



Serge Hamon

L'odyssée

des **plantes**
sauvages et cultivées



Révolutions d'hier
et défis de demain

éditions
Quæ


Éditions

L'odyssée des plantes sauvages et cultivées

Révolutions d'hier
et défis de demain

Serge Hamon

L'odyssée des plantes sauvages et cultivées

**Révolutions d'hier
et défis de demain**

*Cet ouvrage a bénéficié du soutien
de l'Agence universitaire de la Francophonie
et de Agropolis Fondation*

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Éditions Quae

CIRAD, IFREMER, INRA, IRSTEA

Collection Référence

Marseille, Versailles, 2018

Coordination et préparation éditoriale

Catherine Guedj, Sylvie Hart

Coordination iconographique

Michelle Saint-Léger

Mise en page

Aline Lugand – Gris Souris (30)

Correction

Stéphanie Quillon (34)

Photogravure

Desk (53)

Maquette de couverture

Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure

Catherine Guedj

Photos de couverture

1^{re} de couverture (de haut en bas) :

© IRD/S. Hamon – Insecte pollinisateur (France)

© IRD/J.-L. Duprey – Cabosses de cacao (Inde)

4^e de couverture (de haut en bas) :

© Inra/G. Louviot – Coquelicots en bordure de champ d'orge d'hiver (France)

© IRD/S. Hamon – Pétunias (France)

© IRD/S. Hamon – Jardin potager du château de Villandry (France)

© IRD/E. Couturon – Fleur de caféier (*Coffea costatifructa*), La Réunion

Les photos de couverture, ainsi que de nombreuses photos intérieures, sont extraites de la banque d'images Indigo (IRD).

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD/Quae, 2018

ISBN IRD : 978-2-7099-2203-6

ISBN Quae : 978-2-7592-2923-9

Sommaire

Préambule	6
Préface	9
Avant-propos	11
Introduction	12

Partie 1

De l'apparition des plantes à la naissance de la génétique	15
---	-----------

Chapitre 1 L'évolution des plantes avant l'arrivée de l'homme	17
Chapitre 2 La grande bataille coévolutive	39
Chapitre 3 L'homme et les domestications	67
Chapitre 4 L'émergence des agricultures	101
Chapitre 5 Une révolution agronomique et conceptuelle	121

Partie 2

De la sélection variétale au concept d'agrobiodiversité	151
--	------------

Chapitre 6 Le siècle d'or de la sélection génétique	153
Chapitre 7 Patrimoine, ressources et marchandisation	179
Chapitre 8 La révolution de la génomique	219
Chapitre 9 L'adaptation des plantes aux changements climatiques et environnementaux	251
Chapitre 10 Vers une meilleure gestion de l'agrobiodiversité ?	285

Remerciements	319
Bibliographie	321
Glossaire	326
Sigles et abréviations	352
Index des noms latins	354
Table des matières	363

Préambule

La genèse de *L'odyssée des plantes*

L'île de Jersey, où je naquis au début des années cinquante, bénéficie d'un climat insulaire particulièrement clément du fait de la présence d'un courant marin chaud, le *Gulf Stream*. Près de la maison de mes parents, il y avait une grande ferme qui produisait des fleurs, des fruits et des légumes destinés au marché britannique. Dès que je sus marcher, je pris l'habitude de me rendre dans le hangar de conditionnement des productions. Il y régnait toujours une forte animation et l'air était rempli des senteurs caractéristiques des jonquilles, anémones, tomates, choux-fleurs, etc. qui contribuèrent à construire ma « madeleine de Proust ».

Plus tard, lorsque mes parents s'installèrent en région parisienne, mon père acheta une maison avec un très grand jardin. Il y fit pousser une multitude d'espèces de plantes dont il suivait, au jour le jour, le développement et l'état sanitaire. Il produisait bien plus que le nécessaire pour nous nourrir car son plaisir était surtout de les offrir à la famille et aux amis. Ainsi, dès mon plus jeune âge, il m'inculqua le respect de la terre et quelques principes horticoles.

