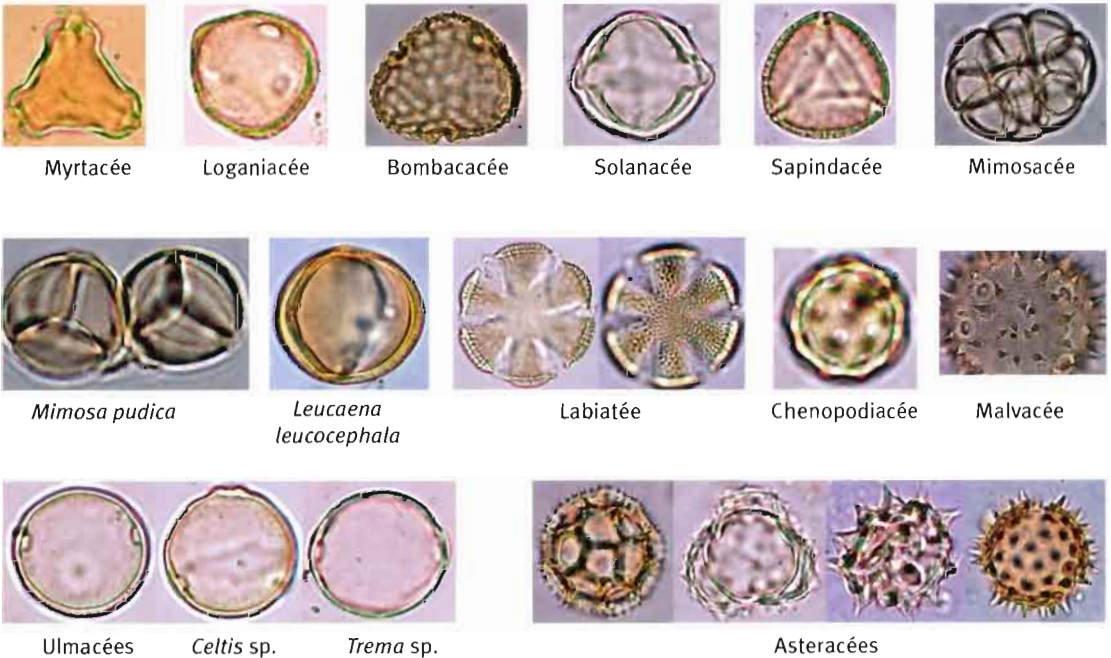
JAVA, PHILIPPINES ET NOUVELLE-CALÉDONIE

Le miel étudié dans les régions tropicales et subtropicales est souvent trouvé dans les pharmacies et drugstores et considéré comme un remède (à Java et aux Philippines). Il renferme un mélange de pollen, “miel toutes fleurs”, contrairement à celui qui est le plus souvent récolté en Europe. On parlera cependant, par exemple, de miel de mangrove, comme aux Philippines et il sera alors associé à cette formation végétale plutôt qu’à un mélange ordinaire de plantes. L’origine du miel et sa nature ne sont pas toujours spécifiées sur le produit.

Miel de Java

La composition de ce miel est caractérisée par sa diversité en pollen sans qu’il y ait recherche d’une origine particulière. Ce produit est apprécié pour ses vertus apaisantes et des lotions sont faites à partir de son parfum, de son goût et de sa pureté. Le miel analysé est garanti être aux “normes américaines”. Un échantillon de miel a été étudié et son contenu pollinique montre en effet un mélange de plantes de la région précisée sur l’étiquette, Surabaya, Java est (fig. 77).

Figure 77.
Contenu pollinique d’un miel toutes fleurs de Java – Nusantara.



Miel des Philippines

Le miel présenté, trouvé dans une grande surface à Manille, a été identifié, dès la première analyse, comme un miel de mangrove avec de nombreux grains de pollen de Rhizophoracées. La description de l'étiquette nous indiquait une région voisine du littoral (fig. 78)

La composition de ce miel, sans prétention d'homologation, a montré sa richesse en différents taxons mais aussi son abondance en pollen de palétuviers (fig. 79).



Figure 78.
Lagune des Philippines.

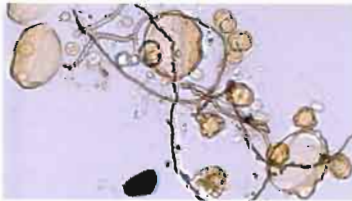


Figure 79.
Contenu pollinique d'un miel des Philippines – Mandaluyong city.

Le contenu pollinique de ce miel montre une abondance en pollen de *Rhizophora* totalement en accord avec la situation géographique du lieu de récolte et la présence de la forêt de mangrove. *Mimosa pudica* (Mimosacée) indique de plus un environnement relativement ouvert. Le miel des Philippines provient d'une zone proche de la capitale. Elle se situe entre la baie de Manille et une lagune anciennement reliée à la mer, *Laguna de Bay*.



Mimosa pudica
Mimosacée

Rhizophora
Rhizophoracée

Figure 80.
Miel de Nouvelle-Calédonie
"Audet 3". Ce miel est amer.
En effet, les Casuarinacées
sont largement
majoritaires dans ce miel
où l'on compte également
quelques Myrtacées.
Cette richesse correspond
vraisemblablement
à une période de floraison
des Casuarinacées
importantes dans le sud de
la Grande Terre.



Miel de Nouvelle-Calédonie

En Nouvelle-Calédonie, le souci des apiculteurs a toujours été de pouvoir classer le miel en fonction de sa richesse en espèces floristiques particulières. Le niaouli, par exemple, plante emblématique (*Melaleuca quinquenervia* – Myrtacée) a suscité de nombreuses études associées à la reconnaissance de ce miel comme étant caractéristique du pays. Plusieurs études d'homologation ont été menées dans ce sens (CNEVA – Sophia Antipolis notamment)

Un rapport présenté en 2009 par la Direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales – Service de l'eau et des statistiques et études rurales, montre l'intérêt porté au domaine de l'apiculture. Les produits de certaines ruches ont mis en évidence, dans un premier temps, la prédominance d'espèces telles que *Mimosa pudica* – Mimosacée, *Casuarina* – Casuarinacée (fig. 80) ou *Baeckea* parmi les Myrtacées.

Quelques exemples sont présentés où nous notons des différences dans le contenu pollinique des miels.

De très nombreux apiculteurs, que nous remercions ici, nous ont permis d'avancer dans un travail d'identification de ce produit tellement apprécié.

FLEURS DES ÎLES, EN MILIEU TROPICAL

Les plantes, leurs particularités, leur héritage, sont autant de notions à reconsidérer si l'on parle des îles.

Les plantes des îles sont une richesse. Dans ce contexte, se développe une biodiversité remarquable mais fragile.

Ces plantes sont uniques, elles ont évolué dans un milieu qui leur convenait, elles sont précieuses et les détruire c'est définitivement les voir disparaître. L'endémisme est un paradoxe. Il est la diversité, il est la fragilité. Les exemples cités dans cet ouvrage concerneront principalement Java, la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie Française avec les îles Marquises

CAS DE L'ENDÉMISME INSULAIRE ET FRAGILITÉ DES ESPÈCES VÉGÉTALES

L'endémisme est le terme employé en écologie pour décrire la tendance des plantes et des animaux à être naturellement confinés dans une région particulière. Il caractérise la présence naturelle d'un groupe biologique exclusivement dans une région géographique délimitée. Une espèce endémique (ou un taxon endémique) l'est obligatoirement par rapport à un territoire nommé. Une espèce endémique est une espèce animale ou végétale dont l'aire de distribution est très restreinte, parce qu'elle est en voie de disparition ou au début de son épanouissement.

