

# La conservation et la gestion de nos ressources génétiques

5:3(100)  
D

E 3 F 3  
Bibliothèque  
IPS/UIS/APM  
MAISON DE L'UNESCO

CCL/D/137855

~~Consulted~~

en

N° 158

**impact**  
science et société

UNESCO

LIBRARY - BIBLIOTHÈQUE

---

# La conservation et la gestion de nos ressources génétiques

*Impact*      N° 158, 1990

---

107 Éditorial

---

111 Qu'est-ce que les ressources génétiques et pourquoi faut-il les conserver ?  
*Jack G. Hawkes*

---

123 La préservation des ressources phylogénétiques dans les banques de gènes  
*Louis J. M. van Soest*

---

139 Les jardins botaniques et la conservation des ressources végétales  
*Vernon H. Heywood*

---

153 Le rôle des réserves de la biosphère dans la conservation et l'utilisation des  
ressources génétiques : les choix sociaux  
*G. Brent Ingram*

---

165 Les ressources zoogénétiques  
*John Hodges*

---

179 Les ressources en matériel génétique microbien  
*Edgar J. DaSilva, L. V. Kalakoutskii et Song Da-kang*

---

191 Les collections de cultures médicales  
*Heinz P. R. Seeliger*

---

199 La brevetabilité des ressources génétiques  
*R. Stephen Crespi*

---

---

## *Avis aux lecteurs*

*Impact: science et société* est également publié en anglais, en arabe, en chinois, en coréen, en portugais et en russe. Pour obtenir des informations concernant ces éditions, prière de s'adresser à :

*Anglais* : Taylor & Francis Ltd, Subscriptions Department, Rankine Road, Basingstoke, Hampshire RG24 OPR, Royaume-Uni.

*Arabe* : Unesco Publications Centre in Cairo, 1 Talaat Harb Street, Le Caire, République arabe d'Égypte.

*Chinois* : Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 8712, Beijing, République populaire de Chine.

*Coréen* : Commission nationale coréenne pour l'Unesco, P.O. Box Central 64, Séoul, République de Corée.

*Portugais* : Publicações Europa-América Lda, Est. Lisboa-Sintra km 14, 2726 Mem Martins Codex, Portugal.

*Russe* : Commission de l'URSS pour l'Unesco, 9 Prospekt Kalinina, Moskva G-19, URSS.

---

*Les auteurs sont responsables du choix et de la présentation des faits figurant dans leurs articles ainsi que des opinions qui y sont exprimées, lesquelles ne sont pas nécessairement celles de l'Unesco et n'engagent pas l'Organisation.*

*Le textes publiés peuvent être librement reproduits et traduits (sauf lorsque le droit de reproduction ou de traduction est réservé) à condition qu'il soit fait mention de l'auteur et de la source. Un numéro de la revue ne peut être repris intégralement qu'avec l'autorisation de l'Unesco.*

---

---

# Éditorial

Au cours du siècle dernier, l'ampleur des activités humaines a eu pour effet de réduire considérablement la diversité biologique de notre planète. Cela s'explique par plusieurs raisons. L'action de l'homme a eu de profondes répercussions sur l'environnement : déforestation, réduction des habitats naturels du fait de l'urbanisation, exploitation agricole et pâture extensives, etc. L'utilisation abusive des ressources en eau fait baisser les nappes aquifères, et le sol devient stérile ou ne convient plus qu'aux végétaux les plus vigoureux.

Paradoxalement, la révolution verte a aggravé l'érosion génétique, car les agriculteurs ont renoncé à cultiver les multiples variétés traditionnelles, préférant se limiter à quelques nouvelles souches à haut rendement.

C'est seulement depuis une trentaine d'années que les scientifiques ont compris qu'il était important de dresser l'inventaire d'un réservoir génétique qui s'appauvrit et d'en conserver les ressources afin d'offrir des possibilités de choix aux générations futures et de contribuer à l'objectif du développement durable. Il se pourrait en effet qu'on ait besoin à l'avenir de gènes d'apparentés sauvages ou de souches anciennes de nos plantes cultivées ou de nos animaux domestiques pour obtenir certaines qualités ou caractéristiques qui s'avèreraient nécessaires dans des circonstances nouvelles imprévues.

Supposons par exemple que certaines au moins des prédictions actuelles relatives à un changement de climat se révèlent exactes. Dans de nombreuses régions du monde, il se produirait une modification du régime climatique (température, précipitations) accompagnée de changements dans la végétation qui, à leur tour, pourraient fort bien affecter la répartition des parasites et des maladies. Les agriculteurs de ces régions auraient donc besoin de disposer de variétés végétales et animales qui soient capables de résister à ce genre d'agressions et de supporter les nouvelles conditions climatiques. En d'autres termes, ils chercheraient à doter leurs plantes ou animaux de caractéristiques nouvelles, ce qu'ils ne pourraient réaliser qu'en puisant dans le pool génique des plantes sauvages et des cultivars abandonnés. Le présent numéro d'*Impact* a pour thème la préservation et l'exploitation de la richesse que représente ce matériel génétique végétal, animal et microbien.

Dans le premier article, Jack Hawkes examine ce qu'il faut entendre exactement par ressources génétiques et comment celles-ci pourraient être utilisées pour améliorer nos cultures vivrières et l'exploitation de certaines terres agricoles marginales. Il décrit les débuts de l'action internationale en matière de conservation génétique, action à laquelle il a été lui-même étroitement associé.

Louis van Soest évoque ensuite le traitement et la gestion des ressources phyto-

génétiques. Il explique comment le matériel génétique est recueilli, conservé, régénéré et évalué pour être finalement distribué et utilisé.

Les jardins botaniques ont joué un rôle crucial en introduisant des plantes cultivées dans de nouvelles régions du monde et en assurant la conservation et la reproduction du matériel génétique. Vernon Heywood montre comment ces fonctions importantes ont décliné récemment et sont assumées aujourd'hui par d'autres établissements ou organisations agricoles. Ce phénomène s'est intensifié au cours de ces dernières décennies avec la concentration de l'intérêt sur les quelques cultures vivrières de base. Selon le professeur Heywood, les jardins botaniques, à de remarquables exceptions près, n'ont pas réussi à relever le défi de la conservation génétique en s'intéressant aux très nombreuses cultures indigènes «mineures», celles qui nous donnent des médicaments, des épices, des fruits et des légumes. Il décrit les activités du Secrétariat des jardins botaniques pour la conservation, qui établit un catalogue des collections de matériel génétique du monde entier.

Dans l'article suivant, Brent Ingram examine le rôle des réserves de la biosphère dans la conservation *in situ* des ressources génétiques végétales et animales. Nous ne connaissons encore qu'une partie des espèces qui vivent sur notre planète et, dans certains cas, par exemple celui de la forêt tropicale, les chances de combler cette lacune dans les années à venir sont très faibles. Le stockage *ex situ* dans les banques de gènes, les jardins botaniques et les parcs zoologiques ne peut donner qu'une fraction minuscule de l'information et du matériel génétique susceptibles d'être fournis par des populations spontanées et la demande de diversité génétique excède la capacité qu'ont les sélectionneurs de produire des races nouvelles. Les réserves de la biosphère ont donc un rôle important à jouer dans la conservation des ressources génétiques, mais ce rôle exige de la part des gouvernements diverses décisions politiques.

L'article de John Hodges traite des ressources zoogénétiques. Pour cet auteur, la forte variabilité génétique des six ou sept grandes espèces animales domestiques exploitées par l'homme est en voie de disparition rapide du fait des substitutions et croisements opérés entre les races. Pourtant, de même que dans le cas des plantes cultivées, on aura besoin de retrouver à l'avenir certains caractères adaptatifs utiles présents dans les races indigènes, comme la résistance aux maladies et aux conditions climatiques, afin de pouvoir faire face à des situations nouvelles. L'auteur décrit les nouvelles techniques utilisées par les zoogénéticiens, telles que le stockage de sperme et d'embryons et le clonage.

Edgar DaSilva, L. V. Kalakoutskii et Song Da-kang nous parlent de la nécessité de préserver les ressources génétiques microbiennes, qui offrent une source potentielle de produits chimiques et de médicaments nouveaux ou le moyen de mener à bien des processus dont la réalisation exige actuellement une dépense énergétique plus élevée. Ils soulignent le rôle des collections de cultures dans le maintien de la continuité génétique de diverses ressources microbiennes, et ce sujet est repris par Heinz Seeliger, qui décrit la gestion d'une collection de cultures médicales.

Dans le dernier article de ce numéro, Stephen Crespi aborde la question complexe et parfois controversée de la brevetabilité des organismes nouveaux ou améliorés et de l'accès à ces nouveaux «produits».

Tous ces articles mettent l'accent sur la collaboration aux fins de la conservation du matériel génétique. Toute perte de diversité génétique n'affecte pas seulement la zone concernée mais aussi le reste du monde. La diversité génétique des végétaux, des animaux et des microbes est une ressource mondiale dont il faut assurer la protection

par des efforts internationaux concertés si nous voulons sauvegarder l'avenir de notre propre espèce.

*Impact* remercie le professeur Jack Hawkes et M. Edgar DaSilva d'avoir prêté leur concours et fourni des avis pour l'élaboration de ce numéro. ■

---

# Qu'est-ce que les ressources génétiques et pourquoi faut-il les conserver ?

Jack G. Hawkes

*Nous atteindrons bientôt un point où l'agriculture traditionnelle ne sera plus en mesure de faire vivre la population mondiale, qui s'accroît rapidement. La solution à ce problème consiste non pas à augmenter la superficie des terres cultivées et des pâturages en empiétant sur les forêts et les zones semi-désertiques, mais à utiliser des techniques agricoles améliorées en conservant à peu près les mêmes superficies. Cela suppose la mise au point de meilleures pratiques culturales et de meilleures variétés, capables de résister aux insectes nuisibles et aux maladies et mieux adaptées à des conditions de milieu difficiles comme la chaleur, la sécheresse ou la salinité. Pour obtenir de telles variétés, les sélectionneurs ont besoin de disposer des gènes qui commandent cette résistance et cette meilleure adaptation. On trouve ces gènes dans des variétés agricoles anciennes (« races de pays ») qui ont été conservées et dans leurs congénères sauvages.*

Les forêts tropicales ombrophiles ne cessent aujourd'hui de défrayer l'actualité. Pourquoi faut-il absolument les conserver et en quoi est-ce si important pour l'homme et les autres organismes vivants ? Si le public commence à se préoccuper sérieusement de la préservation des espèces végétales et animales, ce n'est pas seulement pour des raisons sentimentales, mais parce qu'il se rend compte que la vie sur la planète – espèce humaine comprise – est menacée par la destruction effrénée de l'environnement.

La population humaine croît de façon exponentielle. Il y a donc de plus en plus de bouches à nourrir, ce qui n'est possible qu'en augmentant la production agricole. Or on ne peut étendre indéfiniment les cultures. Une bonne partie de la surface terrestre est trop froide ou trop sèche pour être cultivée, et les forêts tropicales poussent

---

J. G. Hawkes est diplômé de sciences naturelles de l'Université de Cambridge (1937). Au cours de sa longue carrière professionnelle consacrée à la biologie végétale, ses principales recherches ont porté sur les ressources génétiques des plantes cultivées et la taxonomie expérimentale des espèces de pomme de terre.

Le professeur Hawkes a contribué, à partir des années 50, à faire de l'étude des ressources génétiques une discipline scientifique. Il a ainsi créé à Birmingham, en 1969, un cours de maîtrise sur les ressources génétiques qui existe toujours et qui a permis de former plus de 300 étudiants, originaires pour la plupart de pays en développement. Il a écrit plusieurs ouvrages sur les ressources génétiques ou en a dirigé la publication, et a présenté de nombreuses communications à des colloques sur cette question. Il est professeur émérite de l'Université de Birmingham, où on peut le joindre à l'adresse suivante : c/o School of Continuing Studies, University of Birmingham, P.O. Box 363, Birmingham B15 2TT, Royaume-Uni.

---

sur des sols très pauvres en nutriments, leur exubérance tenant à la végétation, non au sol. Une fois la forêt tropicale détruite, la terre devient impropre à l'agriculture au bout de quelques années à peine. Nous avons presque atteint la limite des terres arables – en fait, dans beaucoup de régions, cette limite a déjà été dépassée, car les sols désertiques secs qui sont irrigués deviennent de plus en plus salés et les eaux « fossiles » des aquifères souterrains s'épuisent. En outre, la baisse du niveau hydrostatique dans les régions semi-désertiques tue les arbres restants, dont les racines ne peuvent pénétrer plus profondément pour atteindre l'eau. Ainsi, les milieux semi-désertiques fragiles se transforment vite en déserts et le sol est emporté par le vent. Le surpâturage vient à son tour aggraver ce processus, rendant toute culture impossible.

Voilà pourquoi on ne saurait résoudre les problèmes alimentaires par une extension des zones cultivées. Ce qu'on peut faire, en revanche, c'est améliorer la production agricole sur les terres déjà en culture. C'est là une action positive qui comprend deux volets : d'une part, l'adoption de meilleures méthodes culturales, adaptées aux contraintes du milieu et aux besoins des agriculteurs, d'autre part, l'amélioration de la capacité génétique de rendement des cultures elles-mêmes.

Même au Royaume-Uni, où les sols et les pratiques agricoles sont excellents, on a pu obtenir après la guerre une augmentation des rendements atteignant en moyenne 50 %, grâce à l'introduction de meilleures façons culturales, associées à des variétés plus productives. Nul doute que l'on pourrait en dire autant de nombreux autres pays.

C'est, bien sûr, par la sélection que l'on obtient des variétés plus performantes. J'entends par là des variétés qui non seulement contiennent plus d'amidon, de sucre, de protéines et de vitamines, mais aussi qui sont plus résistantes aux maladies fongiques, bactériennes et virales, et aux insectes, nématodes et autres parasites. Les sélectionneurs peuvent aussi apporter une solution dans les cas où les plantes se trouvent mises à rude épreuve par certaines conditions particulières du milieu : froid, chaleur, sécheresse, salinité, toxicité due à la présence d'aluminium ou d'autres éléments métalliques, etc. Cette amélioration génétiquement induite de la résistance et de l'adaptation au milieu permet de se passer entièrement ou en partie de fongicides ou pesticides coûteux et nocifs pour l'environnement et offre incontestablement un moyen plus « naturel » d'accroître les rendements.