Je suivis ensuite à l'université Paris-Sud (Orsay) les cours de ce que l'on appelait le « certificat de génétique », puis le DEA d'amélioration des plantes. À l'aube des années soixante-dix, cette université était le lieu incontournable des formations en biologie végétale et en génétique. J'eus la chance d'y bénéficier de l'enseignement d'excellents professeurs (Georges Rizet, Jean-Claude Mounolou, Yves Demarly, René Nozeran, etc.), tous amoureux de leur discipline.

Parmi ces enseignants, il y en eut un, Jean Pernès qui, pour moi et de nombreux étudiants, possédait ce « plus » particulier des grands transmetteurs de savoirs. De sa personne émanait une extraordinaire capacité à nous faire voyager autour de la planète, à la rencontre de ses populations, alors même que nous étions assis sur notre banc d'amphithéâtre. Il n'avait pas son pareil pour nous intéresser à ses problématiques de recherche et nous amener à nous interroger.

Avant d'être professeur, Jean Pernès fut chercheur à l'Orstom, en Côte d'Ivoire, où il conceptualisa une méthode d'amélioration originale d'une espèce fourragère apomictique : le *Panicum maximum*. Cette espèce, tétraploïde, se reproduit par graine identique à elle-même. Il est donc en principe totalement impossible de l'améliorer. Il eut l'idée de prospecter en Afrique de l'Est des formes diploïdes sexuées qui y avaient été signalées et de les utiliser comme géniteurs. Sa manière si envoûtante de nous expliquer ce processus, tout en décrivant les grandes plaines du Kenya, de Tanzanie avec le Kilimandjaro en arrière-plan, ne laissait aucun d'entre nous insensible. Aussi, lorsqu'à la fin d'un oral d'examen il me demanda si je souhaitais faire mon stage de DEA au sein de son laboratoire, je n'hésitais pas un seul instant.

J'eus la chance, quelques années plus tard, d'être moi-même recruté à l'Orstom et d'être affecté en Côte d'Ivoire pendant plus de dix années. Ce fut l'occasion de me familiariser avec l'Afrique, ses différentes populations humaines, qu'elles soient de la zone forestière ou des savanes, et ses plantes tropicales cultivées ou sauvages. Au centre de recherche d'Adiopodoumé travaillaient de nombreux jeunes chercheurs de plusieurs disciplines biologiques (génétique, phytopathologie,

nématologie, virologie, botanique) mais aussi physiques (hydrologie, pédologie, climatologie) et, sans nous en rendre compte, nous pratiquions sans contrainte la multidisciplinarité. D'autres chercheurs plus expérimentés nous parlaient de leurs expériences passées à Madagascar, en Amérique du Sud, en Asie du Sud-Est et décuplaient notre envie de travailler dans ces différentes régions. Le monde s'ouvrait à nous.

Au tout début des années quatre-vingt-dix, je fus affecté à Montpellier au sein du centre Orstom qui venait d'être construit. Ce fut l'occasion de rencontrer des collègues du Cirad, une autre institution à vocation tropicale, puis ceux de l'Inra travaillant sur les plantes cultivées en France, de l'université de Montpellier et des écoles supérieures d'agronomie (AgroM, AgroParisTech, AgroCampus). En nous côtoyant et en nous écoutant exposer nos travaux, nous partagions de nombreuses informations sur les plantes cultivées et leurs problématiques de recherche et élargissions nos champs de compétence. Je devins successivement directeur des UMRs Dgpc, Diapc puis Diade (Diversité, adaptation, développement des plantes) et m'absorbai progressivement dans des tâches de coordination et d'organisation de la recherche.

L'AUF me donna ensuite l'opportunité de participer aux activités du réseau de chercheurs en biotechnologies, initié par les collègues d'Orsay. Par la suite, j'eus le plaisir d'en assumer la responsabilité et d'organiser, dans de nombreux pays, des conférences scientifiques destinées à favoriser les rencontres et discussions entre chercheurs et doctorants des pays du Nord et du Sud. Ce fut une occasion supplémentaire de découvrir les avancées et les contraintes des uns et des autres et d'en faire la synthèse.