Ces différentes définitions mettent en évidence, tant la diversité des espèces que leur fragilité. En effet, inféodées à un milieu très restreint géographiquement, leur destruction est irréversible. Le milieu insulaire est particulièrement propice au développement de plantes endémiques, en raison, principalement, de leur isolement. Les fleurs des îles dépendent de la nature de celles-ci. Il faut distinguer les îles qui furent reliées, un temps, à un continent et les îles volcaniques qui se sont formées spontanément. Les premières, comme la Nouvelle-Calédonie par exemple, possèdent un fonds commun très riche et très ancien avec le continent dont elles se sont détachées. Les formations végétales évoluent ensuite de façons indépendantes et l'on observe l'apparition d'espèces endémiques.

Pour les secondes comme la Polynésie, les plantes voyagent. L'arrivée des espèces a commencé depuis l'émergence des îles polynésiennes les plus anciennes (plus de 6 millions d'années) jusqu'à celle de la plus jeune (30 000 ans) ; la végétation investit des terres nouvellement formées par la voie des eaux (hydrochorie) ou du vent (anémochorie). En effet, certaines graines comme les noix de coco peuvent flotter et germer sur des sols nouveaux. Le vent et les oiseaux (zoochorie) peuvent également transporter des spores, des graines et les déposer sur les îles. Leur peuplement floristique peut se faire grâce "à la vie qui trouve son chemin". Il y a alors sélection car seules les espèces ayant des systèmes de transport performant sont dispersées (fig. 80).



Figure 81.
Adaptation au transport et à la dispersion des plantes.

(Burséracées)

Parc national Yasuni.

A: Roussette rousse *Pteropus ornatus* consommant un gros fruit d'azou.

En Nouvelle-Calédonie, au moins 16 % des arbres de forêt humide ont de gros fruits que seuls le notou et la roussette (voire certains gekkos) consomment, contribuant ainsi à la dispersion de leurs graines.

Protéger ces animaux permet à la forêt de vivre et de survivre.

B: Les grands oiseaux frugivores comme les toucans peuvent se déplacer entre des forêts fragmentées, augmentant les probabilités de dispersion des graines. Ainsi, ils contribuent à maintenir la diversité génétique des plantes.

Dans l'Amazonie équatorienne, l'araçari multibande se nourrit de fruits sur plus de 40 espèces arbustives et disperse 84 % des graines à plus de 100 m des arbres mères. La distance maximale de dispersion mesurée est de 3,5 km.

Dans les débuts de la formation des îles volcaniques, la végétation est donc relativement pauvre mais peuplée d'espèces pandémiques, avant l'intervention des hommes qui apporteront leurs plantes propres. Ici aussi, l'isolement insulaire va favoriser le développement d'espèces endémiques.

Java

L'île de Java, fréquemment reliée au continent sud-est asiatique lors de glaciations successives, montre une végétation très riche et diversifiée à affinités asiatiques. Sa richesse en espèces est considérable. Des formes endémiques ont cependant pu se développer particulièrement dans des zones isolées.

La Nouvelle-Calédonie

Séparée de l'Australie à la fin de l'ère secondaire, la Nouvelle-Calédonie présente une flore composée préférentiellement de plantes de ce continent mais également, dans une certaine mesure, de plantes d'Asie du sud-est par des apports naturels de proche en proche. Actuellement, on compte six grandes associations végétales : la forêt tropicale humide sur les reliefs et la côte est de l'île, la forêt de mangrove, assez dégradée, le maquis sur roches acides, au nord de la Grande terre, peuplé le plus souvent de niaoulis (*Melaleuca quinquenervia* – Myrtacée), le maquis, au sud, sur un sol ultrabasique péridotitique et la forêt sclérophylle, une variante de la forêt humide mais présentant un important déficit hydrique et, enfin, la savane résultant de la destruction des formations primaires précédentes.

Forêt sclérophylle et maquis sur sol ultrabasique sont deux associations végétales très originales et présentent un fort taux d'endémisme. La première,



Figure 82.
Amborella trichopoda
 (Amborellacée).
 A: Plante.
 B: Fleur.
 C: Pollen monoporé.

propre à la Nouvelle-Calédonie est aujourd'hui très dégradée, la seconde se caractérise par la remarquable dépendance édaphique de ses plantes. Cinq familles endémiques étaient présentes sur cette île (Amborellacées, Corynocarpacées, Phellinacées, Strasburgeriacées et Oncothécacées). On les trouve principalement dans les formations primaires de la forêt tropicale. Cette singularité est revue à la baisse et le nombre des familles endémiques ne serait plus que de trois, voire deux. Parmi celles-ci, la famille remarquable des Amborellacées ne présente en fait qu'un seul genre, *Amborella* et une seule espèce pour ce genre, *trichopoda*. *Amborella trichopoda* serait vieille de 135 millions d'années et considérée comme l'ancêtre des angiospermes (fig. 82). La famille des Arecacées, très étudiée en Nouvelle-Calédonie est aussi un bel exemple de la richesse en espèces endémiques de l'île.

La Nouvelle-Calédonie abrite environ 45 % des espèces de la famille des Araucariacées décomptées dans le monde, réparties entre les *Araucaria* (par exemple *Araucaria columnaris*, pin colonaire) et les *Agathis* ("kaoris"). 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 originale, environ 75 à 80 % des espèces, 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* que les analyses polliniques permettent d'identifier. Ils ont modifié cette végétation en introduisant les plantes alimentaires et médicinales traditionnelles qu'ils avaient apportées. Ils ont ensuite aménagé leur espace et progressivement le paysage de la Nouvelle-Calédonie s'est transformé jusqu'à nos jours. On doit noter enfin l'importance de l'hybridation dans la diversification des plantes comme les Cunoniacées.

Certaines plantes, n'ayant pas les mêmes exigences écologiques, peuvent se côtoyer et s'hybrider servant alors d'amorce et de foyer à la biodiversité.

En Polynésie Française, les îles Marquises

On observe un appauvrissement de la richesse végétale d'ouest en est dans le Pacifique: plus de 4 000 espèces en Nouvelle-Calédonie, 900 environ en Polynésie française. L'Archipel des Marquises est le plus isolé au monde, à environ 5 000 km des côtes de l'Amérique centrale et 6 500 km de l'Australie, et celui qui présente le plus important taux d'endémisme. La diversité du relief ainsi que les facteurs climatiques caractérisés par de grandes variations de précipitations annuelles, l'opposition entre des versants au vent et sous le vent et des alizés porteurs de pluies, ont pour conséquence un taux d'endémisme, le plus élevé de tous les archipels, avec 155 espèces endémiques sur un total de 321 espèces indigènes, soit 48 %. On rencontre aux Marquises trois genres endémiques: *Lebronnecia kokioides*, Malvacée monotypique, une Loasacée, *Plakothira*, comprenant trois espèces, et le palmier *Pelagodoxa henryanua* endémique à Nuku Hiva (fig. 83).