Certes, pour ce qui est des parasites et des maladies des végétaux, la bataille ne sera peut-être jamais définitivement gagnée. Il y aura probablement toujours un état de « guerre froide » entre les agriculteurs et leurs cultures, d'une part, les maladies et les parasites, de l'autre, ces derniers ayant la faculté – comme ils l'ont souvent démontré – de donner naissance à des souches de mutants plus virulentes pour surmonter la résistance rencontrée. Malgré tout, même si elle n'est pas parfaite, la méthode de l'amélioration de la résistance par la sélection a fait ses preuves. Pour ne citer qu'un exemple, les nouvelles variétés de riz obtenues par l'Institut international de recherche sur le riz aux Philippines et les variétés locales qui en sont dérivées ont quasiment permis de doubler les rendements en Indonésie. Malgré une croissance démographique élevée, ce pays, naguère le plus gros importateur de riz du monde, est devenu entièrement autosuffisant (Hawkes, 1985, p. 23).

## Les ressources génétiques, éléments de construction des nouvelles variétés

Les qualités de rendement, de résistance, d'adaptation viennent bien de quelque part. Elles sont fondées sur des caractères génétiques que l'on trouve surtout dans les variétés anciennes dites « races de pays » (*land races*) et dans les formes sauvages des espèces cultivées. Pour des raisons évidentes, on appelle ressources génétiques ces sources de diversité génétique, qui se sont révélées extrêmement précieuses pour les sélectionneurs. Ceux-ci ont réussi, après de nombreuses étapes intermédiaires, à transférer dans de nouvelles variétés les gènes ou combinaisons de gènes nécessaires.

Pour comprendre l'importance des ressources génétiques, leur découverte et leur extraordinaire intérêt, il nous faut remonter jusqu'au début du  $xx^e$  siècle.

Tout commence vraiment avec le savant de renommée mondiale, N. I. Vavilov, qui, alors qu'il était encore étudiant, entreprit d'explorer la diversité des plantes cultivées au Caucase, découvrant, dès cette époque, des espèces et des variétés de blé hautement résistantes jusqu'alors inconnues de la science. Un peu plus tard, devenu directeur de l'Institut de phytotechnie de Leningrad, il envoya des expéditions de collecte un peu partout dans le monde, qui permirent d'identifier huit grands centres ou zones de diversité génétique des plantes cultivées (fig. 1). On y découvrit non seulement de curieux variants de couleur et de forme, mais aussi un grand nombre de gènes précieux, contrôlant l'adaptation et la résistance, dont on ignorait totalement l'existence. Devant cette extrême richesse des espèces et des formes, Vavilov en vint à penser que bon nombre des plantes cultivées avaient dû être domestiquées dans ces zones où, apparemment, la grande variété des sols, des climats et des pratiques agricoles, les conditions de relatif isolement et l'absence presque totale d'influences extérieures avaient favorisé le processus de l'évolution. On peut dire, sans exagérer, que les découvertes de Vavilov ont été une véritable mine d'or génétique, dont tous les sélectionneurs allaient tirer profit. Au cours des années 30, d'autres pays, notamment le Royaume-Uni, l'Allemagne, la Suède et les États-Unis d'Amérique, organisèrent donc un grand nombre d'expéditions de collecte dans ces centres de diversité et le matériel recueilli fut mis à la disposition des sélectionneurs.

En plus des races rustiques anciennes (variétés cultivées), les collecteurs, y compris Vavilov lui-même et ses collaborateurs, rapportèrent des spécimens d'espèces sauvages apparentées, dont certaines étaient peut-être les ancêtres des plantes cultivées.

## Érosion génétique

Lors du relèvement de l'agriculture au lendemain de la deuxième guerre mondiale, les sélectionneurs mirent au point des variétés nouvelles, que des agents de vulgarisation agricole encouragèrent les exploitants à cultiver à la place des races locales très diverses auxquelles ils étaient accoutumés. Ainsi, la diversité génétique commença à diminuer, d'abord lentement, puis de plus en plus vite. C'est ce processus, toujours en cours, qu'on a dénommé érosion génétique (fig. 2).

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) s'est attachée dès les années 50 à détecter l'érosion génétique de la diversité des plantes cultivées, suivant en cela la voie ouverte par Harry V. Harlan, sélectionneur de variétés d'orge, qui écrivait avant 1944 (Harlan, 1957): « Tout tend à montrer qu'il

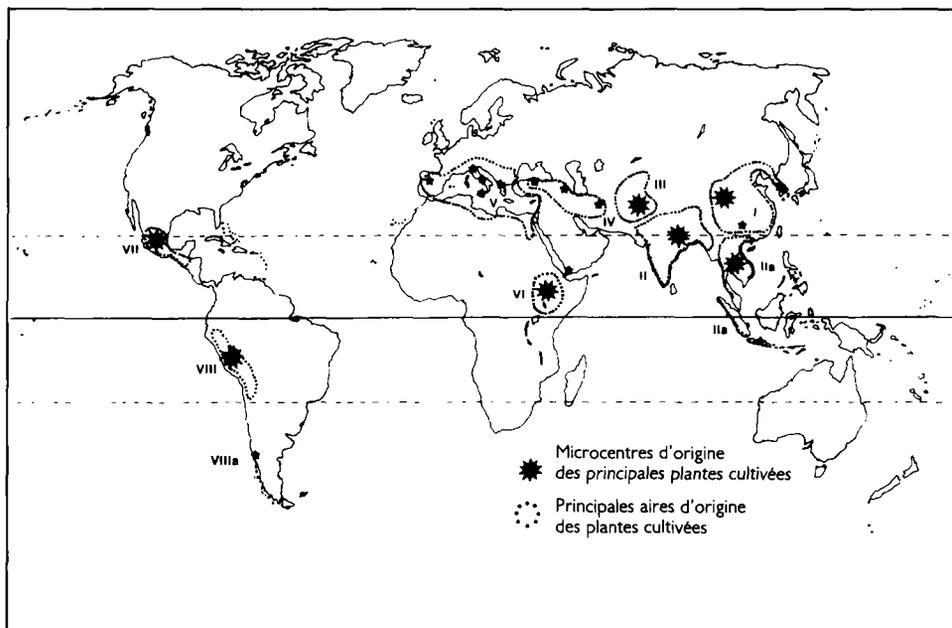


Figure 1

Centres mondiaux d'origine des plantes cultivées de Vavilov. Les étoiles indiquent les microcentres d'origine des principales plantes cultivées; les zones délimitées par des pointillés correspondent aux principales aires d'origine des plantes cultivées (Hawkes, 1983, d'après Vavilov, 1951).

faut faire vite. Des gènes précieux disparaissent chaque année, peut-être à jamais. Pour nous-mêmes et pour les générations à venir, nous avons le devoir de recueillir le plus possible de ce matériel disponible en quantité illimitée... » Cette déclaration prophétique allait pousser nombre d'entre nous, y compris le fils de Harry Harlan, Jack Harlan, à agir avant qu'il ne fût trop tard.

La FAO organisa, en 1961, une conférence technique (dont les actes n'ont malheureusement jamais été publiés) pour discuter de l'urgence d'un effort de recensement et de conservation des plantes. D'autres conférences, tenues en 1967, 1973 et 1981, portèrent sur les bases scientifiques et les mesures requises pour recueillir, conserver et évaluer les ressources génétiques avant qu'elles ne disparaissent à jamais (Frankel et Bennett, 1970; Frankel et Hawkes, 1975; Holden et Williams, 1984). Il convient de préciser que le Programme biologique international (PBI) a parrainé avec la FAO à la fois la Conférence de 1967 et celle de 1973, et les ouvrages qui en sont issus.

L'une des principales conclusions de ces premières conférences fut qu'il fallait à tout prix enrayer l'érosion génétique, car tout indiquait que la diversité génétique des espèces cultivées et de leurs congénères sauvages constituait une ressource essentielle pour l'avenir de l'humanité. En conséquence, des dispositions furent prises à la FAO pour créer un groupe d'experts chargés de conseiller l'Organisation en matière de prospection végétale et d'utilisation du matériel collecté. C'est ce groupe qui, avec les conférences de la FAO de 1967 et de 1973, allait contribuer à faire de la gestion des

ressources génétiques une discipline à part entière. Les régions du monde à forte érosion génétique furent identifiées et les organismes de financement invités instamment à apporter leur aide, aux côtés de la FAO. Celle-ci créa un centre de prospection et de sélection végétales à Izmir, en collaboration avec les autorités turques (Hawkes et Lange, 1973). Après la Conférence de 1967, elle mit également sur pied un Groupe de l'écologie des cultures et des ressources génétiques, qui devait faire fonction de centre d'information et orienter et promouvoir les activités de gestion des ressources génétiques. Vers la même époque (1968), Eucarpia (Association européenne pour l'amélioration des plantes) se dota d'un comité pour les banques de gènes. Elle encouragea avec succès de nombreux gouvernements européens à lutter contre l'érosion génétique en constituant des banques de gènes de plantes cultivées, et elle collabora étroitement avec la FAO et, plus tard, avec le Conseil international des ressources phytogénétiques aux efforts déployés dans ce domaine (Hawkes et Lamberts, 1977).

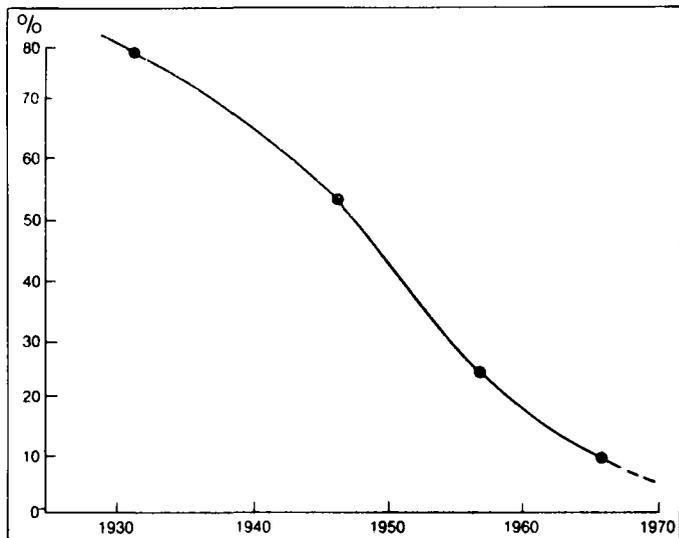
### Infrastructures administratives

En 1967, après la deuxième conférence technique de la FAO, j'avais observé que, alors que les principaux réservoirs de diversité génétique se situaient dans des pays du Tiers Monde, personne n'avait encore songé aux moyens d'assurer la formation théorique ou pratique de scientifiques de ces pays ou d'autres régions à la gestion des ressources génétiques. J'organisai donc en 1969, à Birmingham, un cours de maîtrise d'un an intitulé « Conservation et utilisation des ressources phytogénétiques ». Ce cours, qui a été dispensé chaque année, connaît toujours un grand succès et a accueilli en vingt et un ans plus de 300 étudiants d'une quarantaine de pays (Hawkes et Williams, 1976).

L'événement le plus marquant, dans notre effort de collecte et de conservation des ressources génétiques à l'échelle mondiale, a été sans conteste la création, en 1974, du Conseil international des ressources phytogénétiques (International Board for Plant Genetic Resources/IBPGR), sous le parrainage de la FAO, du GCRAI (Groupe

Figure 2

Exemple d'érosion génétique: part des vieux cultivars indigènes dans la production de blé en Grèce entre 1930 et 1966 (d'après Bennett, 1971).



consultatif pour la recherche agricole internationale), du PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement), de plusieurs donateurs privés et de nombreux pays donateurs.

Un autre fait extrêmement important, parallèlement à ceux que nous venons d'évoquer, a consisté en la création, sous les auspices du GCRAI, d'un réseau de centres internationaux de recherche agricole, dont chacun est financé directement par des pays et des organismes donateurs (fig. 3). Ces centres, qui s'apparentent à l'IBPGR, ont pour vocation de fournir aux pays en développement des matériels, des technologies et des services de formation pour les aider dans leur production agro-alimentaire. Ils sont également chargés d'assurer la collecte et la conservation des ressources génétiques et la mise à disposition gratuite de toutes celles qui sont en leur possession. Ainsi se sont constituées des collections mondiales de blé, de riz, de maïs, d'orge, de pommes de terre, de patates douces, de manioc, d'ignames, de sorgho, de millet, de pois chiches, de pois cajan, de lentilles, de haricots *Vigna* et *Phaseolus*, de diverses arachides, de haricots *Faba* et de fèves de soja, ainsi que de légumineuses et de plantes fourragères. Dans le cas de ces plantes cultivées et d'autres encore, l'IBPGR a fourni une aide, notamment aux pays en développement, pour l'organisation de missions de prospection et de collecte, l'élaboration de normes acceptables, le financement de recherches en cas de besoin et, d'une manière générale, la promotion dans ces pays de toutes les activités de gestion des ressources génétiques. Bien que financées par des fonds nationaux, les banques de gènes des pays industrialisés tirent elles aussi bénéfice des normes et procédures définies par l'IBPGR.