Cette carrière ne me prédisposait pas à écrire un livre sur l'odyssée des plantes sauvages et cultivées destiné au grand public. En effet, la production des chercheurs est le plus souvent orientée vers les publications scientifiques dans des revues de langue anglaise, des actes de congrès ou des chapitres de livres spécialisés que seuls les initiés consultent. Mais, peu à peu, à la suite du développement des biotechnologies et surtout au moment de l'arrivée sur le marché des plantes OGM, les questions du public se firent de plus en plus nombreuses. Avec les changements climatiques annoncés, la réduction de la biodiversité, l'agriculture bio, les questions de tout un chacun ne cessèrent de se multiplier.

Les réponses des spécialistes étaient souvent trop précises ou trop théoriques : personne, mis à part les initiés, ne les comprenait vraiment. Celles des grands médias étaient à l'inverse trop caricaturales, voire quelquefois totalement fausses. Je finis par renoncer à répondre aux sollicitations des journalistes, tant mes réponses purent être tronquées ou déformées.

Il y a maintenant presque quinze ans, le service des éditions de l'IRD me proposa de réfléchir à la rédaction d'un livre sur les questions d'actualité autour des OGM. Mais le temps passa, et je n'eus ni le loisir ni vraiment l'envie de le faire, connaissant les réactions parfois violentes que des prises de position, ou de simples tentatives d'explication, pouvaient entraîner.

Ces dernières années, progressivement libéré des diverses contraintes professionnelles qui jalonnaient mon activité quotidienne, j'eus de nouveau le temps de plonger dans la littérature scientifique sur des sujets situés en périphérie de mon strict champ d'activité. Je me rendis compte qu'il était possible de synthétiser cette littérature de spécialistes, afin de la rendre accessible au plus grand nombre.

Que fallait-il faire pour mieux partager la connaissance scientifique auprès de ce public amateur, curieux et connaisseur des plantes ? Après de multiples tentatives de présentations orales, je choisis de me lancer dans la rédaction de cet ouvrage de vulgarisation. À partir de la lecture de nombreux documents scientifiques et historiques, j'ai restitué cette histoire des plantes sous une forme qui je l'espère sera accessible à une grande majorité. Bien comprendre l'ensemble des aspects

liés aux plantes devrait aider le public à se forger une opinion plus précise sur la situation actuelle, mais également à prendre du recul sur des questions parfois complexes.

L'odyssée des plantes que je présente ici est parsemée de révolutions et de défis. Elle commence, bien avant l'arrivée de l'homme sur la planète, avec des événements climatiques et géologiques importants qui bouleversèrent la biodiversité à plusieurs reprises, et s'achève au début du XXI^e siècle alors que, en dépit des progrès de la génomique, des biotechnologies, de l'informatique, la mise en place d'une agriculture plus responsable et plus durable devient toujours plus urgente.

Ce livre ne prétend pas répondre à toutes les questions, il risque même d'en générer de nouvelles. En revanche, j'espère qu'il élargira le socle des connaissances nécessaires pour accompagner le lecteur dans sa réflexion.

Préface

Cet ouvrage, narratif et éducatif, constitue une immersion scientifique au cœur de l'histoire évolutive des espèces végétales. Il se donne pour mission de guider le lecteur, quel que soit son niveau de connaissance en sciences fondamentales, à travers un voyage qui retrace l'histoire et la génétique des végétaux, en passant par leur domestication par l'homme, la vulgarisation des techniques d'exploitation agricole au fil du temps, les innovations biotechnologiques et la compréhension des grandes questions contemporaines dont les impacts des changements climatiques.

L'auteur s'est attelé à rédiger un ouvrage clair et accessible, en n'omettant cependant pas la nomenclature scientifique de rigueur. L'originalité réside notamment dans un style d'écriture simplifié, et dans la profusion d'illustrations (encadrés, tableaux, figures, etc.), servant de supports pour étayer et expliquer les notions scientifiques nouvelles. Cet écrit scientifique, très complet et hautement didactique, présente une étude des événements génétiques ayant impacté les espèces végétales, comme l'évolution des gènes ancestraux communs, la duplication, la fusion et les réarrangements des chromosomes, et les adaptations aux environnements. Pour en faciliter la lecture, la compréhension et rendre accessibles certaines notions nouvelles, le livre a été scindé en dix chapitres d'égale importance organisés en deux grandes parties.