Le parallèle établi entre les plantes identifiées dans les miels, plus généralement monofloraux en Europe et multifloraux dans les régions tropicales et les fleurs des îles, met en évidence à la fois la grande diversité du monde végétal dans son ensemble, son caractère endémique et sa constante fragilité. Il souligne enfin la prise de conscience qui doit être la nôtre, face à la préservation de cette richesse de la biodiversité végétale.



Figure 83.
Pelagodoxa henryanua,
(Arécacée), endémique à l'île
de Nuku Hiva (Marquises).
A: Plante.
B: Pollen.

Figure 84.
Hôtel des abeilles (Bietlenheim
– Alsace).



Épilogue

Il n'est pas facile de conclure lorsque l'on s'adresse à la nature.

Nous avons suivi l'évolution, durant des millions d'années, de la vie végétale et animale ; du fond des océans au littoral, jusqu'à la conquête des territoires continentaux, nous avons admiré ses capacités d'adaptation, son étonnante diversité qui n'a d'égal que sa beauté. Néanmoins, nous demeurons soucieuses de son maintien en bonne santé.

La diversité végétale est menacée, mais ne l'a-t-elle pas toujours été ? Nous avons exploité à la fois le sérieux des publications scientifiques spécialisées et les flagrants constats, actualisés au quotidien, par de grands reportages richement illustrés ; ils s'accordent, hélas, pour produire un bilan apparemment alarmant de l'état des lieux. Il s'avère qu'au XXI^e siècle, une nature et une économie en danger, doivent survivre et alimenter près de 7 milliards d'individus. Les causes de la dégradation de la nature sont, nous l'avons vu, multiples : ce sont principalement les changements climatiques qui ont entraîné des réponses brusques, (inondations, sécheresse...), des phénomènes naturels (volcanisme, feux, cyclones, tsunamis, tremblements de terre...), mais aussi, l'arrivée de l'homme sur la planète.

Les facteurs de destruction ont toujours existé : au cours des temps géologiques, cinq grandes crises ont totalement déstabilisé la biodiversité. Cependant, cette dernière a toujours retrouvé un nouvel équilibre à la faveur de la mise en place de nouvelles niches écologiques. L'Homme, quant à lui, est victime, comme les animaux et les plantes, de ces phénomènes perturbateurs. Mais s'il est victime, il est également coupable en ce qu'il accentue les bouleversements naturels. La richesse de la diversité végétale se mesure aisément dans les milieux insulaires car ce sont des systèmes fermés et parce que l'isolement favorise l'endémisme et la spéciation. Ces milieux sont particulièrement riches mais fragiles et dépendent totalement, comme les milieux tempérés, de l'action du climat et de l'homme.

Les changements climatiques interviennent depuis des millions d'années de façon répétitive à la surface de la Terre. L'alternance de périodes glaciaires et de périodes interglaciaires (chaudes) est le résultat des modifications de paramètres orbitaux terrestres qui font varier l'insolation reçue par notre planète et donc son climat. Ces paramètres sont : l'excentricité (degré d'aplatissement) de l'orbite parcourue par la terre autour du soleil (dont le cycle en est de l'ordre de 100 000 ans), la précession des équinoxes ou l'orientation de l'axe de la terre qui détermine les saisons (dont le cycle est de l'ordre de 21 000 ans) et l'inclinaison de l'axe terrestre sur le plan de l'écliptique (dont le cycle est d'environ 41 000 ans).

Ces cycles interfèrent et déterminent les variations du climat soumis également au phénomène naturel de "l'effet de serre". *Ce dernier est dû à un*

ensemble de gaz (vapeur d'eau, dioxyde de carbone (CO_2), protoxyde d'azote (N_2O), méthane (CH_4) et ozone (O_3) qui constitue l'atmosphère traversée par le rayonnement du soleil. C'est la chaleur piégée entre l'atmosphère et le sol qui participe au réchauffement périodique terrestre. Tant qu'il est naturel, ce phénomène est indispensable à la survie de la Terre qui, sans lui, deviendrait une planète glacée totalement inhospitalière. Depuis le début des glaciations quaternaires, il y a environ 2,6 millions d'années, ces alternances de périodes froides et chaudes sont bien étudiées et depuis la base de l'Holocène, il y a quelque 10 000 ans, nous sommes entrés dans une période de réchauffement naturelle mise en évidence par plusieurs méthodes physico-chimiques et la multiplicité des diagrammes polliniques.

À partir du XX^e siècle, plus précisément au début des années cinquante, le phénomène bénéfique de l'effet de serre se précipite et s'intensifie ; il est biaisé par l'accumulation des gaz dont le taux augmente dangereusement par l'arrivée des rejets de l'industrialisation qui a fait sa révolution dès le XVIII^e siècle, avec un usage incontrôlé des sources d'énergie fossile (75 % des émissions de CO_2 sont alors d'origine anthropique). Les engrais azotés utilisés désormais par l'agriculture participent à l'augmentation de la concentration du protoxyde d'azote ; il s'y ajoute le dégagement du méthane issu, entre autres, de la fermentation des milieux soudainement inondés et de la digestion des ruminants !

Les conséquences du réchauffement climatique actuel sont multiples : fonte de la calotte glaciaire aux deux pôles, reculs des glaciers montagnards, avalanches de glace et de roches, montée des eaux des rivières et des océans entraînant le recul des zones continentales littorales, menaces de voir disparaître certaines îles ou atolls de très basse altitude. Il faut ajouter que les surfaces d'eau et de terre, débarrassées de leur manteau de glace et de neige, absorbent d'avantage de radiations solaires intensifiant le réchauffement, de même que la vapeur d'eau issue de l'évaporation rejoint le cortège des gaz à effet de serre. Le déplacement des biotopes entraîne la migration des faunes de l'Antarctique et de l'Arctique et de toutes les espèces continentales, animales mais aussi végétales, avant leur disparition. Toutes ces conséquences, actuellement mal maîtrisées, deviennent dangereuses et l'homme, même si son apport à ce grave problème n'est pas si considérable en soi, ajoute peut-être la petite goutte qui fait déborder le vase. Toutefois les ressources naturelles s'épuisent, massivement exploitées, ce qui devrait encourager à long terme la mise en œuvre de productions d'énergies renouvelables.

Enfin, nous avons maintes fois insisté sur toutes les sortes de polluants, utilisés sans ménagement, à des fins de rendement économique et de profit et par conséquent sur les menaces qui pèsent sur la faune, les insectes pollinisateurs, en particulier les colonies d'abeilles et sur la flore, dont le précieux pollen. La pollinisation détient, en effet, un rôle essentiel dans le développement de la diversité par l'intermédiaire de certains de ces derniers vecteurs. Il est donc capital de sauvegarder ces fidèles associés qui nous apportent beaucoup plus que du miel.