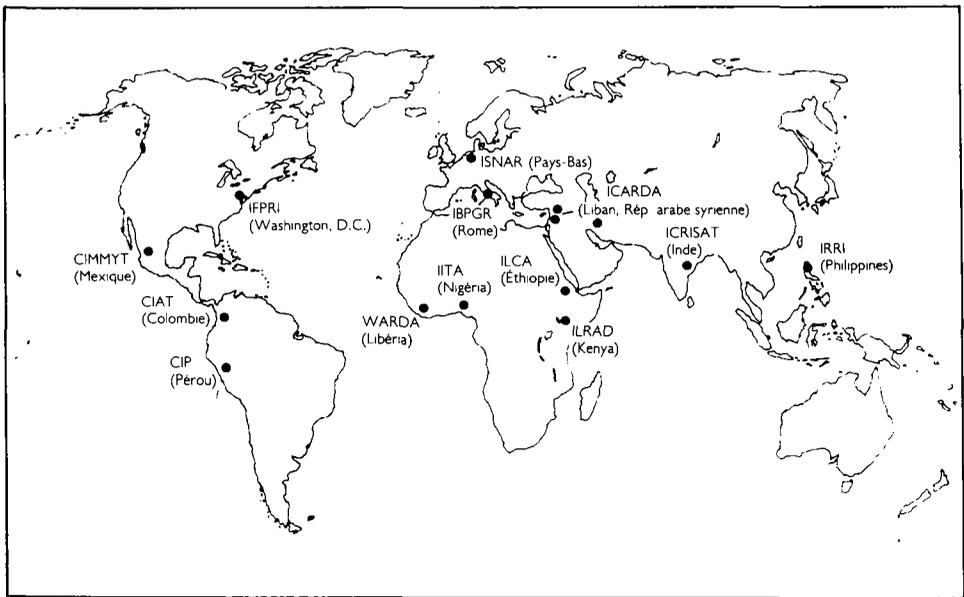


Figure 3

Le réseau du GCRAI (Hawkes, 1983, d'après CGIAR, 1980).

## La chaîne d'impact des ressources génétiques

Il devrait ressortir clairement de ce qui précède que la collecte et la conservation des ressources phytogénétiques se justifient par le désir de parer à la perte, potentielle ou effective, de diversité génétique sur le terrain. Celle-ci peut se traduire par la disparition ou la raréfaction de vieilles races locales ou de variétés anciennes, supplantées par des variétés modernes à haut rendement ou par des pâturages, des plantations de forêts, etc. On observe aussi une nette régression des espèces sauvages apparentées, sous l'effet de la pression démographique humaine, de l'extension des cultures et des pâturages, de l'urbanisation et de nombreux autres facteurs qui détruisent ou modifient le milieu naturel.

La conservation se justifie en outre par le fait que les sélectionneurs ont besoin de pouvoir accéder à une plus grande diversité génétique. Que la menace d'érosion génétique soit réelle ou potentielle, il suffit que les sélectionneurs recherchent des qualités de résistance ou d'adaptation jusqu'alors inconnues, ou de meilleurs types de ces qualités, qu'ils connaissent déjà mais jugent insuffisantes, pour rendre nécessaires la collecte, la conservation et l'évaluation d'une plus grande quantité de matériel. Dans les deux cas de figure, une série d'activités doivent être mises en place, chacune influençant la suivante en cascade. Ce processus, que j'ai appelé la chaîne des impacts, est illustré par la figure 4 (Hawkes, 1985, p. 2 et suiv.). Voyons ces activités dans l'ordre.

### Enquêtes

Les enquêtes sont indispensables à une bonne prospection. Ainsi, l'étude de la distribution connue des espèces fondée sur les flores et les spécimens d'herbier recueillis ou sur des monographies devrait fournir quelques indications touchant les formes sauvages des plantes cultivées et leur localisation. A titre d'exemple, les sélectionneurs de jute (*Corchoris*) ont récemment eu besoin de se procurer de nouveaux gènes appartenant à des espèces sauvages. Les deux espèces de jute cultivées sont particulièrement utiles à l'économie du Bangladesh et sont également cultivées ailleurs en Asie du Sud, mais on pensait trouver des espèces sauvages apparentées en Afrique de l'Est. Une étude de *Corchoris* a été faite dans les principaux herbiers d'Afrique de l'Est et d'Europe. Les espèces ont fait l'objet de nouvelles descriptions, plus précises, et leur distribution géographique en Afrique de l'Est a été confirmée. Sur la base de ces connaissances, des expéditions de collecte du matériel génétique ont été organisées avec succès.

Un autre type d'enquête consiste à déterminer avec exactitude, à partir d'inventaires et d'autres documents pertinents, les collections qui existent déjà dans les banques de matériel génétique et à dresser la liste des lieux où elles ont été obtenues – ce que l'on appelle les données d'enregistrement (*passport data*). Malheureusement, pour beaucoup de matériel conservé depuis longtemps dans les banques de gènes, nous ne disposons d'aucune information de ce type ; en revanche, pour les collections constituées au cours des quinze à vingt dernières années, ces informations sont en général enregistrées dans une base de données informatisée. A partir du moment où l'on sait ce qui a été recueilli auparavant et dans quelles régions, on peut combler les lacunes et collecter du matériel utile.

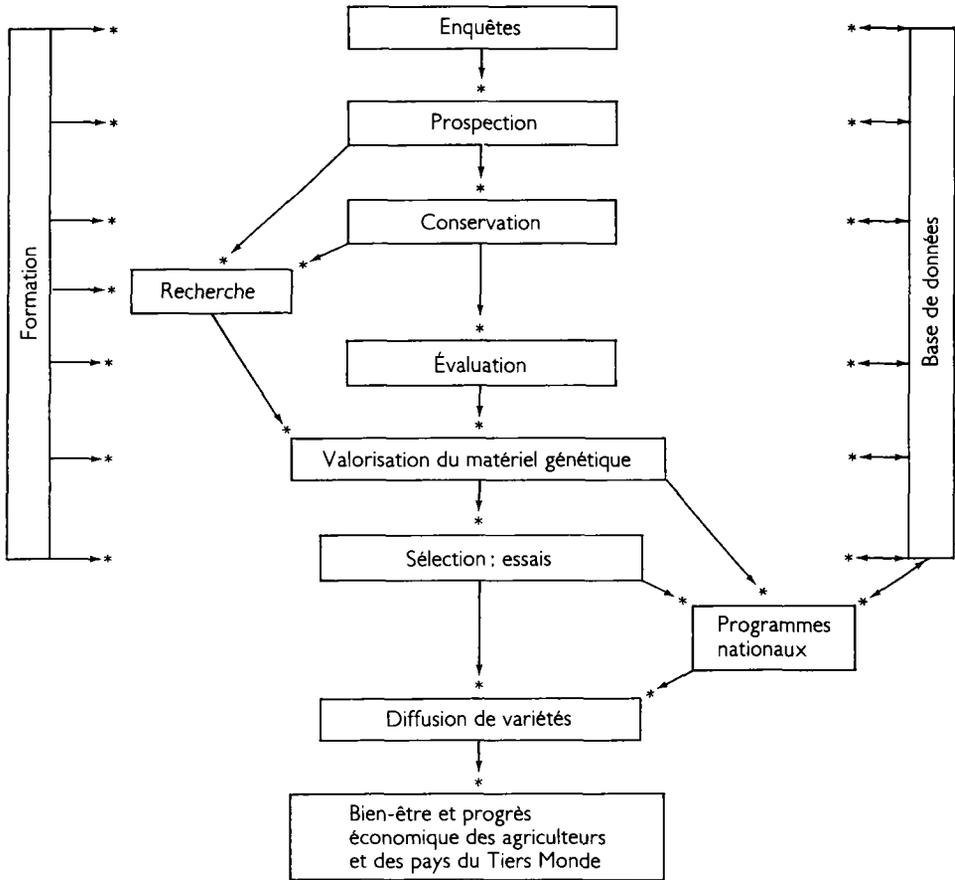


Figure 4 Chaîne des impacts (\*) des ressources génétiques (Hawkes, 1985).

### Prospection

Le mot prospection est souvent utilisé dans le même sens que «collecte», mais il a, semble-t-il, une meilleure consonance pour nos oreilles modernes ! La collecte de matériel génétique a beaucoup évolué par rapport à ce qu'elle était dans les premières années, où l'on pensait qu'il suffisait de ramasser un épi de céréale et d'inscrire le nom du pays sur une étiquette. Nous savons maintenant à quel point il est important d'échantillonner les populations correctement et de recueillir toutes les données d'enregistrement pertinentes (Marshall et Brown, 1975).

### Conservation

On a beaucoup appris sur la conservation des semences au cours des trente dernières années. On sait maintenant qu'on peut conserver des graines de types normaux, ou «orthodoxes», pendant de très longues périodes à des températures inférieures à zéro, à condition d'avoir ramené leur teneur en humidité à environ 4 à 5 % (Roberts, 1975). Les séchoirs et les installations frigorifiques deviennent un élément d'équipe-

ment courant, les graines étant, quant à elles, stockées dans des boîtes métalliques hermétiquement fermées, des bouteilles en verre ou des sachets en plastique. Malheureusement, toutes ne sont pas « orthodoxes » par nature. Certaines graines d'arbres, de plantes arbustives ou de fruits tropicaux n'ont pas de période naturelle de dormance et meurent vite si on ne leur donne pas la possibilité de germer immédiatement. Ces espèces dites « récalcitrantes » nécessitent d'autres méthodes de stockage, notamment la culture de méristèmes ou d'apex de tige *in vitro*, ou la plantation dans des vergers, etc. – c'est-à-dire des banques de gènes de terrain (Withers et Williams, 1982).

Toutes ces méthodes de conservation sont dites *ex situ*, car les graines ou d'autres parties de la plante sont recueillies et transportées ailleurs qu'à l'endroit où elles poussaient déjà ou étaient déjà cultivées. Une autre méthode de conservation – certes moins commode pour les sélectionneurs qui aiment pouvoir disposer de matériel d'étude – est dite *in situ*. Cela veut dire que des réserves forestières ou naturelles ou des sites de conservation sont institués et soigneusement préservés dans un état aussi naturel que possible afin de conserver l'écosystème dans sa totalité ainsi que les formes apparentées aux plantes cultivées qu'il renferme. La réserve de Manatlan, dans l'ouest du Mexique, où pousse un parent très rare du maïs, *Zea diploperennis*, en est un exemple bien connu. D'autres réserves encore, telles que la zone de conservation de variétés sauvages de blé et d'orge en Israël, ont été établies ou sont en voie de l'être (Noy-Meir *et al.*, 1989 ; Noy-Meir, 1990).

### Évaluation

Jusqu'à une date relativement récente, les gestionnaires de banques de gènes pensaient s'être acquittés de leur tâche dès lors qu'ils avaient constitué une réserve de ressources génétiques et, à la rigueur, fait parvenir un inventaire ou une liste de leurs acquisitions aux sélectionneurs et autres scientifiques. Mais il apparaît maintenant à l'évidence qu'une évaluation de ces ressources est indispensable pour que les sélectionneurs ou autres personnes intéressées sachent quels gènes utiles ces collections ont à offrir.

L'IBPGR fournit des listes de descripteurs standard pour les plantes cultivées afin que les données les concernant puissent être enregistrées et conservées sous une forme normalisée. La description des caractères agronomiques et morphologiques peut être menée à bien par le personnel de la banque de gènes. En revanche, celui-ci ne dispose généralement pas de moyens permettant d'opérer un tri selon la résistance aux insectes et aux maladies et l'adaptation à des milieux difficiles. Or ce sont précisément ces qualités de résistance et d'adaptation qui, bien souvent, intéressent les sélectionneurs, plus que les caractères morphologiques ou agronomiques qu'ils possèdent déjà dans leurs collections de travail. La détermination de ces deux qualités doit donc être confiée à des laboratoires de recherche, parfois situés dans d'autres pays ; elle n'en demeure pas moins indispensable à une bonne utilisation des collections de matériel génétique.

### Valorisation du matériel génétique

On pourrait objecter que cet aspect de la conservation des ressources génétiques n'est pas du ressort des gestionnaires des banques de gènes. Je ne partage pas ce point de vue, pour la raison suivante : une bonne part des ressources « brutes » est constituée

d'espèces sauvages ou de races locales anciennes – appelées parfois « formes primitives ». Celles-ci sont génétiquement très éloignées d'un cultivar issu d'une sélection poussée, de sorte que lorsqu'on les croise avec de bonnes lignées, on n'obtient pas seulement les gènes de résistance recherchés mais aussi beaucoup d'autres gènes qui déterminent un faible rendement, une croissance médiocre ou une comestibilité et un comportement à la cuisson inacceptables. Il faut alors soumettre le cultivar à de nombreux rétrocroisements en procédant à chaque génération à des sélections en fonction de la résistance et de la valeur alimentaire. Cette « valorisation » du matériel génétique est parfois appelée « présélection » (anonyme, 1983). Dès que des lignées suffisamment améliorées deviennent disponibles, les sélectionneurs se montrent plus intéressés qu'ils ne l'étaient par le matériel génétique « brut » qui leur était proposé.

### *Sélection*

Sans doute le travail de sélection sort-il du cadre du présent article. Nous le mentionnons cependant ici car c'est sur lui que débouchent les activités de gestion des ressources génétiques évoquées plus haut (voir aussi Brown *et al.*, 1989).

Un autre aspect à prendre en considération est celui du financement. La prospection et la conservation des ressources génétiques sont des activités relativement coûteuses. Par leur nature même, les banques de gènes doivent pouvoir compter sur un soutien financier année après année, car en cas d'interruption les graines périraient et tout le processus de conservation génétique serait réduit à néant.

Par ailleurs, les hauts responsables de l'administration et les dirigeants politiques seront plus disposés à continuer à financer une banque de gènes si on leur présente des spécimens de nouvelles variétés obtenues à partir de matériel de cette banque, qui parfois sont déjà sur le marché et qui contribueront à augmenter la production et réduire les risques de famine. La leçon est claire : une collection de musée illustrant une diversité génétique plaît au scientifique, mais une collection d'étude servant à obtenir des variétés végétales améliorées est beaucoup plus apte à attirer des financements.