Dans les deux premiers chapitres, avec une agilité déconcertante, l'auteur retrace, étape par étape, les phénomènes évolutifs et déterminants des plantes, avant même l'arrivée de l'homme sur Terre. Il insiste sur les chocs environnementaux ayant conduit à des extinctions massives. Par la suite, il explique les comportements coévolutifs des plantes vis-à-vis des différents organismes vivants avec lesquels elles cohabitent, échangent et exercent une relation de dépendance et d'hôte.

Dans les deux chapitres suivants, il détaille avec des exemples, agrémentés de données factuelles et compréhensibles, l'arrivée de l'homme, sa volonté de domestiquer des espèces végétales toujours consommées de nos jours mais aussi de soumettre la nature à son contrôle. Il présente les principaux sites de domestication des espèces qui sont aujourd'hui la base de notre alimentation, puis les trois principales civilisations (égyptienne, grecque et romaine) ayant marqué et révolutionné le monde agricole par des procédés biotechnologiques innovants dans les techniques de fermentation, d'exploitation, de récolte et de conservation.

Dans le chapitre suivant, selon cette ligne historique, sont mentionnés les phénomènes d'exportation et de diffusion de nouvelles espèces végétales, grâce aux expéditions maritimes et coloniales vers les Amériques, l'Afrique et l'Asie, notamment. Toujours dans une volonté de retracer l'histoire évolutive des espèces végétales, l'auteur ne manque pas d'insister sur l'importance des travaux rigoureux et innovants de savants tels que Théophraste, Linné, Darwin et Mendel qui allaient permettre l'explosion des méthodes d'exploitation agronomiques dès le début du XX^e siècle.

Le chapitre suivant évoque pourquoi, parmi les révolutions scientifiques ayant joué un rôle majeur dans la modernisation de l'agriculture, il est important de citer celle de la découverte de l'ADN (et celle de l'ARN), établi comme support de l'information génétique et de l'hérédité. En effet, à partir de cette découverte, un grand nombre de nouveautés sont venues enrichir le monde de la génétique, en l'occurrence le développement des cartes génétiques, suivi de l'avènement des marqueurs moléculaires, et bien sûr la sélection génétique et la phylogénie moléculaire. Cet

ensemble a conduit à une véritable révolution agronomique et à la production de nouvelles variétés, telles que les hybrides F1 et les plantes génétiquement modifiées (GM), transcendant la barrière d'espèces, qui ne manquèrent pas d'interpeller les consommateurs.

Dans la suite de l'ouvrage, l'auteur décrit la mise en place progressive des systèmes de certification et des brevets. Il souligne les conséquences et l'émergence des mouvements contestataires en rapport avec les concepts de développement durable, les raisons de la création de l'*Open Source Seed Initiative* et de la mise en place du système des semences paysannes. Les raisons de la création d'institutions internationales, telles que le CGIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research*) et l'IBPGR (*International Board for Plant Genetic Resources*), et leurs implications y sont également développées. En second lieu, l'auteur évoque la marchandisation de la nature et l'intervention des ONG, puis les nouveaux traités internationaux comme la Convention sur la diversité biologique (CDB). Enfin, la gestion des ressources phytogénétiques est traitée, puis l'émergence des plantes GM dont l'obtention est due aux nouveaux outils biotechnologiques et aux méthodes innovantes.

La révolution de la génomique constitue un chapitre à part entière, qui détaille avec minutie et technicité d'imposants travaux scientifiques, incluant par exemple le séquençage génomique et la découverte des micro-ARN (miARN). L'avancement de la réflexion se fait avec une présentation, agrémentée d'illustrations et d'encadrés explicatifs, de la capacité des espèces végétales à se défendre en cas de stress environnementaux (hydrique, thermique), et présente donc les stratégies développées par les communautés végétales pour survivre aux conditions climatiques difficiles, à savoir les mécanismes écophysologiques réactionnels.