Si la biodiversité végétale est menacée, elle n'est cependant pas encore condamnée. Certaines actions qui apparaissent comme des dégradations

(culture intensive, défrichage, voire déboisement), peuvent être la source de nouveaux équilibres et d'une diversité différente. Nous vivons peut-être les prémices d'une sixième crise dont nous ne connaissons pas l'issue ; mais nous sommes en droit d'espérer le retour, dans un avenir incertain, d'une nature différente mais toujours diversifiée.

Nous jouons aux apprentis sorciers : jusqu'à quand ?



Glossaire

Angiospermes : Plantes à graines dont l'ovule fécondé par un pollen se transforme en un fruit clos.

Chlorophylle : Pigment des plantes vertes qui permet l'absorption des rayons solaires et assure ainsi la photosynthèse.

Climacique : en équilibre avec les conditions écologiques naturelles, sans intervention de l'homme.

Cotylédon : Feuille initiale de la plantule qui utilise la réserve alimentaire de la graine entourant l'embryon.

Édaphique (du grec *edaphos*, sol) : Relatif au sol.

Endémiques (plantes) : plantes exclusivement retrouvées dans une région géographique délimitée.

Gymnospermes : Plantes à graines dont les ovules sont portés sur des écailles et non dans un fruit clos (graines nues).

Haploïde/diploïde : Qualificatif d'un noyau cellulaire possédant la moitié du nombre de chromosomes de l'œuf fécondé.

Hétérosporie : Certains cryptogames vasculaires comme les fougères aquatiques ou hydroptéridales, les lycopodiées, les psilophylinées, produisent deux catégories de spores, dans les sporanges différents. Les spores de petites tailles (microspores) sont génétiquement mâles, alors que les spores de grande taille (macrospores) sont génétiquement femelles.

Hominidé : Primate fossile appartenant à la même famille que l'homme actuel. (ou Homininé selon les auteurs).

Mellifères (plantes) : plantes produisant du nectar et dont le développement et le transport du pollen dépendent de l'action du butinage des abeilles

Niche écologique : Place occupée par une espèce végétale, dans des conditions climatiques et environnementales qui lui sont favorables.

Orogenèse : Ensemble des processus géodynamiques par lesquels se constituent les chaînes de montagnes.

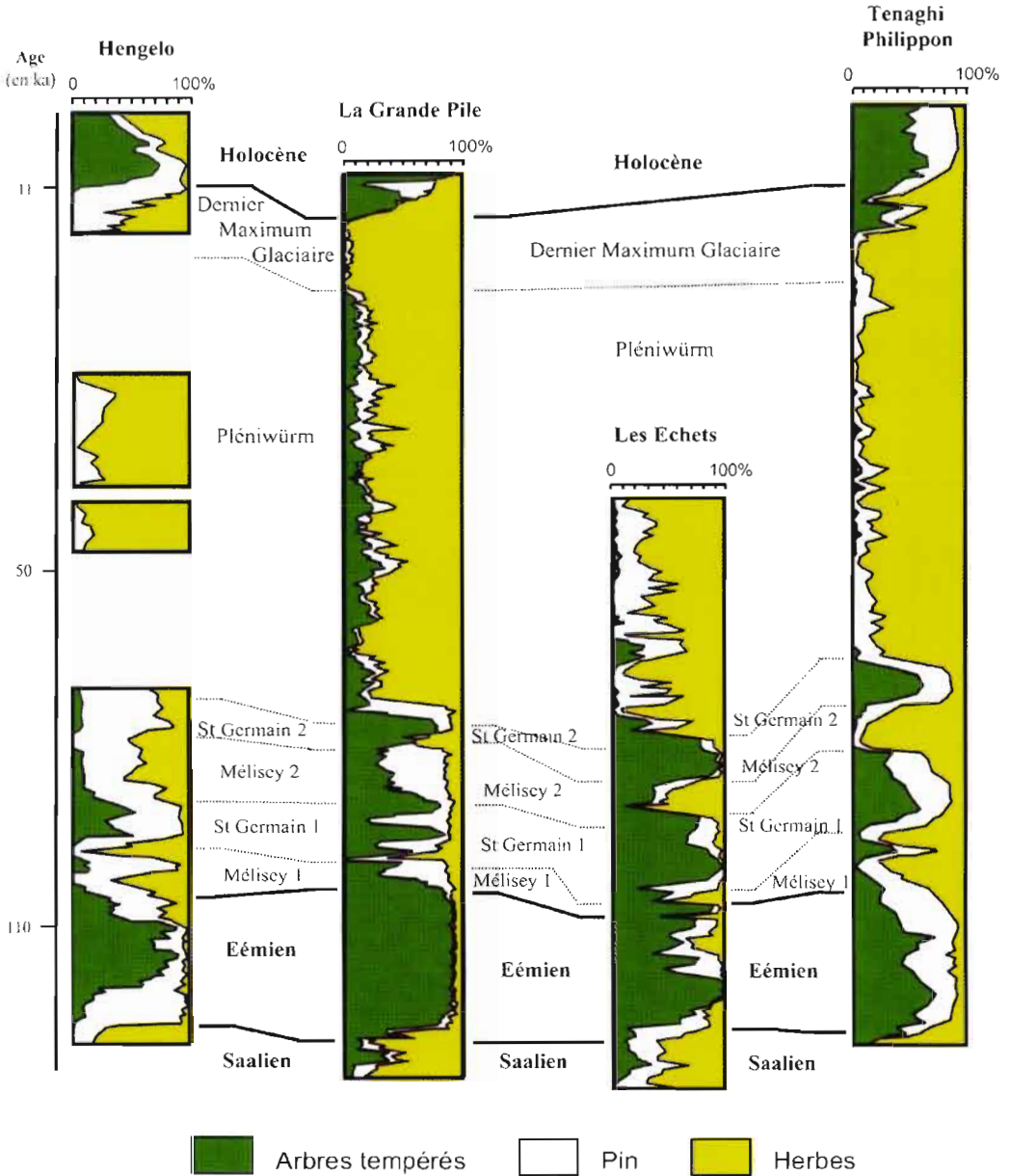
Photosynthèse: Assimilation chlorophyllienne sous l'action de l'énergie solaire.

Quaternaire (ère): Dernière époque des cinq grandes divisions de l'histoire de la Terre.