### **Conclusion**

En résumé, même si la diversité génétique des plantes cultivées et de leurs congénères sauvages a, dans une certaine mesure, diminué, une bonne partie a été préservée pour le présent et l'avenir. Mais il ne faut pas se réjouir trop vite. Bon nombre de plantes cultivées de moindre importance sont encore menacées de disparition et la destruction des écosystèmes naturels, où poussent des formes sauvages ainsi que de nombreuses autres espèces qui ne sont même pas étudiées ou nommées, se poursuit. C'est là un vaste problème auquel il faut apporter une réponse sans délai si l'on veut offrir à l'espèce humaine elle-même quelque chance de survie. ■

Références

- ANONYME. 1983. Eucarpia workshop on pre-breeding in relation to gene banks. *Acta Biologica Jugoslavica*. Ser. F. Genetica, suppl. III, Belgrade-Zemun.
- BENNETT, E. 1971. The origin and importance of agroecotypes in south-west Asia. Dans : P. H. Davis, P. C. Harper et I. C. Hedge (dir. publ.), *Plant life of south-west Asia*. Édinburgh, Botanical Society of Edinburgh.
- BROWN, A. H. D. ; MARSHALL, D. R. ; FRANKEL, O. H. ; WILLIAMS, J. T. 1989. *The use of plant genetic resources*. Cambridge, Cambridge University Press.
- CGIAR. 1980. The Consultative Group on International Agricultural Research. New York.
- FRANKEL, O. H. ; BENNETT, E. (dir. publ.). 1970. *Genetic resources in plants – Their exploration and conservation*. Oxford, Blackwell Scientific. 554 p. (IBP Handbook. 11.)
- FRANKEL, O. H. ; HAWKES, J. G. (dir. publ.). 1975. *Crop genetic resources for today and tomorrow*. Cambridge, Cambridge University Press. (IBP synthesis, vol. 2.)
- HARLAN, H. V. 1957. *One man's life with barley*. New York, Exposition Press.
- HAWKES, J. G. 1983. *The diversity of crop plants*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- . 1985. Plant genetic resources : the impact of the international agricultural research centers. Washington, D.C., Banque mondiale. (CGIAR, document d'étude, 3.)
- ; LAMBERTS, H. 1977. Eucarpia's fifteen years of activities in genetic resources. *Euphytica*, 26, p. 1-3.
- ; LANGE, W. (dir. publ.). 1973. *European and regional gene banks*. Wageningen, Eucarpia.
- ; WILLIAMS, J. T. 1976. The first six years : postgraduate training at Birmingham. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 32, p. 2-7.
- HOLDEN, J. H. W. ; WILLIAMS, J. T. (dir. publ.). 1984. *Crop genetic resources : conservation and evaluation*. Londres, George Allen & Unwin.
- MARSHALL, D. R. ; BROWN, A. H. D. 1975. Optimum sampling strategies in genetic conservation. Dans : O. H. Frankel et J. G. Hawkes (dir. publ.), *Crop genetic resources for today and tomorrow*. *op. cit.*
- NOY-MEIR, I. 1990. The effect of grazing on the abundance of wild wheat, barley and oat in Israel. *Biological Conservation*, 51, p. 299-310.
- ; ANIKSTER, Y. ; WALDMAN, M. ; ASHRI, A. 1989. Population dynamics research for *in situ* conservation : wild wheat in Israel. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 75/76, p. 9-11.
- ROBERTS, E. H. 1975. Problems of long-term storage of seed and pollen for genetic resources conservation. Dans : O. H. Frankel et J. G. Hawkes (dir. publ.), *Crop genetic resources for today and tomorrow*. *op. cit.*
- VAVILOV, N. I. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*, 13, p. 1-366. (Traduit du russe par K. Starr, Chester.)
- WITHERS, L. A. ; WILLIAMS, J. T. 1982. *Crop genetic resources : the conservation of difficult material*. Paris, UISB. (Série B.42.)

---

# La préservation des ressources phytogénétiques dans les banques de gènes

Louis J. M. van Soest

*Depuis un siècle, la sélection et l'adoption de variétés améliorées uniformes ont entraîné une diminution de la diversité génétique des principales plantes cultivées. La conservation des ressources phytogénétiques est donc devenue nécessaire et dépend, en grande partie, des bonnes conditions de stockage des semences et autre matériel phytogénétique dans des banques de gènes. Le présent article porte sur les aspects techniques de ces banques de gènes et sur le traitement et la gestion des ressources phytogénétiques, autrement dit du matériel génétique végétal.*

Depuis la révolution agricole de l'époque néolithique, les cultures de plein champ comme le blé, le riz, le maïs, l'orge, le sorgho, les pois et les haricots fournissent à l'homme un approvisionnement alimentaire stable. Vers le début de ce siècle, bien peu d'agronomes étaient conscients de la nécessité de conserver les ressources phytogénétiques en vue de l'amélioration future des espèces, et le matériel recueilli auparavant a été perdu. La sélection et la révolution verte mises en œuvre dans de nombreuses régions du monde ont fait disparaître les races locales et les variétés anciennes de nos principales cultures vivrières. Les agriculteurs ont préféré cultiver de nouvelles variétés uniformes à haut rendement alors qu'il n'existait pas d'établissement chargé de préserver l'ancien matériel. Cet appauvrissement rapide de la diversité génétique des plantes cultivées est souvent appelé « érosion génétique ». C'est seulement depuis une trentaine d'années que la communauté agricole, en particulier les sélectionneurs, s'est rendu compte que notre patrimoine génétique végétal se réduisait peu à peu.

Dans son article d'introduction au présent numéro, J. G. Hawkes décrit les mesures qui ont été prises au cours des années 60 et 70 pour créer des centres internationaux afin de remédier à cette situation. Le travail accompli par le Conseil international des ressources phytogénétiques (IBPGR) et les centres internationaux de recherche agricole sous les auspices du Groupe consultatif pour la recherche agricole

---

Louis J. M. van Soest s'occupe, depuis 1974, des programmes de ressources phytogénétiques des plantes fourragères (FAO, Kenya), des pommes de terre (coopération germano-hollandaise dans le domaine des ressources phytogénétiques, République fédérale d'Allemagne) et de plusieurs cultures agricoles (Centre de ressources génétiques des Pays-Bas, CGN). Il a été responsable d'expéditions d'exploration botanique au Kenya, en Bolivie, au Pakistan et aux Pays-Bas. Depuis le début de l'année 1990, L. van Soest dirige le Département des cultures potentielles du Centre de recherche de semences (CPO) de Wageningen, Pays-Bas. On peut entrer en contact avec lui à l'adresse suivante: Centre for Plant Breeding Research (CPO), Postbus 16, 6700AA Wageningen, Pays-Bas.

---

internationale (GCRAI) s'est, depuis, révélé indispensable pour la conservation des ressources phylogénétiques mondiales.

### Historique

La première grande banque de gènes a été constituée dans les années 20 à Leningrad (URSS) à la suite des travaux menés par le spécialiste russe N. I. Vavilov et ses collaborateurs. Vers le début du siècle, d'autres pays ont envoyé des missions d'exploration botanique, mais le matériel recueilli servait surtout pour les programmes de sélection et n'était pas correctement conservé. Par ailleurs, il existait dans certains pays des stations d'introduction de végétaux et des collections exploitées, mais pas d'installations appropriées pour la conservation du matériel. Aux États-Unis d'Amérique, un établissement national de stockage des semences à long terme a été mis en place à Fort Collins (Colorado) vers le milieu des années 50. En Europe, des banques de gènes ont été créées aussitôt après la seconde guerre mondiale, en République démocratique allemande (Gatersleben), en Tchécoslovaquie (Prague-Ruzyne) et en Hongrie (Tapiozele). Une quinzaine d'années plus tard, l'Association européenne pour l'amélioration des plantes (Eucarpia) a pris l'initiative de constituer un réseau européen de banques de gènes. Il en est résulté qu'au milieu des années 70, deux nouvelles banques de gènes se sont mises en place, l'une en Italie (Bari) et l'autre en République fédérale d'Allemagne (Braunschweig). Avec le soutien financier de la FAO, une banque de gènes régionale avait commencé à fonctionner un peu plus tôt à Izmir (Turquie). Plusieurs nouvelles banques de gènes ont été ouvertes après la création de l'IBPGR en 1974. Aujourd'hui, il en existe dans le monde plus de soixante qui sont dotées d'installations de stockage à long ou à moyen terme. Ces établissements peuvent être classés comme suit :

*Banques de gènes nationales.* En général, elles sont responsables de toutes les ressources génétiques de plantes cultivées d'intérêt national. Actuellement, plus de quarante pays ont leur banque nationale.

*Banques de gènes régionales.* Comme la Banque de gènes nordique (NGB, Suède), au titre de la coopération entre les cinq pays nordiques.

*Banques de gènes spécialisées.* Les neuf installations des instituts internationaux de recherche (tableau 1) : le Centre de recherche et de développement sur les légumes en Asie (AVRDC, Taïwan) et les instituts spécialisés existant dans plusieurs pays qui ne possèdent pas de banque nationale (comme la France, le Royaume-Uni, l'Autriche).

*Banques bilatérales.* Comme la Banque germano-néerlandaise de gènes de la pomme de terre et la Banque néerlandaise-allemande de gènes de la betterave. Certains pays comme l'Australie, le Japon, les États-Unis d'Amérique, le Brésil et l'Inde possèdent une banque nationale ainsi que des banques spécialisées établies dans des universités ou des instituts.

Indépendamment des banques de gènes de semences classiques, de nombreuses installations abritent des collections de plantes à multiplication végétative. Elles sont parfois appelées banques de gènes en champ (arbres fruitiers, plantes tubéreuses, palmiers, noix et autres plantes vivaces comme le café, le cacao, les herbes et les broussailles) ou centres de dépôt (par exemple pour les baies, les labiacées, les houblons, etc.). Enfin, plusieurs banques de gènes *in vitro* appliquent les techniques de culture de cellules à des plantes cultivées à multiplication végétative comme la pomme de terre, la patate douce, le manioc et l'igname.

Tableau 1 *Matériel génétique détenu par les centres internationaux de recherche agricole du GCRAI<sup>1</sup>*

Centre GCRAI/pays	Plantes principales	Nombre de spécimens
CIAT/Colombie	Haricots, manioc	40 000
CIMMYT/Mexique	Blé, maïs	48 000
CIP/Pérou	Pomme de terre et patate douce	10 000
ICARDA/Rép. arabe syrienne	Orge, blé, lentilles, pois, fèves, pois chiches	87 000
ICRISAT/Inde	Millet, sorgho, pois cajan, arachide	96 000
IITA/Nigéria	Dolique, soja, riz, patate douce, manioc	40 000
ILCA/Éthiopie	Graminées fourragères, légumineuses, broussailles	9 000
IRRI/Philippines	Riz	83 000
WARDA/Libéria	Riz	6 000
Total		419 000

1. De nombreuses banques de gènes nationales et régionales détiennent aussi des espèces des plantes mentionnées.

### Collecte des ressources phytogénétiques

Des expéditions d'exploration botanique avaient déjà eu lieu avant 1900, mais N. I. Vavilov et ses collaborateurs ont été les premiers à explorer et à décrire systématiquement la diversité des plantes cultivées et les espèces sauvages qui leur sont apparentées. Les variations considérables observées pour plusieurs plantes cultivées importantes ont conduit Vavilov à formuler la théorie des centres géographiques de diversité génétique. Ces centres ont été explorés ensuite par plusieurs organisations et par des chercheurs individuels. Des expéditions s'intéressant à une ou à plusieurs espèces ont été organisées par des botanistes et des sélectionneurs. Une certaine proportion du matériel génétique ainsi recueilli est toujours disponible dans les banques de gènes, mais la majeure partie a été perdue : il était destiné principalement aux programmes de sélection et on n'a pas jugé utile de le conserver. Après la seconde guerre mondiale, des expéditions d'exploration botanique ont été à nouveau organisées et la FAO a joué à cet égard un rôle important. Des missions de collecte se sont rendues dans le bassin méditerranéen, en Asie, en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Elles ont recueilli en particulier des espèces locales de céréales, de légumineuses, de maïs, de pommes de terre et de certains légumes. Les espèces sauvages apparentées n'ont pas fait l'objet d'une prospection aussi poussée. Le matériel recueilli pendant la période 1950-1970 est toujours conservé dans plusieurs banques de gènes d'Europe et d'Amérique du Nord, mais une partie a été perdue. Le Groupe international des ressources génétiques végétales a maintenant élaboré un système qui garantit l'entretien et la conservation de ce matériel dans de bonnes conditions. Un réseau de centres chargés de sauvegarder le matériel génétique, ancien ou nouvellement recueilli, de quelque vingt-cinq importantes plantes cultivées dans les champs et les jardins a été créé. Avec le soutien de l'IBPGR, plus de 500 missions de collecte ont été organisées

au cours des quinze dernières années et le matériel génétique recueilli a été envoyé à ces centres pour régénération, préservation et documentation.

### Réserves génétiques de plantes cultivées

La diversité génétique d'une plante cultivée peut être définie comme la variation génétique totale de l'espèce, ou du groupe d'espèces, disponible pour l'amélioration de la plante. Plusieurs spécialistes ont élaboré un système de réserves génétiques pour les plantes cultivées, fondé sur la taxonomie ou sur les possibilités de croisement à l'intérieur du fonds génique disponible. Ce système ne coïncide pas toujours avec la taxonomie traditionnelle de la plante. La classification la plus commode des réserves génétiques de plantes cultivées est peut-être la suivante :

le fond génique de l'espèce biologique de la plante cultivée proprement dite, y compris les anciennes races locales, les variétés abandonnées et modernes et les lignées obtenues par sélection. Il est toujours possible d'y opérer des croisements. En général, les sélectionneurs ont tendance à utiliser d'abord cette réserve génétique. La majeure partie du matériel génétique détenu dans les banques de semences appartient à ce type (de 60 à 90 % selon la plante);

les espèces apparentées primitives cultivées : les croisements avec la plante cultivée sont souvent réalisables, mais parfois difficiles voire impossibles. La quantité de matériel détenue varie d'une plante à l'autre, mais est en général inférieure à 20 % du capital génétique total;

mauvaises herbes et espèces sauvages apparentées : les croisements des espèces de ce groupe avec la plante cultivée sont plus ou moins faciles, parfois impossibles. Les sélectionneurs y recourent seulement pour obtenir des gènes particuliers et rares. La plupart des banques de gènes en détiennent un nombre limité, qui souvent ne dépasse pas 10 % du capital génétique total disponible.

La majeure partie du matériel génétique de nos principales plantes cultivées qui est détenu dans les banques de gènes provient donc de la véritable espèce biologique de la plante proprement dite. A certaines exceptions près – la pomme de terre, le blé et des légumes comme la tomate, le poivron et l'aubergine par exemple –, les banques de gènes ne détiennent qu'un nombre limité d'espèces primitives cultivées et sauvages

Figure 1

Collecte de pommes de terre primitives sur un marché bolivien (Potosi).



apparentées. Les activités de collecte doivent comprendre aussi l'échantillonnage de ce matériel. Les réserves génétiques d'espèces primitives cultivées et sauvages apparentées constituent la principale source de diversité génétique utilisable pour la sélection.