L'ultime piste de réflexion, « *Vers une meilleure gestion de l'agrobiodiversité ?* », aborde les questionnements majeurs qui ponctuent le monde de l'agriculture moderne, tenaillé entre autres par le désir de surproduction, les changements de position des consommateurs, l'exigence du marché et les défis biologiques. Ce dernier chapitre interroge l'état de la biodiversité actuelle en développant les impacts des disparitions d'espèces animales et végétales. Puis, l'auteur discute de la gestion des ressources phytogénétiques qui doit être revisitée pour essayer de répondre à l'ensemble des interrogations se posant en termes de prospectives. La conclusion de l'ouvrage ouvre le débat. Les récentes découvertes devraient mener à une agriculture écoresponsable. Pourtant, au vu des changements climatiques globaux qui ne cessent de s'aggraver et de la détérioration constante des superficies arables, vers quelle agriculture se tourner ? Quelles prospectives pour les plantes de demain ? Quels progrès attendre des sciences biologiques ?

En conclusion, ce livre est indispensable pour une compréhension des progrès associés aux sciences biologiques, agronomiques, à la génétique et à l'amélioration des plantes. Serge Hamon, généticien et directeur de recherche à l'IRD, décrit et raconte, dans un style narratif et léger, une épopée passionnante des espèces végétales au cours de l'évolution. Pour pouvoir adapter l'agriculture de demain aux contraintes climatiques que nous vivons, protéger la biodiversité et relever aussi les grands défis de l'agriculture moderne, et, notamment, ceux de la sécurité alimentaire, les étudiants, doctorants, enseignants, chercheurs et même les décideurs politiques trouveront dans cet ouvrage, qui se veut tout à la fois d'initiation et de référence, les connaissances requises pour conduire leurs travaux de recherche, élaborer des stratégies originales, mettre à jour leurs connaissances, envisager des applications et nouvelles perspectives de recherche ou proposer des alternatives durables.

Pr Mame Ourèye Sy

Laboratoire Campus de Biotechnologies végétales

Faculté des Sciences & Techniques

Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

Avant-propos

Les plantes sont tout autour de nous. Des herbes sur la table de la cuisine aux arbres dans la forêt, en passant par les fleurs et arbustes dans le jardin. Partenaires silencieux dans notre vie quotidienne, nous ne réalisons souvent pas l'importance qu'elles ont pour nous. Elles nous fournissent nourriture et boissons pour vivre, médicaments pour nous soigner, étoffes pour nous vêtir, matériaux pour construire et l'ombre pour nous rafraîchir... Mais leur importance va bien plus loin. Elles jouent un rôle crucial dans le fonctionnement de notre planète par leur aptitude à fournir de l'oxygène, stabiliser les sols et capturer le dioxyde de carbone. Malgré leurs fonctions importantes dans la plupart des écosystèmes, les plantes sont souvent ignorées ou vues comme un « mur vert » indifférencié. Un phénomène d'invisibilité nommé « cécité vis-à-vis des plantes » (*Plant blindness*). Ce n'est pas l'arbre, mais l'écureuil sur l'arbre, pas l'arbuste, mais l'oiseau dans l'arbuste, pas la fleur, mais le papillon sur la fleur qui attirent notre attention.

Notre aveuglement pour les plantes conduit à un lourd tribut : les efforts de conservation sont majoritairement consacrés aux animaux, les zoos reçoivent une multitude de visiteurs par rapport aux jardins botaniques, et l'obtention de financements pour la recherche sur les plantes devient de plus en plus difficile. Il n'est pas surprenant également que le nombre de livres populaires sur les animaux dépasse de loin celui sur les végétaux. En conséquence, les plantes, ainsi que la façon dont elles fonctionnent, survivent, se reproduisent et évoluent, restent en grande partie inconnues du grand public. Le livre de Serge Hamon *L'odyssée des plantes sauvages et cultivées. Révolutions d'hier et défis de demain* est donc une contribution très importante à la vulgarisation de nos connaissances scientifiques sur les espèces végétales, avec un accent particulier sur les plantes comestibles dont nous dépendons fortement. Le livre nous guide à travers l'ensemble de leur périple évolutif : de l'origine de la vie aux défis de leur survie actuelle. L'évolution des différentes lignées de plantes, dont beaucoup ont disparu aujourd'hui, ainsi que leur expansion graduelle aux quatre coins de notre planète sont ainsi illustrées. Nous apprenons à connaître les ennemis et les amis des plantes et comment l'être humain a développé une relation privilégiée avec elles en les cultivant et en les domestiquant. L'impact de la découverte du Nouveau Monde et de la distribution des plantes comestibles et autres dans le monde entier est mis en évidence. Nous comprenons aussi pourquoi quatre plantes cultivées, à savoir le maïs, la pomme de terre, le riz et le blé, représentent aujourd'hui plus de 50 % des aliments consommés dans le monde entier. Les techniques traditionnelles et modernes appliquées aux plantes, afin qu'elles s'adaptent à nos besoins, sont exposées de manière concise et didactique. Enfin sont abordées les deux principales menaces pour la survie des plantes : les changements climatiques et la destruction de leur habitat naturel. À travers les âges, les plantes ont toujours su s'adapter à des environnements changeants. Cette « souplesse » inhérente fait partie de leur patrimoine génétique et peut s'avérer particulièrement utile.