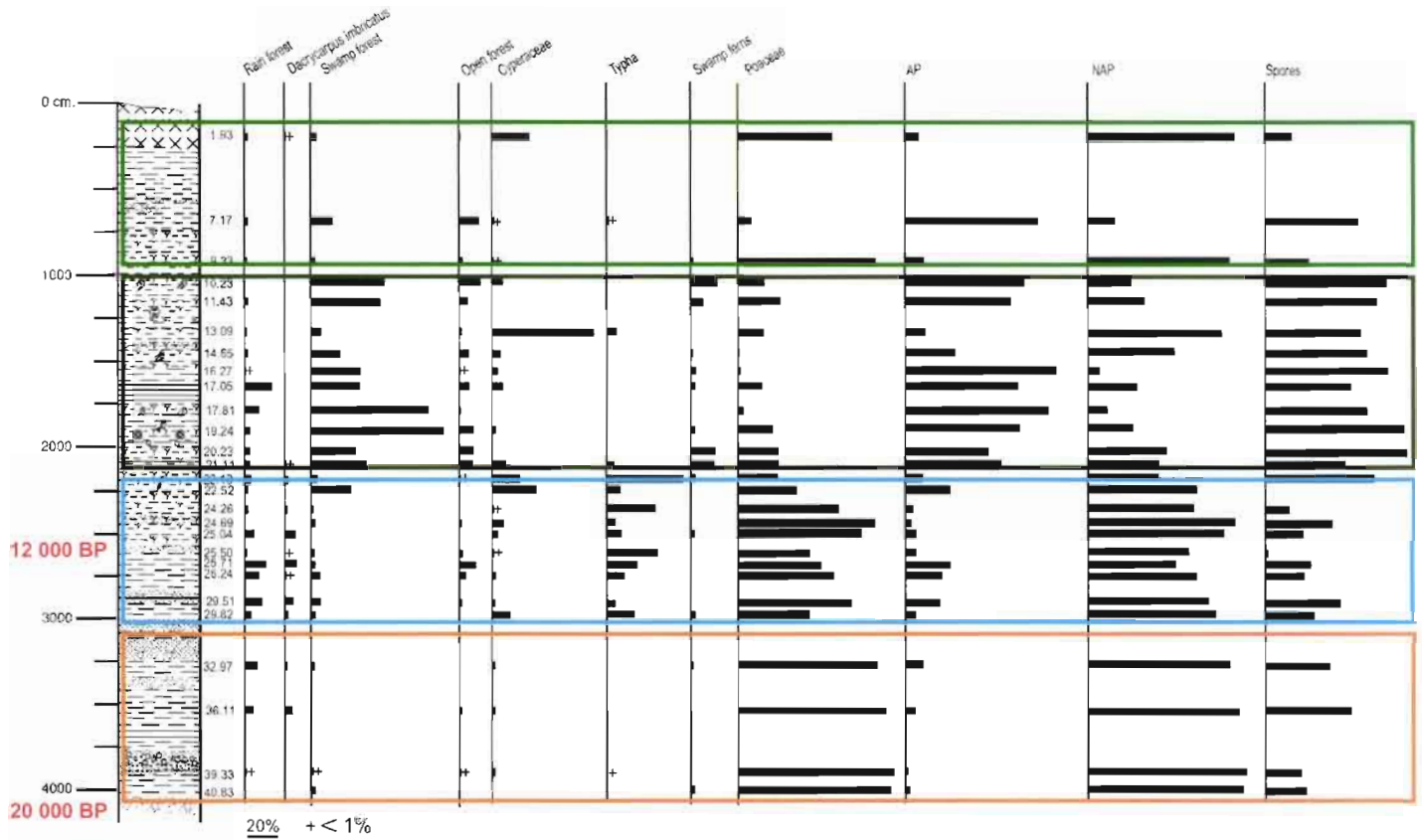
Transgression-régression : Une transgression est une lente avancée des eaux marines et océaniques qui entraîne une remontée des niveaux littoraux, en rapport avec la fonte des glaciers inféodée à un réchauffement climatique. La régression est le phénomène inverse qui correspond à un intense et rapide refroidissement du climat. Transgression et régression peuvent avoir une origine tectonique.

Annexes

Reconstitutions paléoclimatiques et comparaison de quatre sites européens depuis le stade 5 (environ 125 000 BP).



Ambarawa Bassin – Java Central



Zone de Poaceae
Végétation ouverte
Climat frais et sec

Zone de Typhaceae et Cyperaceae
Mise en place du marécage
Climat plus humide

Développement de la forêt marécageuse
Fermeture du marécage
Climat humide et chaud

Anthropisation du paysage

Reconstitution paléo-environnementale et paléoclimatique – Bassin d'Ambarawa – Java Central

Bibliographie

Chapitre I

ACADÉMIE DES SCIENCES. Conférence-débat, 9 février 2010 – *La biodiversité face aux activités humaines*. Académie des Sciences. Institut de France. Résumés, 14 p.

AUBERT S., 2008 – “Les adaptations au froid”. In : *Aux origines des plantes. Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*. Dir. F. HALLÉ. Fayard, 298-307.

BACKER C.A. et BAKHUIZEN VAN DEN BRINK R.C., 1965 – *Flora of Java*. Rijkherbarium, Leyden, vol. II, 641 p.

BERTHET P., 2008 – “Les adaptations à la sécheresse” – In : *Aux origines des plantes. Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*. Dir. F. HALLÉ. Fayard, 308-317.

BERTHET P., 2008 – “Les adaptations à la vie aquatique”. In : *Aux origines des plantes. Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*. Dir. F. HALLÉ. Fayard, 352-363.

BLAMEY M., GREY-WILSON C., 2000 – *La Flore d'Europe occidentale* (plus de 2 400 plantes décrites et illustrées en couleurs). Arthaud, 544 p.

BONNIER G., 1934 – *Flore complète*, illustrée en couleurs, de France, Suisse et Belgique : XII tomes, 120 fascicules, 721 planches (achevée par Robert Douin). Ouvrage publié sous les auspices du Ministère de l'Éducation Nationale. Paris. Librairie Générale de l'Enseignement.

BROUTIN J., 2000 – “Quelques grandes étapes évolutives des végétaux”. In *De la graine à la plante* – Dossier pour la Science – Hors-série : janvier 2000, 16-21.

BROUTIN J., RICQLÈS de A., 2007 – “Paléobotanique et évolution du monde végétal : quelques problèmes d'actualité (Avant-propos)”. *C.R. Palévol*, tome VI, fascicule VI-7, 369-373.

CHATEAUNEUF J.-J., 1980 – *Palynostratigraphie et Paléoclimatologie de l'Éocène supérieur et de l'Oligocène du Bassin de Paris*. Thèse de Doctorat d'État – Université Paris VI. Mémoires du BRGM, n° 116, 360 p.

COPPENS Y., PADIAN K., RICQLÈS de A., TAQUET P., 2009 – “Histoire évolutive de la vie (Avant-propos)”. *C. R. Palévol*, tome VIII, fascicule II-3, 99-103.

CORSIN P. et CORSIN Paule, 1970 – *Un siècle et demi de Paléobotanique dans le Nord de la France*. Annales de la Société Géologique du Nord, XC, 4 (pl. XIX à XXVII), 223-252.

CORSIN Paule, 1971 – *Flore universelle* : cinquième volume de la collection “La grande encyclopédie de la nature”. Éditions Rencontre, Lausanne, 383 p.

DURAND A. et PIERREL R., 2006 (Textes réunis par) – *La biodiversité végétale. Des plantes pour l'avenir*. Actes du Colloque de Troyes (novembre 2003). Éditeur : Association Française pour la Conservation des Espèces Végétales, 13-26.

HALLÉ F. (Direction), 2008 – *Aux origines des plantes. Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*. Fayard, 675 p.

HOCHULI P.A. et FEIST-BURKHARDT S., 2013 – Angiosperm-like pollen and *Afrapollis* from the Middle Triassic (Anisian) of the Germanic Basin (Northern Switzerland). *Frontiers in PLANT SCIENCE*, vol. 4, 34, 1-14.

LETHIERS F., 1998 – *Évolution de la biosphère et événements géologiques*. Gordon and Breach Publishers, 321 p.