Tableau 2 Réserves génétiques de quelques plantes cultivées importantes

Plante cultivée	Nombre de spécimens distincts de la réserve globale (estimation)	Nombre d'espèces identifiées	
		Espèces primitives cultivées apparentées	Espèces sauvages et mauvaises herbes apparentées
<i>Triticum aestivum</i> (blé)	125 000	5 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>
<i>Oriza sativa</i> (riz)	90 000	1	20 <sup>a</sup>
<i>Hordeum vulgare</i> (orge)	60 000	1	30 <sup>a</sup>
<i>Zea mays</i> (maïs)	50 000	—	3
<i>Lycopersicum esculentum</i> (tomate)	10 000	1	8 <sup>a</sup>
<i>Pisum sativum</i> (pois)	6 500	1	5 <sup>a</sup>
<i>Solanum tuberosum</i> (pomme de terre)	12 000	7 <sup>a</sup>	250 <sup>a</sup>
<i>Beta vulgaris</i> (betterave)	5 300	—	11 <sup>a</sup>

a. Le nombre d'espèces recensées dépend du système de taxonomie.

Le tableau 2 fournit une estimation du nombre total d'échantillons distincts pour plusieurs plantes cultivées importantes ainsi que le nombre d'espèces identifiées sous forme de variétés primitives cultivées, de variétés sauvages et de mauvaises herbes. Étant donné qu'il existe plusieurs écoles de taxonomie, il est difficile de connaître le nombre exact des espèces identifiées. Pour le blé, plus de 400 000 échantillons sont détenus dans plus de 35 banques de gènes réparties à travers le monde. Toutefois, le nombre estimatif des spécimens distincts n'est que de 125 000, ce qui signifie qu'un grand nombre d'entre eux sont conservés en double. D'autres exemplaires de la plupart des spécimens originaux sont conservés dans une ou deux autres banques de gènes. C'est une mesure de sécurité très importante, car du matériel peut se perdre en raison de circonstances imprévues.

### Régénération du matériel génétique

La régénération du matériel génétique est l'une des tâches majeures des banques de gènes, puisque les ressources génétiques doivent être constamment disponibles pour la conservation à long terme et la fourniture aux utilisateurs. Les procédés utilisés diffèrent selon qu'il s'agit de plantes à reproduction sexuée, dont les semences peuvent être conservées, ou de plantes à multiplication végétative. Dans le premier cas, les besoins de multiplication et la fréquence de régénération dépendent de la dimension de l'échantillon initial, de la demande des utilisateurs et de la viabilité de l'échantillon conservé. La plupart des banques de gènes ont mis en place des programmes permanents et régénèrent chaque année de 500 à 5 000 échantillons selon la plante concer-

née et la capacité disponible. Il importe que le programme de régénération évite toute perte de variation génétique de l'échantillon original. Pour opérer dans les meilleures conditions, il convient de tenir compte des aspects suivants : mode de reproduction de la plante, taille de l'échantillon initial, sélection naturelle au sein de la population initiale, contamination par d'autres échantillons soit dans la nature (pollinisation) soit pendant la manipulation des semences, fréquence de régénération.

Bien que l'autopollinisation ou la pollinisation croisée complètes soient rares, les banques de gènes divisent les espèces en deux groupes selon ce critère pour les procédures de régénération. Les plantes autopollinisantes peuvent être manipulées facilement par la plupart des banques de gènes et, en pratique, on peut obtenir la multiplication de plusieurs centaines d'échantillons dans un même champ. Par contre, les plantes à pollinisation croisée doivent être isolées et la capacité de régénération dépend alors des installations prévues à cet effet. L'isolement est réalisé par les moyens suivants : utilisation des différences de période de floraison, isolement spatial dans un champ, en particulier pour les plantes aménophiles (fig. 2 ), isolement artificiel dans des cages ou des serres à l'abri des insectes ou du pollen, pollinisation manuelle contrôlée.

Pour les plantes à pollinisation croisée, il est conseillé d'utiliser de 50 à 80 plantes pour chaque régénération afin d'éviter une perte des gènes de la population. De bonnes conditions de stockage peuvent abaisser considérablement la fréquence de régénération. Plusieurs semences peuvent être conservées plus de cinquante ans si elles sont stockées dans des conditions optimales. Au cours de chaque régénération, la banque de gènes doit donc produire une quantité suffisante de semences pour le stockage à long terme afin de réduire au minimum la fréquence de l'opération.

Pour les plantes à multiplication végétative, il arrive souvent que les propagules ne supportent pas un stockage prolongé et exigent une régénération fréquente des racines, des tubercules, des oignons ou des cormes, par exemple. Quelques plantes vivaces dont les propagules sont faciles à obtenir, comme les graminées et les baies, font exception à cette règle. Les plantes à multiplication végétative sont en général conservées dans des banques de gènes en plein champ ou dans des collections vivantes, parfois en serre. Leur régénération et leur entretien sont beaucoup plus coûteux et exigent une main-d'œuvre plus importante que ceux des plantes à semences. Certaines banques de gènes rajeunissent et distribuent aussi des cultures *in vitro* de certaines plantes à multiplication végétative. Cette méthode est elle aussi coûteuse et grande consommatrice de main-d'œuvre, mais il est nécessaire d'y recourir pour certaines plantes afin de produire du matériel sain.

### **Évaluation du matériel génétique**

L'évaluation peut être définie comme une description de végétaux ou de groupes de végétaux (populations) du point de vue de leurs propriétés morphologiques, agronomiques et qualitatives. Par le passé, les programmes réalisés dans ce domaine donnaient la priorité à la collecte et à l'entretien du matériel génétique. Mais l'évaluation est la condition d'une meilleure utilisation des collections. Les sélectionneurs doivent pouvoir choisir le matériel nécessaire à leurs programmes à partir d'une bonne description des collections. Trois catégories d'évaluation du matériel génétique peuvent être distinguées :

### *La caractérisation*

Elle comprend la description morphologique de base des spécimens acquis : identification, classification, contamination des semences, etc. En règle générale, ces opérations sont exécutées par la banque de gènes, mais le responsable peut demander l'assistance de spécialistes, par exemple pour identifier des espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées.

### *L'évaluation préliminaire*

C'est une description des propriétés agronomiques ; elle est faite en même temps que la régénération, sauf dans certains cas où elle exige des essais spéciaux. Elle porte très souvent sur des caractères à forte composante héréditaire comme la taille de la plante ou la longueur des capitules, mais aussi sur des aspects comme la période de floraison et de maturation, et la résistance en champ aux parasites et aux maladies qui surviennent spontanément. En général, cette évaluation peut être menée à bien par la banque elle-même. Les résultats n'ont qu'une valeur indicative, car les essais grâce auxquels ils sont obtenus sont rarement répétés.

### *L'évaluation approfondie*

Elle exige souvent des connaissances particulières et des installations spéciales d'essai et d'analyse. Elle comporte non seulement l'examen des propriétés biochimiques,



Figure 2

Régénération de plusieurs plantes à pollinisation croisée placées en isolement spatial aux Pays-Bas (Wageningen).

physiologiques et cytogénétiques, mais aussi des essais en laboratoire effectués pour déterminer la résistance aux parasites et aux maladies. Dans les banques de gènes polyvalents, il est rare que le responsable puisse faire lui-même cette évaluation, et il doit donc confier cette tâche à des spécialistes. Dans certaines banques de gènes spécialisées, comme celles des instituts internationaux de recherche, les services compétents procèdent à l'évaluation approfondie.

### Listes des descripteurs

L'évaluation commence par l'élaboration d'une liste qui comprend une série de descripteurs établis par des spécialistes des plantes. Le plus souvent, ces listes contiennent un ensemble de données d'identité (concernant l'origine) ainsi que des sections relatives aux trois catégories d'évaluation susmentionnées. Plus de quarante listes de descripteurs des principales plantes cultivées ont été établies sous les auspices de l'IBPGR. Plusieurs banques de gènes ont également élaboré les leurs. Il existe de grandes listes contenant plus de 100 descripteurs, mais la plupart des banques de gènes disposent aussi de listes courtes qui ne comptent pas plus de 25 descripteurs et ont été préparées spécialement pour les programmes de régénération. Chaque liste doit donner une définition claire de chacun des caractères décrits et indiquer la méthode de notation appliquée. La valeur du descripteur (état du descripteur) peut être formulée en unités réelles (grammes, mètres), au moyen d'échelles normalisées (0-9) ou encore par des lettres de l'alphabet (par exemple R = résistant, S = sensible). Il arrive que des symboles de gènes soient assignés aux descripteurs.

### Conservation du matériel génétique

Pour conserver le matériel génétique récolté, il faut disposer d'installations appropriées. On distingue les méthodes de conservation suivantes :

#### *Stockage de semences dans des banques de gènes classiques*

Pour les végétaux à reproduction sexuée dont les semences peuvent être stockées (semences orthodoxes), la conservation dans des banques de semences est la méthode la plus efficace. Elle exige toutefois que le stockage ait lieu à basse température, avec un faible taux d'humidité. Pour assurer une longévité optimale des semences, il faut procéder avant stockage à une dessiccation, pour abaisser leur teneur en eau jusqu'à 5 à 8 %. Les banques de gènes modernes disposent de salles spéciales dont la capacité atteint 50 m<sup>3</sup> (fig. 3), mais des congélateurs de type coffre de 140 à 600 litres autorisent également un stockage satisfaisant. La longévité varie considérablement d'une plante à l'autre ; elle est de cinq à vingt-cinq ans pour le stockage à moyen terme (0-5 °C) et de vingt-cinq à cinquante ans ou plus pour le stockage à long terme (-10 à -20 °C). Les semences de nombreuses plantes cultivées en plein champ comme le blé, l'orge, le riz, le maïs, le sorgho, les pois, la pomme de terre et les légumes peuvent être conservées pendant de longues périodes dans des banques de semences. Pour faire en sorte que leur teneur en eau reste faible, elles sont placées dans un emballage imperméable à l'eau et à l'air (verre, métal, plastique doublé d'aluminium, etc.).

### *Conservation in vivo, banques de gènes en champ ou collections vivantes*

Les plantes à semences récalcitrantes et plusieurs plantes à multiplication végétative doivent être conservées dans des banques de gènes en champ ou dans des collections vivantes. Les semences récalcitrantes ne survivent pas aux basses températures et/ou à la déshydratation. Le cacao, le caoutchouc et la noix de coco en sont des exemples. Les plantes à multiplication végétative cultivées à des fins commerciales sont conservées dans des collections vivantes: c'est le cas de la pomme de terre, de la patate douce, du manioc, de certains arbres fruitiers et de bulbes de fleurs. Beaucoup de ces espèces ne produisent pas de semences; dans d'autres cas, il faut conserver des variétés obtenues par clonage et dotées de propriétés particulières (par exemple pour la pomme de terre et les herbes [fig. 4]). Ces méthodes de conservation exigent une superficie considérable en plein champ ou dans des serres et sont donc non seulement onéreuses mais aussi fortes consommatrices de main-d'œuvre.

### *Stockage in vitro*

On appelle stockage *in vitro* la conservation des plantes dans des conditions expérimentales ou en laboratoire. Cette formule est applicable à de nombreuses plantes mentionnées au paragraphe précédent, mais aussi à d'autres types de cultures. Pour le stockage du matériel génétique, on part en général d'extrémités méristématiques, de bourgeons ou d'extrémités de tiges, qui sont reproduits par division dans des éprouvettes. Les plantations peuvent être stockées dans diverses conditions, mais elles sont généralement maintenues à basse température (de -3 à 12 °C) pour créer une situation de croissance lente et prolonger ainsi la durée de conservation. Le stockage *in vitro* est lui aussi onéreux et exige beaucoup de main-d'œuvre en raison des repiquages qu'il faut effectuer après une certaine période (six mois à deux ans selon la plante).

La cryoconservation, stockage dans l'azote liquide à -196 °C, est une forme de conservation *in vitro* à long terme. En principe, les cultures peuvent être conservées indéfiniment, ce qui réduit considérablement le travail nécessaire. Toutefois, de nombreuses recherches devront encore être faites avant que cette méthode ne devienne effectivement exploitable.

### *Conservation in situ*

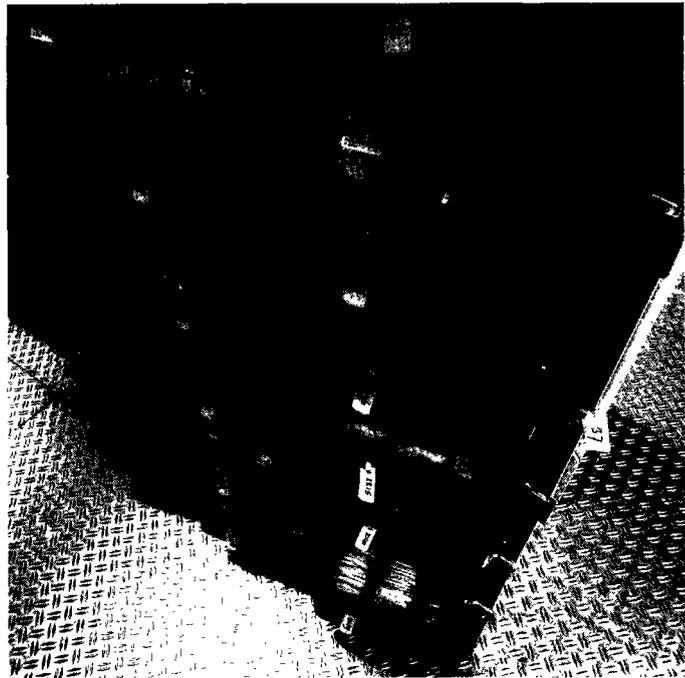
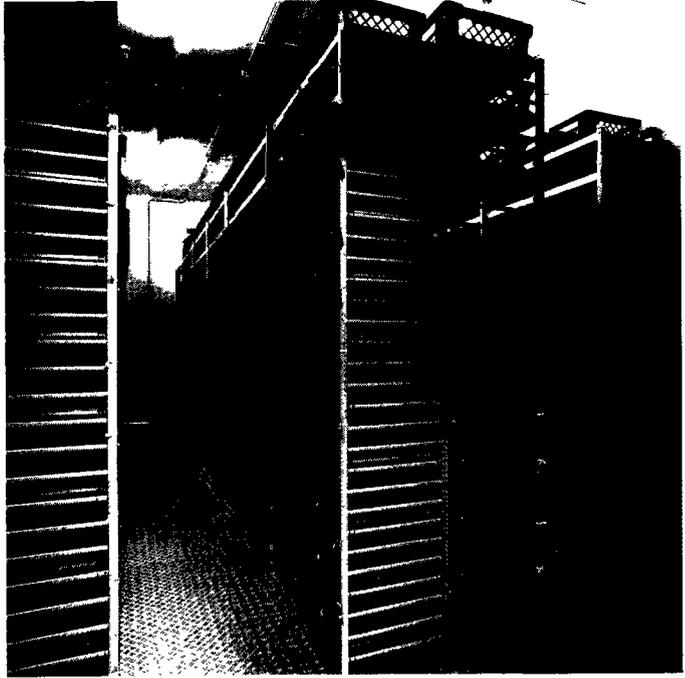
La conservation *in situ* consiste, littéralement, à maintenir les végétaux dans leur milieu naturel. Il existe dans le monde plusieurs zones protégées où des espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées sont conservées. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet l'évolution par mutation, la sélection naturelle, l'introgression ou l'hybridation entre espèces différentes. Elle a toutefois l'inconvénient d'être très onéreuse et d'exiger une bonne organisation.