Avec ce livre, Serge Hamon partage d'une façon très accessible et attrayante ses connaissances profondes sur les espèces végétales. Il insiste sur le caractère unique des plantes, leur importance pour notre survie dans le passé et encore actuellement, et la manière dont elles peuvent nous aider à résoudre les défis qui nous attendent. La base pour un monde plus durable réside sans aucun doute dans une utilisation plus durable des plantes et des ressources qu'elles fournissent.

Dr Steven Dessein
Jardin botanique de Meise, Belgique
Administrateur général

Introduction

Les décennies 1980 et 1990 mirent définitivement fin aux Trente Glorieuses durant lesquelles une certaine forme d'insouciance avait prévalu. Plusieurs événements contribuèrent à notre prise de conscience progressive d'un certain nombre de dysfonctionnements majeurs dans le domaine environnemental et sanitaire : accident nucléaire de Tchernobyl, scandales agrosanitaires à répétition (vache folle, en particulier), déforestation massive pour développer les monocultures intensives, etc. Dans le domaine climatique, les chercheurs commençaient à évoquer la possibilité de changements non moins majeurs, mais la grande majorité de la population l'ignorait encore.

C'est dans ce contexte de crises successives, présentes dans tous les esprits, que les premières variétés de plantes OGM furent diffusées sur le marché. Certains scientifiques et des sociétés semencières nous vantèrent alors un futur radieux composé de plantes d'un type nouveau, mais la précipitation et l'évidente avidité financière imposant des contraintes énormes aux agriculteurs furent telles que les réactions de rejet en Europe ne se firent pas attendre. Ce rejet s'exacerba d'autant plus que la perte des variétés traditionnelles devenait une évidence.

Le débat sur les OGM, très controversés, s'enflamma. Dans les médias et sur internet, les informations se mirent à proliférer avec une fiabilité variable : celles vérifiées et robustes y côtoyaient des opinions relevant d'intérêts politiques et économiques, voire du simple affect. Les prises de parole des intervenants les plus extrémistes furent les plus relayées. La grande majorité des chercheurs regretta l'absence de vrais débats et, surtout, la perte de confiance vis-à-vis de la communauté scientifique. On l'ignore souvent, mais la technologie de transformation génétique a permis de réaliser de très nombreux progrès dans la compréhension du mode de fonctionnement des gènes et des génomes. Elle a ouvert la voie aux grandes avancées sur le séquençage des génomes.

En cette fin de XX^e siècle, et en réaction à ce qui était immense progrès pour les uns, danger absolu pour les autres, de nombreuses techniques agricoles émergèrent. Ce furent notamment les prémices de la future agriculture « bio » : les agriculteurs furent de plus en plus informés des conséquences du recours abusif aux pesticides, les circuits courts se développèrent et l'agriculture raisonnée eut le vent en poupe. Si les risques liés aux OGM continuaient à être perçus comme inacceptables en Europe, d'autres inquiétudes liées aux impacts potentiels des changements climatiques prirent le dessus. La faculté des espèces actuelles de s'adapter ou non aux nouvelles conditions environnementales devenait une question cruciale.

Aujourd'hui, nous nous interrogeons toujours, et de plus en plus, sur la qualité de notre alimentation, l'impact des pratiques agricoles, l'état de la planète que nous transmettrons à nos enfants. Que seront nos paysages et nos agrosystèmes dans les décennies à venir ? Quels seront les impacts des sécheresses, des intempéries de plus en plus nombreuses ? Entre autres exemples, les plantes actuelles du bassin méditerranéen migreront-elles vers le nord ? Si oui à quelle vitesse ? Pourra-t-on continuer à les cultiver hors de leur biotope actuel ?