MAZLIAK P., 2009 – *L'évaluation chez les végétaux. Des bactéries aux arbres et aux plantes à fleurs*. Collection “Inflexions” (Dir : Jean ROSMOROUX). Vuibert - Adapt - Snes, 360 p.

OTTINO P. et BERGH-OTTINO M.-N., 1991 – *Hiva Oa : images d'une mémoire océanienne*. Papeete : Centre polynésien des Sciences humaines, 46 p.

OZENDA P., 2000 – *Les végétaux. Organisation et diversité biologique*. 2^e édition, Dunod, 516 p.

PUIG H., 2001 – *La forêt tropicale humide*. Collection botanique, Belin, 448 p.

RAYNAL-ROQUES A., 1994. *La botanique redécouverte*. Belin, 512 p.

SÉMAH A.-M. et RENAULT-MISKOVSKY J., 2004 – *L'évolution de la végétation depuis deux millions d'années. Guides de la Préhistoire Mondiale. Paléoenvironnements*. Éditions Artcom' / Errance, 315 p.

Chapitre II

BONNEFILLE R., RIOLLET G., 1980 – *Pollens des savanes et d'Afrique orientale*. Éditions du CNRS, 140 p.

ERDTMAN G., 1943 – *An Introduction to Pollen Analysis*. Verdoorn, New Ser. Pl. Sci. Books 12. Waltham, Massachusetts, U.S.A., 239 p.

ERDTMAN G., 1952 – *Pollen morphology and Plant Taxonomy, Angiosperms*. Almqvist et Wiksell, Stockholm, 539 p.

FÆGRI K. et IVERSEN J., 1964 – *Text Book of Pollen Analysis*. (second, revised edition). (with a chapter on Pre-Quaternary pollen analysis by WATERBOLK H.T.). Munksgaard. International Booksellers and Publishers Limited, Copenhagen Denmark, 237 p.

FÆGRI K. et VAN DER PIJL, 1971 – *The principles of pollinisation ecology*. Second revised edition. Pergamon Press, 291 p.

LEZINE A.-M., 2008 – *Le Pollen. Outil d'étude de l'environnement et du climat quaternaire*. Vuibert, 128 p.

POKROVSKAIA I.M., 1950-1958 – *Analyse pollinique* – (Traduction : E. BOLTENHAGEN). Annales du service d'information géologique du B.R.G.M., N° 24, 435 p.

PONS A., 1958 – *Le Pollen*. “Que sais-je?”. Le point des connaissances actuelles. N° 783. Presses Universitaires de France. Paris, 126 p.

PUNT W., HOEN P. P., BLACKMORE S., NILSSON S., LE THOMAS A., 2007 – Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143, p. 1-81.

REILLE M., 1992 – *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Louis-Jean Édition, Gap, 520 p.

RENAULT-MISKOVSKY J., PETZOLD M., 1992 – *Spores et Pollen*. Édition Delachaux et Niestlé, 360 p.

VAN CAMPO M., 1954 – Considérations générales sur les caractères des pollens et des spores et sur leur diagnose. *Bulletin de la Société botanique de France*, t. 101, p. 250-281.

WOODHOUSE R., 1935 – *Pollen grains. Their structure, identification and significance in science and medicine*. Mc Graw Hill Book Company, 574 p.

Chapitre III

BONIMOND J.-P. (responsable de la publication), 1983 – *La fleur et l'abeille* (conception : J.-P. BONIMOND – maquette : N. NOAOUR – photo couleur : M. MARY). Éditeur : Union Nationale de l'Apiculture française, 144 p.

CHAUVIN R., 1968 – *Traité de biologie de l'abeille*. Cinq volumes, Masson, Paris.

DONADIEU Y., 1983 – “Le Pollen”. In *Les thérapeutiques naturelles*. 6^e édition, revue et complétée – Maloine SA éditeur, Paris, 95 p.

FAUCON J.-P., 1992 – *Précis de pathologie : connaître et traiter les maladies des abeilles*. CNEVA – FNOSAD, éditions, 512 p.

FAUCON J.-P., 1996 – *La question sanitaire. Connaissances pour la qualité des colonies*. CNEVA – FNOSAD, éditions, 82 p.

FAURE R., 1979 – *Atlas anatomique de l'abeille*, UNAF (Revue), 51 p.

FAURE R., 1982 – Apport de la microscopie électronique à balayage dans l'étude de quelques particularités morphologiques de l'abeille domestique. “*Le point vétérinaire*”, novembre 1982, 10 p.

FRASER H. MALCOLM, 1931/1951 – *Beekeeping in Antiquity*. University of London Press, London, 145 p.

FRESNAYE J., 1974/1981 – *Biométrie de l'abeille*. Bures-sur-Yvette ; OPIDA-INRA, 56 p.

HERNANDEZ PACHECO E., 1959 – Prehistoria del Solar Hispanico, Madrid, p. 341-484 y 518-531. In : BELTRAN MARTINEZ A., 1968 – *Arte rupestre levantino*. Monografias arqueologicas, Zaragoza, 258 p.

HESS G., 2012 – *Les abeilles*. Petits atlas Payot Lausanne, n° 78. Éditions Payot Lausanne, 77 p.

LOUVEAUX J., 1980 – *Les abeilles et leur élevage*. Éditions Hachette, 265 p.

MARCHENAY Ph., 1979 – *L'homme et l'abeille* (Préface Rémy Chauvin). Espace des hommes. Berger-Levrault, 213 p.

MARCHENAY Ph. et BÉRARD L., 2007 – *L'homme, l'abeille et le miel*. Édition De Borée, 223 p.

MURNANE W. J., 1983 – *The Penguin Guide to Ancient Egypt*, London.

MUSÉE NATIONAL DES ARTS ET TRADITIONS POPULAIRES, 1981-1982 – *L'abeille, l'homme, le miel et la cire*. Ministère de la Culture. Éditions de la Réunion des musées nationaux. Paris, 231 p. (16 diapositives).

NIGELLE E., 1968 – *Pouvoirs merveilleux du pollen*. La diffusion nouvelle du livre, 88 p.

TARDIEU V., 2010 – *L'étrange silence des ABEILLES. Enquête sur un déclin inquiétant*. Belin. Pour la science, 352 p.

Chapitre IV

Direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales, 2009 – *L'apiculture en Nouvelle-Calédonie, résultats de l'enquête 2008*, rapport, 34 p.

Atlas de la Nouvelle-Calédonie et dépendances, 1981 – ORSTOM, synthèse des données physiques, économiques et humaines disponibles sur la Nouvelle-Calédonie et environnement régional du sud du Pacifique.

Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1989. Éditeurs du Cagou, Hachette Calédonie, 91 p.

CABIOCH G., WIRRMANN D., SÉMAH A.-M., CORREGÉ T. & Le CORNEC F., 2008. Évolution des paléoenvironnements dans le Pacifique lors de la dernière déglaciation : exemples en Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu. *Journal de la Société des Océanistes*, 126-127, p. 25-40.

CLÉMENT H., 2002 – *Guide des miels. 40 miels à découvrir* (Préface : Jean-Marie Pelt). Rustica éditions. 64 p.

DEFER J. & SUC J.-P., 2003 – *L'outil palynologique*. Apbg, 200 p.