## **Gestion informatique des collections**

La gestion des grandes collections passe par l'exploitation de systèmes informatiques modernes. La plupart des banques de gènes utilisent des ordinateurs pour la mise en mémoire des données: unités centrales de traitement, micro-ordinateurs et ordina-

Figure 3

Conservation des semences à la banque de gènes du Centre de ressources génétiques des Pays-Bas (Wageningen).



teurs personnels. Un système de gestion de bases de données commerciales peut constituer un bon point de départ pour l'élaboration de systèmes de documentation spécialisés. Plusieurs systèmes ont été mis au point depuis une quinzaine d'années. Au début de cette période, la compatibilité entre les différents systèmes informatiques des banques de gènes était assez médiocre, mais grâce à une normalisation plus poussée, ce problème a été ou va être surmonté. La création de bases de données centrales est une innovation récente au niveau de la gestion informatique des ressources génétiques. Des informations sur tous les stocks existants d'une plante donnée sont conservées dans une base de données centrale. En la consultant, l'utilisateur peut donc se renseigner sur tous les échantillons stockés dans les banques de gènes et instituts participants. Les données mises en mémoire dans les systèmes d'information sur les ressources phytogénétiques peuvent être classées en trois catégories :

identité : informations sur l'origine et les conditions de la collecte (par exemple, nom, localité et donateur) ;

évaluation : description de l'échantillon, avec la possibilité de faire une distinction entre plusieurs catégories (voir la section sur l'évaluation du matériel génétique) ;

gestion : données propres à la banque de gènes concernant principalement le stockage (par exemple, quantités, viabilité, distribution).

Une banque de gènes dispose de plusieurs moyens pour fournir aux usagers potentiels



*Figure 4*

Collection vivante d'herbes tropicales au Kenya (Mtwapa).

des informations sur ses collections: envoi d'imprimés tels qu'index de semences, catalogues, listes d'ordinateurs et publications scientifiques; diffusion d'information sur bandes magnétiques, disques souples ou CD-ROM, procédés auxquels on recourt de plus en plus. Encore peu courante, l'exploitation en ligne des données va certainement se développer dans un avenir proche.

### **Distribution de matériel génétique**

La diffusion de semences et de matériel végétal aux utilisateurs est une fonction importante des banques de gènes. La plupart d'entre elles mettent gratuitement le matériel génétique à la disposition des établissements désireux de l'exploiter. La distribution de semences est facile et se fait normalement sur demande. Quant aux propagules, elles ne sont souvent disponibles qu'à certaines périodes de l'année.

Les banques de gènes ne fournissent pas de grandes quantités de semences mais transmettent un échantillon représentatif des variétés demandées. En pratique, elles envoient des échantillons de 50 à 300 semences. En cas de demande importante portant sur des centaines de spécimens, elles envoient d'abord une liste imprimée donnant des informations sur chaque variété pour que l'utilisateur puisse faire son choix.

Il est de plus en plus courant que des données sur les échantillons de semences soient fournies aux utilisateurs en même temps que les échantillons eux-mêmes.

### **Utilisation du matériel génétique**

Les sélectionneurs sont les principaux utilisateurs des ressources phytogénétiques, mais les chercheurs spécialisés dans plusieurs autres branches de l'agronomie et de la biologie exploitent aussi des collections végétales. L'emploi de ce matériel à des fins de sélection – en particulier pour obtenir des populations contenant des gènes qui sont présents chez les espèces sauvages, primitives ou inadaptées d'une autre manière et qui produisent les caractéristiques souhaitées – est souvent appelé « amélioration des plantes ». Étant donné que les objectifs de la sélection changent fréquemment, on a toujours besoin de matériel génétique amélioré. Le matériel génétique est utilisé pour la sélection de trois façons différentes :

Les sélectionneurs croisent directement leur propre matériel avec des échantillons qui proviennent d'une banque de gènes et dont ils connaissent les propriétés. Le plus souvent, des variétés ou des lignées sont employées pour incorporer ces propriétés particulières dans le matériel du sélectionneur. Les nouvelles variétés possédant les caractéristiques souhaitées peuvent être sélectionnées en un laps de temps relativement bref après rétrocroisement.

Pour élargir la base génétique d'une plante, des races locales ou des formes primitives peuvent être croisées avec du matériel de sélection. L'objectif visé ici n'est plus d'inclure un petit nombre de propriétés dans du matériel existant, mais d'enrichir la réserve génétique de la plante en vue d'une sélection ultérieure. De tels programmes ont été entrepris pour plusieurs plantes, notamment la pomme de terre (*Néo-tuberosum*, au moyen de certaines espèces primitives cultivées d'Amérique du Sud), la betterave (la réserve génétique de *Beta maritima*) ou le blé (*Triticum dicoccoides*) et pour des légumes comme la tomate et le poivron. Il

faut généralement compter plus de quinze ans avant que les premières variétés puissent être sélectionnées.

Les sélectionneurs commencent par passer en revue les grandes collections des banques de gènes, y compris les formes primitives ou les espèces sauvages, à la recherche de propriétés particulières. Après un inventaire approfondi, ils ne retiennent parfois que quelques spécimens pour exploitation dans les programmes de sélection. Leur incorporation prend toutefois beaucoup de temps et exige une approche à long terme de la sélection. L'exploration systématique de grandes collections, y compris les espèces sauvages des centres de diversité, peut non seulement permettre de déceler des espèces ou des échantillons dotés de propriétés particulières, mais aussi de repérer des zones géographiques où sont concentrées certaines propriétés. La figure 5 indique la distribution géographique des *Solanum* à tubercules ayant un taux élevé de résistance horizontale au milieu. Pour établir cette distribution géographique, il a fallu passer en revue plus de 1 800 variétés de 85 espèces différentes. Il est important, pour les activités futures de sélection et de collecte, de repérer les zones où l'on observe une forte résistance aux parasites et aux maladies. En raison du phénomène de la coévolution des végétaux et de leurs agents pathogènes, ces zones peuvent revêtir une grande importance en tant que source de nouveaux matériels de sélection, en cas d'amoindrissement de la résistance des variétés actuelles.

Figure 5

Répartition géographique des espèces de *Solanum* à tubercules ayant un taux élevé de résistance horizontale au milieu, sans considération de race.



## Conclusion

Des banques de gènes ont maintenant été constituées sous une forme ou une autre dans la plupart des pays. On est de plus en plus conscient du problème que pose la diminution de la diversité génétique des espèces cultivées puisque celles-ci représentent une ressource essentielle pour la sélection. Les banques de gènes constituent le moyen le plus pratique de sauvegarder les ressources phylogénétiques. Il faut cependant reconnaître que peu d'entre elles disposent des installations et de la main-d'œuvre nécessaires pour s'acquitter de manière satisfaisante des tâches qui leur incombent. Les organismes de recherche, à l'échelle nationale et internationale, tendent à privilégier l'exploitation à court terme de la variation génétique pour des programmes concrets de sélection. Les banques de gènes sont complémentaires de la conservation *in situ* et participent à ce titre à la préservation globale de la diversité biologique.

Les techniques de stockage des ressources génétiques sont assez bien maîtrisées, surtout en ce qui concerne les semences orthodoxes. La régénération *in vitro* donne lieu à des recherches actives, mais les conditions de stockage doivent être mieux définies. L'évaluation, condition essentielle d'une meilleure utilisation des collections, doit être intensifiée. Les systèmes de gestion informatisés peuvent jouer un rôle important dans la diffusion de l'information des banques de gènes aux utilisateurs potentiels. Le principe de la libre disponibilité du matériel génétique, appliqué depuis quelques dizaines d'années, est important pour l'amélioration des plantes à travers le monde. ■

## Bibliographie

- BROWN, A. H. D. ; FRANKEL, O. H. ; MARSHALL D. R. ; WILLIAMS, J. T. (dir. publ.). 1989. *The use of plant genetic resources*. Cambridge, Cambridge University Press. 382 p.
- CROMARTY, A. S. ; ELLIS R. S. ; ROBERTS, E. H. 1982. *The design of seed storage facilities for genetic conservation*. Rome, IBPGR. 96 p.
- ELLIS, R. H. ; HONG, T. D. ; ROBERTS, E. H. 1985. *Handbook of seed technology for gene banks*. Vol. I : *Principles and methodology*. Rome, IBPGR. 210 p.
- FRANKEL, O. H. ; BENNETT, E. (dir. publ.). 1970. *Genetic resources in plants – Their exploration and conservation*. Oxford, Blackwell Scientific. 554 p. (IBP Handbook, 11.)
- ; HAWKES, J. G. (dir. publ.). 1975. *Crop genetic resources for today and tomorrow*. Cambridge, Cambridge University Press. 492 p. (IBP synthesis, vol. 2.)
- HAWKES, J. G. 1983. *The diversity of crop plants*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press. 184 p.
- HINTUM, J. L. VAN ; HAZEKAMP, T. 1989. Rôle de la gestion de l'information dans la conservation des ressources génétiques. *Colloque sur la conservation des espèces sauvages progénitrices des plantes cultivées, Conseil de l'Europe, Strasbourg*. Document d'information, 8 p.
- IBPGR. 1986. *Design, planning and operation of in vitro gene banks*. Rome, IBPGR. 17 p.
- . 1989. *Geneflow. A new publication about the earth's plant genetic resources*. Rome, IBPGR. 20 p.
- KNUTSON, L. ; STONER, A. K. (dir. publ.). 1989. *Biotic diversity and germplasm preservation, global imperatives*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 530 p.
- PLUCKNETT, D. L. ; SMITH, N. J. H. ; WILLIAMS, J. T. ; ANISHETTY, N. M. 1987. *Gene banks and the world food*. Princeton (N.J.), Princeton University Press. 247 p.

- PORCEDDU, E. ; JENKINS, G. (dir. publ.). 1982. *Seed regeneration in cross-pollinated species*. Rotterdam, Balkema. 293 p.
- SOEST, L. J. M. VAN ; SCHÖBER, B. ; TAZELAAR, M. F. 1984. Resistance to *Phytophthora infestans* in tuber-bearing species of *Solanum* and its geographical distribution. *Potato Research*, 27, p. 393-411.
- STALKER, H. T. ; CHAPMAN, C. (dir. publ.). 1989. Scientific management of germplasm : characterization, evaluation and enhancement. Rome, IBPGR. 194 p.
- WILKES, G. 1983. Current status of crop plant germplasm. *CRC Critical Reviews in Plant Science*, 1, p.133-181.
- WILSON, E. O. ; PETER, F. M. (dir. publ.). 1988. *Biodiversity*. Washington, D.C., National Academy Press. 520 p.
- WITHERS, L. 1980. *Tissue culture storage of genetic conservation*. Rome, IBPGR/FAO. 91 p.
- ZEVEN, A. C. ; HARTEN A. M. VAN (dir. publ.). 1979. *Broadening the genetic base of crops*. Wageningen, Pudoc. 347 p.

---

# Les jardins botaniques et la conservation des ressources végétales

Vernon H. Heywood

*Les jardins botaniques participent depuis longtemps à l'introduction et à l'amélioration des plantes et ont joué un rôle fondamental dans le développement des cultures vivrières, des cultures de plantes à épices, de l'arboriculture et des plantations. On leur doit l'introduction dans l'agriculture de dizaines de milliers d'espèces et ils sont les dépositaires du plus vaste échantillonnage d'espèces végétales que l'on puisse trouver ailleurs que dans la nature. Plus récemment, les jardins botaniques ont centré leur attention sur la conservation et, dans certains cas, la réintroduction d'espèces végétales sauvages, plus particulièrement d'espèces rares ou menacées.*

L'idée que se fait habituellement le public des jardins botaniques est celle de parcs agréables et bien agencés où un grand nombre des plantes présentées sont munies d'étiquettes indiquant leurs noms scientifique et vulgaire, ainsi que leur origine. On y cultive beaucoup de plantes exotiques, de sorte que la visite d'un jardin botanique donne un aperçu de la diversité du règne végétal. Cela est particulièrement vrai si l'on visite les serres existant dans de nombreux jardins botaniques, où des orchidées, des épiphytes, des cactées et des plantes grasses colorées et souvent spectaculaires, ainsi que divers spécimens de fruits tropicaux et de plantes à épices, sollicitent l'attention. D'ailleurs, certains jardins botaniques tels que, aux États-Unis d'Amérique, le Botanic Garden Conservatory à Washington et le nouveau et spectaculaire Myriad Gardens Crystal Bridge dans l'Oklahoma, sont essentiellement des conservatoires.

Montrer la diversité des ressources végétales est certes une fonction importante et précieuse des jardins botaniques, surtout si elle s'accompagne d'activités éducatives visant à expliquer l'importance des plantes cultivées et leur intérêt pour la science et la société. Ces dernières années, toutefois, beaucoup de jardins botaniques se sont intéressés plus particulièrement à la conservation, qui est devenue un aspect important de leur mission.