Les plantes actuelles, dont l'histoire évolutive remonte parfois au-delà de 150 millions d'années, occupent l'essentiel de nos paysages et sont une part importante de la biodiversité. Leur nature, leurs aptitudes, leur diversité, leurs capacités

d'adaptation n'ont cessé de changer au cours du temps. L'enjeu est donc de maintenir les processus sous-jacents qui leur permettront de continuer à évoluer et à s'adapter, et non de figer les espèces constitutives de la biodiversité comme si elles étaient immuables.

L'espèce humaine a joué, et continue de le faire, un rôle crucial dans ces processus. Depuis plus de 15 000 ans, elle modifie son environnement, quelquefois de manière brutale et définitive. Au cours du siècle dernier, pour diverses raisons connues de tous maintenant, dont l'augmentation de la population humaine, l'industrialisation intensive dans de nombreux domaines, la mondialisation économique, etc., les perturbations anthropiques se sont accélérées.

Les changements climatiques en cours, ignorés par la plupart d'entre nous il y a peu encore, s'imposent désormais à tous et interrogent sur l'évolution de la Terre et de ses populations. La biodiversité est malmenée, voire clairement en danger. Naturellement, aucune réponse n'est simple face à ces processus et, concernant la conservation de la biodiversité, une multitude de paramètres entrent en jeu. Pour les végétaux, ils dépendent de l'espèce considérée, de son histoire, de ses caractéristiques biologiques, de sa localisation (ombre *vs* pleine lumière, milieu humide *vs* aride, plaine *vs* altitude, nature du sol, etc.). Sur le très long terme, certaines espèces disparaîtront, d'autres migreront, voire deviendront invasives, de nouvelles devraient également apparaître. L'espèce humaine aura-t-elle l'occasion de le voir ou aura-t-elle disparu, nul ne peut le dire.

Tout le monde s'accorde sur l'idée que la science est indispensable pour éclairer à la fois le public, les professionnels, les médias, les décideurs, les politiques. Mais les questions en jeu sont si nombreuses, leur périmètre si large, qu'il est désormais difficile pour un chercheur, devenu la plupart du temps ultra-spécialiste d'une micro-discipline, de répondre aux interrogations du public. La science s'est en effet largement spécialisée au cours du XX^e siècle, avec l'émergence d'un grand nombre de disciplines (physiologie, génétique quantitative, cytogénétique, etc.), toutes inestimables pierres à l'édifice de la connaissance, mais chacune avec son angle de vue. À la fin du siècle, on pensait avoir tout dit en parlant de biologie moléculaire... Depuis pourtant, les progrès se sont encore accélérés avec l'apparition de la génomique qui, aussitôt, s'est scindée en de nombreuses spécialités : on ne parle plus désormais de génome, mais de pangénome, d'épigénome, de dynamique des génomes, d'expression des génomes, etc.

Dans ce contexte, répondre en quelques minutes aux questions des journalistes ou du « grand public », avide et curieux, mais souvent en manque d'informations fiables et validées sur certains aspects fondamentaux, s'avère impossible. D'où ce livre qui a pour objectif d'éclairer le lecteur sur cette histoire au long cours des plantes et de l'homme, histoire faite d'avancées révolutionnaires et de défis à sans cesse relever.



Partie 1

De l'apparition des plantes à la naissance de la génétique

Dracophyllum cf. verticillatum
(Nouvelle-Calédonie).

© IRD/J.-M. Boré

1 L'évolution des plantes avant l'arrivée de l'homme



© IRD/s. Hamon

Lorsque les premiers hommes modernes commencèrent leurs déplacements sur la planète, il y a environ 100 000 ans, ils découvrirent une végétation résultant d'une très longue histoire évolutive. On peut en effet considérer qu'à l'Oligocène (il y a 30 Ma) la quasi-totalité des espèces ancestrales de toutes les familles végétales était apparue et différenciée sur les différents continents. Quels furent les mécanismes majeurs qui leur permirent de survivre et de se diversifier ?