FEHLMANN C., 1911 – Beiträge zur mikroskopischen Untersuchung des Honigs. *Mitt. Schweiz. Gesandamtes*. Bern, 2, p. 179-221.

FLORENCE J. & LORENCE D. L., 1997 – “Introduction in the flora and the vegetation of the Marquesas Islands”. *Allertonia* 7, 226-237.

GOÛT J., 1991 – *Le miel et les hommes*. Édition Gérard Klopp. 249 p.

HALLÉ F., 2008 – *Aux origines des plantes*, tome I. *Des plantes anciennes à la botanique du XX^e siècle*. Éditions Fayard.

JAFFRÉ T., 1980 – *Étude écologique du peuplement végétal des sols dérivés de roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie*, travaux et documents de l'ORSTOM n° 124, 273 p.

JAFFRÉ T., MORAT P., VEILLON J.-M., RIGAUT F. & DAGOSTINI G., 2001 – *Composition et caractéristiques de la flore indigène de Nouvelle-Calédonie*. Documents scientifiques et techniques de l'IRD, 114, 139 p.

BIBLIOGRAPHIE

MARCHENAY Ph., 1991 – *De l'histoire à la table. Le miel*. Éditions Messidor, 141 p.

MAURIZIO A., LOUVEAUX J., 1965 – *Pollens de plantes mellifères d'Europe*. Union des groupements apicoles français, 148 p.

PERRIER-ROBERT A., 2000 – *Le Miel. Les carnets gourmands*. Éditions du Chêne, 128 p.

PFISTER R., 1895 – *Versuch einer Mikroskopie des Honigs*. Forschungsber. Lebensmitt. Bez. Hyg. für Chem. Pharm. München, 2.

PINTAUD J.-C., JAFFRÉ T. & PUIG H. 2001 – *Chorology of New Caledonian palms and possible evidence of Pleistocene rain forest refugia*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Sciences de la Vie 324 : 453-463.

PINTAUD J.-C. & JAFFRÉ T., 2002 – *Patterns of diversity and endemism of palms on ultramafic rocks in New Caledonia*. Proceedings of the Third International Symposium on Serpentine Ecology. *South African Journal of Science* 97 : 548-550.

PILLON Y. & MUNZINGER J., 2009 – *Préserver l'évolution naturelle : un enjeu pour la biodiversité calédonienne*. Actualité scientifique de l'IRD, fiche 327.

RENAULT-MISKOVSKY J., PETZOLD M., 1992 – *Spores et Pollen*. Delachaux et Niestlé. 360 p.

SÉMAH A.-M., 2003 – "Exemples d'endémisme et de diversité dans la flore pollinique d'îles du Pacifique". In : *Archéologie en Océanie insulaire. Peuplement, sociétés et paysages*, sous la direction de C. Orliac, Ed. ARTCOM', p.113-129.

YOUNG W. J., 1908 – *A microscopical study of honey pollen*. U.S. Dep. Agr. Bull. Chem., 110.

ZANDER E., 1932 – *Untersuchungen über die geformten Bestandteile des Honigs*. Z. Unters. Lebensm., vol. 63, p. 313.

Remerciements

La réalisation de cet ouvrage a été facilitée par l'amabilité et la générosité de nombreux collègues, amis et spécialistes qui ont mis à notre disposition les éléments de leurs travaux respectifs, leurs compétences, voire leur talent.

Nous exprimons d'emblée notre reconnaissance aux responsables des différents organismes pluridisciplinaires de : L'IRD (Institut de recherche pour le Développement) et en particulier la base de données photographique *Indigo* ; L'IPH (Institut de Paléontologie Humaine), *Fondation scientifique Albert 1^{er}, Prince de Monaco* – MNHN et CNRS ; Le directeur de l'Institut, président de la Fondation, le professeur Henry de Lumley, le Professeur François Sémah (géologie), le Professeur Denis Vialou (préhistoire), et Christophe Falguères, (géochronologie), directeur de recherche au CNRS et de l'UMR 7194, qui nous ont permis d'utiliser les différents pôles scientifiques et les infrastructures du département de préhistoire.

Nous avons apprécié la convivialité et l'aide à la dactylographie, l'informatique et la logistique de : Michelle Dacier, Christiane Dérouillat (IPH – MNHN), Nathalie Desjobert (MNHN), Nadia Gerrouache (IPH – MNHN), Françoise Hildisey (IPH, honoraire).

Nous sommes également reconnaissantes à Anne-Sophie Lartigot-Campin – (palylogue, ingénieur des collectivités territoriales du Centre de recherche de Tautavel), Wilfried Gourdon – doctorant au MNHN, Erwan Messenger – palylogue au CNRS, Pierre Voisin – retraité généraliste et amateur au long cours (Nouméa), Denis Wirrmann – sédimentologue à l'IRD, pour leur concours scientifique et iconographique.

Nous remercions aussi l'équipe botanique et les responsables de l'herbier de l'IRD de Nouméa, Chanel Sam, responsable de l'herbier de Port Vila – Vanuatu, le docteur Sylvie Delaunay, allergologue au service de pneumatologie de l'hôpital Gaston Bourret de Nouméa.

Une grande partie de l'iconographie rassemblée dans cet ouvrage a bénéficié de la participation bénévole de plusieurs talentueux illustrateurs : Paule Corsin, professeur à l'université des sciences et des techniques de Lille, nous a cordialement autorisées à reproduire ses reconstitutions de paysages et les empreintes des végétaux recueillis dans les bassins houillers du nord de la France ; René Faure, ingénieur-chercheur en Physicochimie à l'Institut national polytechnique de Grenoble, nous a confié l'ensemble de ses clichés des différentes pièces anatomiques de l'abeille, réalisé au microscope électronique à balayage ; Pierre et Christine Déom ont également participé à la présentation de l'anatomie de l'abeille, avec leur fabuleux schéma, publié dans un numéro de *La Hulotte* ; Jean Haxaire, entomologiste au MNHN, nous a fait parvenir un cliché évocateur du redoutable frelon asiatique ; Aline Emery-Barbier, professeur honoraire de sciences naturelles au lycée Jacques Amyot à Auxerre, nous a fait découvrir des représentations d'abeilles parmi les plus anciens hiéroglyphes de différentes dynasties.

Nos collègues naturalistes n'ont pas ménagé leurs efforts pour nous faire partager le produit de leur chasse aux images : Michel Girard, palylogue, Ingénieur de recherche au CNRS, honoraire : images de grains de pollen, de taxons botaniques actuels et de

relictés du tertiaire ; Michel Petzold, ingénieur d'études universitaire honoraire et illustrateur scientifique : images de nombreux taxons végétaux européens actuels et d'insectes butineurs ; Jacques Nougier, géologue, professeur universitaire honoraire, grand voyageur : images des paysages visités à travers toute l'Europe ; Jean-Paul Mugnier, aviation civile de Nouméa, pour ses remarquables images vues du ciel.

Les apiculteurs professionnels et amateurs, dont certains membres de la S.C.A. (Société Centrale d'Apiculture).