Les activités de conservation des jardins botaniques sont multiples, allant de la sensibilisation aux problèmes de l'environnement et de la présentation de plantes méritant des mesures conservatoires, comme les espèces rares et menacées de la flore

---

Vernon Heywood est responsable des recherches sur la conservation des plantes à l'Alliance mondiale pour la nature (UICN) et directeur du Botanic Gardens Conservation Secretariat. C'est une autorité mondiale en matière de taxonomie botanique et il a été pendant vingt ans à la tête du Département de botanique de l'Université de Reading, dont il est aujourd'hui professeur honoraire. Il est possible de le contacter à l'adresse suivante : Botanic Gardens Conservation Secretariat, Descanso House, 199 Kew Road, Richmond, Surrey TW9 3 BW, Royaume-Uni.

---

locale ou nationale, à l'organisation de vastes programmes de conservation de matériel génétique dans des banques de semences spécialisées en passant par la micro-culture d'orchidées ou d'autres plantes à l'aide de techniques *in vitro* et la réintroduction dans leur milieu naturel d'espèces menacées grâce à des plantes propagées.

Comme on les associe à la botanique ou à l'horticulture, on a rarement conscience du fait que les jardins botaniques s'occupent sérieusement des ressources végétales, au même titre que les organismes internationaux spécialisés – qu'il s'agisse du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI), dont relève le Groupe international des ressources phytogénétiques (IBPGR), ou de la FAO, ou encore des banques de semences régionales ou nationales comme la Banque nordique des gènes ou celle du Département de l'agriculture des États-Unis d'Amérique à Fort Collins. Ces organismes s'intéressent essentiellement aux espèces exploitées dans l'agriculture, aux plantes de pâturage ou fourragères et aux arbres présentant une importance économique.

Depuis quelques années, cependant, la situation a changé et les jardins botaniques sont, de plus en plus, considérés désormais comme un élément important aussi bien des stratégies nationales de conservation du matériel génétique que de l'action menée au niveau international. La création par l'UICN en 1987 du Botanic Gardens Conservation Secretariat (Secrétariat pour l'action de conservation des jardins botaniques), dans le prolongement de la Conférence internationale sur les jardins botaniques et la Stratégie mondiale de la conservation, qui s'est tenue avec succès à Las Palmas en novembre 1985, a constitué une étape importante de l'extension du développement du rôle des jardins botaniques dans la conservation des ressources végétales. Le Secrétariat consiste actuellement en un réseau de plus de 300 jardins membres situés dans plus de 60 pays et il joue un rôle central dans la coordination des actions de conservation des jardins botaniques, fait office de centre d'échange d'information et fournit des services consultatifs techniques et scientifiques sur les questions liées à la conservation.

Le Secrétariat s'inspire, pour mener son action, de la stratégie de conservation des jardins botaniques publiée par le WWF (World Wide Fund for Nature/Fonds mondial pour la nature), l'UICN et le Secrétariat lui-même en 1989. La stratégie vise les objectifs suivants :

- montrer pourquoi la participation des jardins botaniques est un élément essentiel de la conservation des ressources biologiques dans la perspective d'un développement durable ;
- identifier les tâches prioritaires que les jardins botaniques doivent entreprendre pour contribuer à la mise en œuvre de la Stratégie mondiale de la conservation ;
- proposer des moyens efficaces permettant aux jardins botaniques du monde entier de collaborer pour accomplir ces tâches prioritaires ;
- élaborer un ensemble cohérent de principes et de procédures qui permettra aux jardins botaniques de préparer l'action qu'ils pourront mener, aux côtés d'autres institutions, pour assurer la conservation à long terme d'un maximum d'espèces et de populations végétales, et focaliser l'attention du public sur les problèmes de conservation au moyen d'expositions et de programmes appropriés de caractère éducatif.

## **Les jardins botaniques à travers le monde**

Le BGCS estime qu'il existe quelque 1 500 jardins botaniques et arboretums dans le monde d'aujourd'hui. Contrairement à ce que l'on imagine couramment, la communauté des jardins botaniques n'est pas statique : si beaucoup de ces jardins existent depuis des siècles, il s'en crée constamment de nouveaux et certains jardins anciens se délabrent ou sont menacés de fermeture. La grande majorité des jardins botaniques d'Amérique du Nord, par exemple, ont été fondés au *xx*<sup>e</sup> siècle et tous les jardins chinois datent des années 20 ou des périodes plus récentes. Ces dernières années, il s'est créé des jardins botaniques au rythme de presque un jardin par semaine, et nous assistons actuellement, surtout dans les régions tropicales et subtropicales, à une phase de création particulièrement intense, beaucoup de pays percevant de plus en plus clairement l'importance des jardins botaniques comme moyens d'action dans les stratégies de défense de l'environnement et de conservation.

Pour des raisons essentiellement historiques, la plupart des jardins botaniques du monde sont situés dans les zones tempérées du globe, comme l'Europe, qui en possède le nombre remarquable de 540, l'Amérique du Nord, qui en compte 290, et l'Australie et la Nouvelle-Zélande, où l'on en dénombre 71. Par contre, dans les pays tropicaux et subtropicaux, le nombre de jardins botaniques est relativement peu important et, si l'on excepte ceux créés aux *xviii*<sup>e</sup> et *xix*<sup>e</sup> siècles par les puissances coloniales européennes, la majorité sont de création récente. En fait, le nombre de jardins botaniques est inversement proportionnel à la diversité biologique des régions où ils sont situés. Ainsi, le Brésil et la Colombie, qui possèdent chacun entre 40 000 et 45 000 espèces de plantes à fleurs, comptent à eux deux moins de 20 jardins botaniques et un seul d'entre eux – celui de Rio de Janeiro – est de création relativement ancienne (lorsqu'il a été fondé en 1808 par le prince régent, futur roi du Portugal, Dom Joao VI, c'était en fait comme potager royal). En revanche, la France et l'Italie, qui n'ont chacune que 5 000 à 6 000 espèces de plantes à fleurs, possèdent respectivement 65 et 49 jardins. Même le Royaume-Uni, qui a une flore pauvre ne comptant que quelque 1 500 espèces, possède plus de 40 jardins botaniques et arboretums, notamment des institutions célèbres telles que le Royal Botanic Garden d'Édimbourg, les Royal Botanic Gardens de Kew et Wakehurst Place et le Chelsea Physic Garden.

Ce déséquilibre entre le nombre de jardins botaniques et la diversité biologique résulte de facteurs historiques et va contre toute logique, si l'on considère que l'existence de jardins botaniques est aujourd'hui une nécessité pour assurer la conservation des ressources végétales. L'une des tâches essentielles qui nous incombent consiste à définir le rôle futur des nombreux jardins botaniques des pays tempérés : quelle contribution peuvent-ils apporter à la solution des problèmes mondiaux de conservation du matériel génétique, notamment des espèces sauvages ? Quel soutien peuvent-ils offrir aux jardins existant dans les régions tropicales et comment peuvent-ils encourager la création de nouveaux jardins dans ces régions ?

### **Quelques considérations historiques**

Bien que l'existence de jardins botaniques dans des cultures et des civilisations antérieures soit attestée, il est communément admis que les premiers jardins botaniques dans la tradition occidentale ont été fondés en Europe pour fournir des matériaux et

des objets d'étude aux étudiants en médecine des universités. Le tout premier fut celui de Pise, fondé en 1543, suivi de près par les jardins de Padoue, Florence et Bologne. Citons encore, parmi les premiers jardins de plantes médicinales, ceux de Zurich (1560), Leyde (1577), Leipzig (1579), Paris (1597), Montpellier (1598), Oxford (1621), Uppsala (1655), Édimbourg (1670) et Amsterdam (1682). Tous existent encore de nos jours, le célèbre Hortus Botanicus d'Amsterdam ayant toutefois perdu sa fonction de jardin botanique et ayant été transformé en parc.

Ces premiers jardins botaniques recevaient souvent le nom de jardins d'apothicaires (tel le Chelsea Physic Garden – *physic* signifiant médicament – créé par la Société des apothicaires), de jardins de plantes médicinales ou parfois de jardins de simples, nom que porte encore aujourd'hui le jardin de Florence (Giardino dei Semplici). Les jardins botaniques ont conservé pendant des siècles cette fonction concrète de centres d'étude des propriétés des plantes utilisées en médecine et en pharmacie et cette fonction n'a jamais totalement disparu. Jusqu'à une date récente, le Jardin botanique royal de Madrid dispensait régulièrement des herbes médicinales aux membres du public qui en demandaient. Ces jardins fournissaient aussi d'autres clientèles : ainsi, le Jardin des apothicaires de Nantes, en France, cultivait des plantes destinées à garnir la pharmacie portative des médecins de bord s'embarquant sur les navires qui quittaient le port.

L'étude des plantes médicinales dans les jardins botaniques se développa au fur et à mesure que l'on entreprenait de cultiver des espèces de plantes toujours plus nombreuses rapportées des différentes parties du monde par des voyageurs et des explorateurs ou découvertes à la suite de l'établissement de comptoirs commerciaux et de colonies par les puissances européennes. Les jardins botaniques européens firent ainsi l'acquisition de nombreuses espèces et, à mesure que l'on découvrait les richesses des tropiques, on construisit des serres pour permettre aux plantes fragiles de supporter l'hiver. Par exemple, le roi Louis XV de France signa à Versailles un édit royal adressé aux capitaines de vaisseaux et capitaines au long cours de Nantes, par lequel il leur ordonnait de rapporter au jardin botanique toutes les plantes nouvelles découvertes à l'occasion de leurs voyages dans des pays étrangers et dans les colonies françaises d'Amérique.

A mesure que les jardins botaniques se multipliaient et souvent devenaient plus étendus, de nombreuses essences d'arbres furent introduites et étudiées de manière scientifique, tout comme les autres espèces nouvellement introduites, par des savants qui trouvaient dans les jardins leur matériel d'étude. Puis on finit par se limiter à cultiver les plantes des collections, sans qu'elles servent à d'autres usages que leur présentation au public et, parfois, l'enseignement.

Une nouvelle étape fut franchie avec l'échange de matériel entre jardins botaniques, qui est d'ailleurs l'une des fonctions les plus caractéristiques, pour ne pas dire déterminantes, de ces derniers. La forme d'échange la plus courante était, et demeure encore aujourd'hui, l'échange de semences, celles-ci étant faciles à recueillir, à stocker, à manipuler et à expédier d'un jardin à un autre. En dépit de ces échanges entre jardins, botanistes et producteurs amateurs, il fallut attendre le XVIII<sup>e</sup> siècle pour que soit publié régulièrement un *Index Seminum* (liste des semences). A l'heure actuelle, la moitié environ des 1 500 jardins botaniques et arboretums du monde publient des listes de semences, dont certaines recensent plusieurs centaines d'espèces et de cultivars différents. Même si les méthodes de collecte et de stockage employées ne répondent généralement pas aux normes modernes de conservation des ressources

phytogénétiques, des listes de semences peuvent être considérées comme la forme la plus ancienne des catalogues de matériel génétique.

### **Les jardins botaniques des tropiques : historique**

Pour comprendre l'implantation et la répartition géographique actuelle des jardins botaniques dans les tropiques, il faut se placer dans une perspective historique. On découvrira aussi de cette façon comment s'est faite l'introduction de bon nombre des principales plantes tropicales cultivées, comment elles ont été améliorées et comment leur matériel génétique s'est répandu dans le monde. Les jardins botaniques des régions tropicales et subtropicales ont connu un développement différent de celui des jardins européens, avec lesquels ils entretenaient cependant des liens étroits par suite, notamment, des échanges commerciaux et du développement des colonies. Le premier jardin botanique à avoir vu le jour en dehors d'Europe est celui que fondèrent les Hollandais dans leur colonie du Cap, en Afrique du Sud, en 1652. Comme le professeur Compton le souligne dans la préface à cet excellent ouvrage qu'est *The old Company's Garden at the Cape and its superintendents*, l'histoire des Européens en Afrique du Sud commence par un jardin. Ce jardin du Cap, dont les responsables de la Compagnie hollandaise des Indes orientales avaient pensé faire, dès 1619, une escale où les équipages des navires de la Compagnie, faisant route vers l'Inde ou en revenant, pourraient se reposer, fut fondé par Jan van Riebeck, promu au rang de négociant et commandant en chef. A peine débarqués, des graines furent semées et bientôt un verger et un potager fournirent des légumes et des fruits frais aux marins atteints du scorbut. Pendant les premières décennies de l'existence de la colonie, un nombre étonnant de plantes fut introduit ; l'objectif initial était de transformer le jardin en centre d'acclimatation en vue du transfert de plantes tropicales, mais le climat n'était pas propice et le jardin de la Compagnie fut plutôt un havre de paix et de beauté, puis un jardin botanique, qui allait devenir le Jardin botanique Kirstenbosch que l'on connaît aujourd'hui.

D'autres jardins d'acclimatation ont été créés dans plusieurs régions du monde et quelques-uns subsistent encore aujourd'hui comme le fameux Jardín de Acclimatación de La Orotava sur l'île de Tenerife (Canaries), qui a été fondé en 1788. Leur rôle était d'acclimater les plantes des tropiques aux conditions plus difficiles rencontrées en Europe en les faisant pousser dans des jardins subtropicaux ou méditerranéens. Naturellement, bon nombre des plantes introduites n'auraient pas pu supporter les hivers rigoureux du centre de l'Espagne, par exemple, mais elles furent souvent à l'origine de cultures ou d'industries locales dans la région du jardin d'acclimatation. L'introduction et l'acclimatation de plantes ayant un intérêt économique pour la société sont toujours d'importants objectifs de la plupart des jardins botaniques chinois et russes, à côté d'autres objectifs sociaux et économiques.

Le premier jardin botanique tropical créé sur l'île Maurice, le Jardin des pamplemousses (ainsi nommé d'après les fruits rapportés des Indes orientales par les Hollandais, et qui aujourd'hui s'appelle plus prosaïquement le Sir Seewoosagur Ramgoolan Botanic Garden), connut les mêmes débuts que le Jardin de la Compagnie au Cap. Il fut fondé par le gouverneur La Bourdonnais en 1745 dans le but initial de fournir des fruits et des légumes frais à la colonie et aux navires qui mouillaient dans le port. Plus tard, on y introduisit de nombreuses plantes à épices, comme le muscadier et le giroflier, ainsi que, parmi les cultures vivrières, le manioc, qui était cultivé pour nourrir

les esclaves. Sur l'île voisine de la Réunion, le Jardin de la Compagnie fut lui aussi un centre d'introduction d'épices et de cultures vivrières.