Des étapes initiales longues, mais déterminantes

Les premiers organismes monocellulaires

Vers - 3 800 millions d'années (Ma), à l'Archéen, les premiers organismes vivants – les **procaryotes** – apparurent. Ils n'étaient

composés que d'une seule cellule. Aujourd'hui, il en existe encore de nombreux telles les **bactéries**. Ces premiers procaryotes étaient déjà pourvus d'un « **matériel génétique** », qui leur permettait de stocker de l'information transmissible à leurs descendants.

Les procaryotes se multiplient très simplement par une division de la cellule mère en deux parties égales. Ce processus donne naissance à deux cellules filles, identiques à la cellule de départ. Tout se passe comme si

on avait un système de photocopies où les copies peuvent également servir de modèle. Cependant, dans quelques rares situations, environ une fois sur un million, le système peut faire une erreur en recopiant le matériel génétique. Dans ce cas, soit l'erreur est

reconnue et réparée, soit elle est maintenue, recopiée et amplifiée. Le terme consacré pour ce phénomène s'appelle la **mutation**, processus fondamental pour l'**évolution**. Si une mutation confère un désavantage à la cellule qui la possède, elle sera contre-

	Périodes	Époques	Ma	Faits majeurs				
	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène	- 001		Dispersion terrestre de l'Homme		Domestication des plantes
Pléistocène			- 2,5 / - 001		Apparition de l' <i>Homo erectus</i>		Présence des formes ancestrales des espèces actuelles	
Néogène		Pliocène	- 5 / - 2,5		Apparition de l' <i>Homo sapiens</i>			
		Miocène	- 23 / - 5		Séparation lignée humaine et chimpanzés	Régions floristiques différenciées		
Paléogène		Oligocène	- 34 / - 23	Continents totalement séparés			Apparition des grandes familles botaniques	D x
		Éocène	- 53 / - 34		Primates			
	Paléocène	- 65 / - 53				Environ 300 000 espèces végétales		
Mésozoïque	Grande extinction n° 5 - 66			Disparition des dinosaures		Disparition de 65 % des espèces végétales		
	Crétacé	- 145 / - 65		Insectes pollinisateurs		Émergence des plantes à fleurs (angiospermes)	D 3	
	Jurassique	- 200 / - 145		Oiseaux		Apparition d' <i>Amborella</i>		
	Grande extinction n° 4 - 240			Disparition de 30-40 % des espèces		Début du règne des dinosaures		
Trias	- 251 / - 200	Début de la séparation des continents	Apparition des dinosaures		Émergence des progymnospermes			
Paléozoïque	Grande extinction n° 3 - 260			Disparition de 90 % des espèces marines et terrestres				D 2
	Permien	- 299 / - 251	Un seul continent Pangée	Bactéries cellulolytiques	Début des zones floristiques différenciées			
	Carbonifère	- 359 / - 299		Serpents - Tortues		Fougères, ginkgos, cycas		
	Silurien	- 416 / - 359		Insectes détritvires Tétrapodes	Premiers arbres (<i>Archaeopteris</i>)		D 1	
	Dévonien	- 444 / - 416			Plantes rampantes			
	Grande extinction n° 2 - 445			Disparition de 60-70 % des espèces				
	Ordovicien	- 488 / - 444		Vie sur terre ferme	Apparition des vaisseaux conducteurs, des ovules et du bois	Radiation des algues, champignons, lichens		
	Grande extinction n° 1 - 480			Disparition de 80 % des espèces				
Cambrien	- 542 / - 488		Apparition de nombreuses espèces animales marines	Zones floristiques indifférenciées				
Phanérozoïque	Protérozoïque	- 2 600 / - 542			Intégration des mitochondries	Intégration des chloroplastes		
	Archéen	- 4 550 / - 2 600		Premiers organismes vivants unicellulaires (procaryotes)				
	Hadéen	- 4600	Formation de la Terre					

D 1 à **D 3** Duplications communes à toutes les angiospermes **D x** Duplications complémentaires des génomes

Figure 1
Temps géologiques et faits majeurs pour les plantes.

La très lente évolution des plantes ne s'est pas produite dans la « sérénité ». Une impressionnante série de catastrophes (grandes extinctions) et d'accidents génétiques (duplications complètes des génomes) a permis d'aboutir aux plantes actuelles.