À Nouméa : André Baudin qui travaillait à l'AICA (Centre de promotion de l'apiculture, situé à Boghen, près de Bourail) ainsi que de nombreux apiculteurs qui ont eu la gentillesse de nous confier leurs miels à analyser (Virginie Babel, Bernard Bizouard, John Daniel, Marie et Luc Delplace, Patrick Leblanc, Stéphane Leclercq, Serge Pierre, Annie Potie, Jules Usike, Christian Wedekin).

En France : Maurice Mary, apiculteur professionnel, "l'ami des abeilles", domaine apicole de Chezelles : enquête de butinages ; Guy Duseval, apiculteur amateur, trésorier de la S.C.A. : images d'abeilles et de leur butinage ; Michel Ricard, ex-président de la S.C.A., nous a apporté son concours à l'information, à la relecture et à l'iconographie (syndrome d'effondrement des colonies) ; Christine Pulliat, secrétaire de la S.C.A., auteur des clichés des ruchers slovènes, nous a fait partager ses connaissances bibliographiques apicoles ; ainsi que Elise Reignoux, jeune étudiante qui nous a ouvert la porte du rucher Bel-Air à Saint-Gaultier.

La Société Géologique de France (responsable : Françoise Rangin) et la carte géologique du Monde (président : Philippe Rossi, secrétaire : Manuel Pubellier), distributeurs officiels de la charte stratigraphique internationale (des étages marins), modifiée en 2008, qu'ils nous ont autorisées à l'utiliser.

Les Éditions Fayard, Philippe Guerrienne : reproduction des psilophytes.

Nous avons par ailleurs été très sensibles à l'aide efficace aux ultimes relectures et corrections d'Isabelle Miskovsky, documentaliste.

Nous les remercions tous chaleureusement.

Bnf : 104

Collection paléobotanique UPMC, Paris VI : 55

DAO Alice Redou et Anne-Marie Sémah d'après Mazliak, 2009 : 64-65 ; 67

P. Déom – La Hulotte n° 28/29 : 93

Droits réservés : 74 ; 78bg ; 115bg

Guy Duseval : 90-91 ; quatrième de couverture

Erdtman : 75

R. Faure : 95-96

Michel Girard et Bui Thi Mai : 8-9 ; 12-13 ; 39-40 ; 42 ; 44 ; 60 ; 62 ; 70-71 ; 82hd ; 87 ; 130g ; 131d ; 133d ; 134hg ; 137d ; 138

J. Haxaire : 103

© IRD - Olivier Barrière : 110g

© IRD - Raphaël Colombo : 143g

© IRD - Olivier Dangles et François Nowicki : 143d

© IRD - Henri Guillaume : 110d

© IRD - Jean-Luc Le Pennec : 51bd

© IRD - Yohan Pillon : 124-125 ; 144g ; 144hd

A.-S. Lartigot-Campin et A. Redou : 20-21

N. Leen et A. Novick (Édita) : 82md

P. Marchenay, 1979 : 98

M. Mary : 85 ; 99 ; 127 ; 134b

E. Messenger : 35

Jean-Paul Mugnier : 52bg

J. Nougier : 24b ; 25-32 ; 33h ; 34 ; 41

Palynothèque MNHN, J. Renault-Miskovsky : 130d ; 131g ; 133g ; 134hd ; 136d ; 137g

M. Petzold : 16-19 ; 22-23 ; 24h ; 81 ; 82hg ; 83 ; 102 ; 115h ; 123 ; 136g ; 149

Prouvost, in P. et P. Corsin, 1970 © Musée d'Histoire naturelle de Lille : 56 ; 57 ; 58

C. Pulliat : 116

E. Reignoux : 114g

J. Renault-Miskovsky : 33b ; 114hd

M. Ricard : 114bd

C. P. Sastre : 82mg

A.-M. Sémah : première de couverture ; 45-49 ; 51h ; 51bg ; 52h ; 52m ; 52bd ; 53 ; 73 ; 76 ; 78h ; 78bd ; 79-80 ; 82bd ; 84 ; 115bd ; 120 ; 139-141 ; 144bd ; 145 ; 153

A.-M. Sémah et A. Redou d'après Mazliak, 2009 : 64 - 65 ; 67

A.-M. Sémah et J. Renault-Miskovsky : 77

Société Centrale d'Apiculture : 113

J.-P. Suc, in L'outil palynologique - Apbg ; J. Defer et J.-P. Suc, 2003 : 152

Valencia, museum of prehistory. © akg-images/Album/Oronoz : 111

A. Wegener, in Spores et pollen (J. Renault-Miskovsky et M. Petzold) : 50

www.swienty.com : 101

Achevé d'imprimer en mars 2015 par l'imprimerie SEPEC à Peronnas
Dépôt légal: avril 2015
N° d'impression : 07694140306
Édition Errance
ISBN : 978-2-87772-533-0

éditions Errance
47, rue du docteur Fanton
13200 Arles



10-31-1470 / Certifié PEFC / Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées. / pefc-france.org

LA BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE MENACÉE

Le pollen en témoin

NON, CE CI N'EST PAS UN OUVRAGE CATASTROPHISTE DE PLUS,
C'EST UNE INTERROGATION... NATURELLE.

Il faut savoir observer et admirer la beauté et la richesse de la végétation qui règne encore sur notre planète.

C'est une invitation au voyage que nous vous proposons à travers l'Europe et jusqu'aux confins de l'Asie et du Pacifique insulaires. Nous y prenons conscience de la diversité des paysages et des différents biotopes.

Le réchauffement climatique actuel ainsi que l'effet de serre, qui sont au départ des phénomènes naturels, se voient cruellement accentués par les conséquences inévitables de l'industrialisation qui, de plus, développe des produits nocifs pour la faune comme pour la flore.

Que sera le devenir de la biodiversité, tant animale que végétale ?

L'interaction entre le pollen, les pollinisateurs et l'homme est capitale ; elle passe par la survie des abeilles, leur capacité à produire encore du miel et à permettre la pollinisation des fleurs, la production des fruits.

La perte d'espèces emblématiques comme les plantes mellifères, endémiques et insulaires, mais aussi la perte des informations génétiques contenues dans ces espèces en voie d'extinction, pourraient rendre irréversible l'appauvrissement de la biodiversité.

Protéger la biodiversité, c'est vouloir assurer le maintien d'un potentiel évolutif dans le contexte du changement actuel et de l'inconnu vers lequel nous allons. Nous sommes au cœur de la nature, elle nous réserve encore des surprises si nous savons la ménager.

"Le plus grand ouvrier de la nature est le temps."

Georges-Louis Leclerc de Buffon, 1756

Anne-Marie Sémah est directrice de recherche à l'IRD et Josette Renault-Miskovsky, directrice de recherche honoraire au CNRS.

Toutes deux sont palynologues, et respectivement spécialistes de l'Asie/Pacifique et de l'Europe méditerranéenne. Elles enseignent au Muséum national d'histoire naturelle dans le cadre du Master : "Évolution, Patrimoine naturel et Sociétés" – Spécialité Quaternaire et Préhistoire – Paléoenvironnements, lignée humaine, histoire des Sociétés.

En 2004, elles ont déjà publié aux éditions Errance-Artcom *L'Évolution de la végétation depuis deux millions d'années*.



32 € TTC France
Dép. lég. : avril 2015
Éditions Errance
ISBN : 978-2-87772-533-0



9 782877 725330