Ultérieurement, les Hollandais parvinrent à créer un jardin botanique tropical à Buitenzorg (devenu aujourd'hui le Kebun Raya de Bogor), dans l'île de Java, qui s'est rendu célèbre par le rôle important qu'il joua dans l'introduction de la culture du palmier à huile africain, *Elaeis guineensis*, après avoir reçu en 1848 deux spécimens de cette espèce qui lui avaient été expédiés par le fameux (mais aujourd'hui disparu) Hortus Botanicus d'Amsterdam (lui-même connu pour son rôle dans l'introduction de la culture du café). Les semences obtenues à partir de ces plantes furent utilisées pour les premières plantations commerciales.

Les Britanniques, conscients de l'importance des ressources génétiques pour le développement de leurs colonies, allaient jouer un rôle particulièrement important dans la mise en place d'un réseau de jardins botaniques sous les tropiques. Comme Calestous Juma l'écrit dans son livre intitulé *The gene hunters* (1989), « l'acquisition de colonies ne suffisait pas, si elle n'était liée à la possibilité de se procurer de la main-d'œuvre et des ressources phylogénétiques ». Le développement de l'agriculture coloniale entraîna donc des transferts massifs de matériel génétique de plantes ayant une importance économique entre les régions du monde. C'est ainsi que dans le Nouveau Monde, le premier jardin botanique à voir le jour fut celui de Saint-Vincent dans les Antilles, fondé à l'instigation de la Société royale de Londres. C'est le Jardin de Saint-Vincent qui introduisit dans le Nouveau Monde l'arbre à pain afin de disposer d'une source de nourriture peu coûteuse pour les esclaves, comme le Jardin des pamplemousses le fit dans le même but pour le manioc. Parmi les autres espèces ou variétés importantes qui ont été introduites ou améliorées à Saint-Vincent figurent la muscade et le coton Sea Island.

Les Britanniques fondèrent toute une série d'autres jardins botaniques dans les Caraïbes et dans d'autres parties de leur empire grandissant – en Inde, par exemple, le Saharanapur Botanic Garden, créé avant 1750, qui joua un très grand rôle dans l'introduction de plantes médicinales et, à Calcutta, l'Indian (anciennement Royal Botanic) Garden de Sibpur, conçu par le lieutenant-colonel Kyd, en 1787, comme un jardin expérimental qui devait permettre de déterminer si l'on pouvait obtenir du teck dans la région de Calcutta ; à Sri Lanka, où le Royal Botanic Garden de Peradeniya et ses jardins satellites jouèrent un rôle important dans le développement de diverses cultures de plantation comme le thé, le café, le quinquina et le caoutchouc ; en Malaisie et à Singapour, enfin. Tous ces jardins s'efforcèrent d'introduire et de diffuser des cultures vivrières ou industrielles, et la physionomie de l'agriculture en Asie du Sud-Est et dans d'autres régions des tropiques allait être en grande partie déterminée par des cultures comme le quinquina, le caoutchouc, le thé, le café, le palmier à huile et la canne à sucre ; de plus, c'est à ces jardins que l'on doit l'introduction et l'amélioration d'épices telles que le clou de girofle, la cannelle, le poivre ou la cardamome.

Ce que l'on oublie souvent, c'est que l'introduction à très grande échelle de nouvelles cultures à travers le monde a eu des conséquences écologiques considérables, qui n'ont jamais été totalement évaluées. Ces cultures se sont substituées sur de vastes superficies à la végétation indigène et ont radicalement transformé le paysage. Qui plus est, elles ont ouvert la voie à la mise en place ultérieure, pendant la révolution verte, de systèmes agricoles exigeant un gros apport de facteurs de production et fondés sur l'utilisation de variétés perfectionnées à haut rendement, dont l'impact en termes de changement socio-économique, d'appauvrissement de la diversité biologique locale et de distorsion des échanges n'a jamais été pleinement mesuré.

Curieusement, les jardins botaniques n'ont joué historiquement, en Amérique du Nord, qu'un rôle mineur dans l'introduction des plantes dans l'économie. Par rapport aux autres continents, l'Amérique du Nord est pauvre en ressources phylogénétiques, si l'on excepte le tournesol (qui vient au deuxième rang mondial des oléagineux), la pêche, la noix, la myrtille, l'airelle canneberge et divers autres fruits, et pourtant sa puissance économique légendaire et sa capacité à s'industrialiser ont été déterminées dans une large mesure par son aptitude remarquable à introduire de nouvelles plantes et à en faire des cultures agricoles rentables. L'introduction, pendant la période postcolombienne, de végétaux tels que la figue, la datte, l'olive, la luzerne, le raisin et les agrumes a transformé le pays en un immense jardin d'essai de nouvelles cultures. D'autre part, les colons européens apportaient toujours avec eux une quantité de plantes déjà connues et qui avaient fait leurs preuves dans l'agriculture de leur pays d'origine.

Aux États-Unis d'Amérique, les premiers jardins botaniques avaient été celui créé en 1730 par John Bartram près de Philadelphie et le Linnaean Botanic Garden de Flushing, dans Long Island, créé quelques mois plus tard. Ces jardins botaniques, ainsi que ceux qui avaient été créés dans les années suivantes, ayant été conçus, estime-t-on, pour servir les intérêts coloniaux, furent fermés pendant la guerre d'indépendance. Désormais, l'introduction de nouvelles espèces végétales allait être encouragée par ceux que l'on a surnommés les « rois botanistes », tels Benjamin Franklin, George Washington et Thomas Jefferson. On se souvient à ce propos de la phrase qu'aimait à répéter ce dernier : « Le plus grand service que l'on puisse rendre à un pays, quel qu'il soit, c'est d'enrichir son agriculture d'une plante utile. »

Le gouvernement fédéral finit par mettre à contribution la marine et les fonctionnaires consulaires en leur demandant de faire parvenir des spécimens de toutes les plantes qu'ils découvriraient au cours de leurs voyages et dont l'introduction dans l'agriculture des États-Unis pourrait être intéressante. C'était là une politique analogue à celle des puissances coloniales européennes. Le matériel végétal rassemblé par la marine et les diplomates était expédié à la serre et au jardin botanique du gouvernement, à Washington D.C., où il était propagé en vue de sa diffusion. Cette institution, créée en 1842, existe toujours : elle est connue sous le nom de United States Botanic Garden Conservatory. Le Département de l'agriculture des États-Unis assurait la distribution d'énormes quantités de semences, de 60 000 sachets en 1847 à plus de 20 millions en 1897, et des accords furent conclus avec de nombreux autres gouvernements en vue de l'échange de semences avec des jardins botaniques et des sociétés agricoles ou horticoles étrangers. Pourtant, les jardins botaniques créés aux États-Unis au *xx*<sup>e</sup> siècle sont relativement peu nombreux à avoir dressé ne serait-ce qu'une simple liste de semences.

### **Activités actuelles des jardins botaniques en matière de phylogénétique**

Bien que, comme nous l'avons vu, les jardins botaniques aient joué un rôle essentiel dans l'introduction de cultures dans de nouvelles régions et dans la conservation et la multiplication d'une partie de leur matériel génétique, ces activités importantes déclinent au fur et à mesure que d'autres institutions ou organisations agricoles, publiques ou privées, furent créées pour assumer ces fonctions. Jusqu'à une date récente, les gouvernements et les administrations n'étaient pas vraiment conscients

du rôle que continuaient à jouer les jardins botaniques dans l'introduction de plantes et dans l'agriculture. Cette situation était aggravée par la conception relativement étroite qu'avaient les gouvernements et les organismes internationaux des besoins en matière de conservation du matériel génétique, leur intérêt allant presque exclusivement aux cultures vivrières de base ou autres plantes ayant une importance économique majeure. Cette attitude peut se comprendre, compte tenu de la nécessité d'assurer l'approvisionnement alimentaire d'une population mondiale en progression rapide, mais c'est une attitude à courte vue car l'humanité, dans quelque région du monde que ce soit, dépend aussi pour sa survie d'un grand nombre d'autres espèces végétales qui lui fournissent des fruits, des légumes, des épices, des médicaments, des huiles et des fibres, sans parler du bois de chauffage.

Les jardins botaniques, surtout dans les tropiques, s'intéressent de plus en plus à ces besoins locaux, ainsi qu'à la nécessité de préserver d'autres catégories de végétaux, en particulier ceux qui sont rares ou menacés. Cette fonction de conservation des jardins botaniques a été reconnue de façon explicite pour la première fois lors du Congrès international sur la protection de la nature tenu à Paris en 1923, puis du deuxième congrès, tenu également dans cette ville en 1931, qui recommandèrent expressément que les espèces végétales rares ou endémiques menacées d'extinction soient cultivées et protégées dans les jardins botaniques. Ces recommandations ont été renforcées par les travaux de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement organisée à Stockholm en 1972, laquelle a souligné l'importance des jardins botaniques pour la conservation de la diversité génétique et a recommandé, à cette fin, la création de nouveaux jardins botaniques dans les régions tropicales.

Malheureusement, les jardins botaniques ont mis longtemps à relever le défi et nombre d'entre eux, en particulier dans les tropiques, ne sont plus guère aujourd'hui que des parcs publics, ayant une activité scientifique réduite. Le mouvement en faveur de la conservation a gravement négligé lui aussi l'ensemble du problème de la conservation de la diversité génétique, et, jusqu'à une date récente, il s'est polarisé sur la conservation des écosystèmes et des paysages, ainsi que d'espèces animales déterminées, principalement de mammifères et d'oiseaux. Même aujourd'hui, malgré l'énorme publicité faite à l'importance de préserver la diversité biologique, il est rare que l'on souligne ou même que l'on admette la nécessité d'une action particulière d'échantillonnage et de sauvegarde de la diversité génétique.

A l'évidence, il serait peu rationnel que les jardins botaniques essaient de retrouver leur prééminence d'auteur dans ce domaine ou de rivaliser avec les instituts agronomiques pour la conservation de certaines ressources. Mais, comme nous venons de le faire remarquer, il existe un très grand nombre d'espèces indigènes de plantes cultivées localement (les cultures dites «mineures»), ainsi que d'autres espèces utilisées dans les économies rurales, des congénères sauvages de plantes cultivées et des espèces servant à produire des remèdes locaux, dont aucune autres organisation ne s'occupe : dans leur cas, il serait tout à fait indiqué que les jardins botaniques acceptent de se charger du travail de sélection et de conservation du matériel génétique.

Les jardins botaniques du monde rassemblent aujourd'hui la collection d'espèces végétales la plus variée que l'on puisse trouver ailleurs que dans la nature. Des dizaines de milliers d'espèces sont représentées dans leurs collections, même si ce n'est parfois que par un exemplaire unique ou quelques spécimens. L'essentiel des collections est constitué de plantes cultivées (et non de semences), présentées soit en plein air, soit dans des serres ou sous abri.

La seule tentative d'évaluation globale de ces énormes ressources est celle qu'ont effectuée Christine et Vernon Heywood dans le cadre d'un projet parrainé par le Fonds mondial pour la nature en vue de la préparation d'une stratégie de conservation pour les jardins botaniques. Dans le but de rassembler les informations nécessaires à cette stratégie, un questionnaire a été adressé à tous les jardins botaniques et arboretums du monde dont l'adresse avait pu être obtenue. Des efforts importants ont été déployés et l'on a pu ainsi obtenir des réponses de 600 jardins et recueillir des renseignements supplémentaires à partir de publications. L'ensemble de ces informations a été saisi dans une base de données informatisée. La nouvelle et seconde édition de l'*International directory of botanical gardens* (1990, édité par Otto Koeltz, Koenigstein, République fédérale d'Allemagne), qui a été établie à partir des informations contenues dans cette base de données, présente succinctement les principales collections spéciales ou collections de conservation de chaque jardin. Ce répertoire a permis de se rendre compte de la diversité véritablement stupéfiante des collections de plantes, qui vont des orchidées, cactées et plantes grasses aux broméliacées et palmiers, en passant par les arbustes et arbres indigènes, les bambous, les plantes alpines, les rhododendrons et les Grevilleas. Il existe souvent des collections spéciales d'espèces originaires de régions particulières; c'est ainsi que l'on trouve des spécimens de plantes endémiques de Madagascar dans les jardins botaniques de villes aussi éloignées les unes des autres que Denver, Pretoria, Heidelberg, Las Palmas et Honolulu.

Il n'est pas possible de procéder à une analyse détaillée du contenu de ces collections tant que toutes les informations nécessaires n'auront pas été incorporées dans une base de données. La base de données sur les collections de conservation du Botanic Gardens Conservation Secretariat (BGCS), qui a entrepris cette tâche titanesque, contient déjà des données sur plus de 25 000 spécimens appartenant à environ 6 000 espèces de plantes menacées, cultivées dans plus de 300 jardins botaniques membres du Secrétariat. Cela ne représente cependant qu'une fraction de l'ensemble des espèces cultivées par les jardins botaniques à travers le monde et il est prévu de développer la base de données du BGCS sur les collections en ce qui concerne non seulement le nombre d'espèces et de spécimens recensés mais aussi la portée et la qualité des informations stockées. Par exemple, on a l'intention d'y faire figurer les informations rassemblées par les jardins botaniques sur la culture et la propagation de certaines espèces, ainsi que des données sur les collections de semences. Cette base de données est déjà la principale source mondiale d'informations sur les collections *ex situ* d'espèces végétales sauvages et, si elle bénéficie d'un soutien approprié, elle deviendra un élément essentiel du système mondial de gestion des ressources génétiques.

Le BGCS publie actuellement deux séries de rapports établis à partir de la base de données sur les collections : les rapports sur les jardins botaniques, qui indiquent quelles sont, dans un groupe botanique donné comme les conifères ou les cycadées, ou dans une zone ou région déterminée comme la Chine, l'océan Indien, le Costa Rica ou Cuba, les espèces menacées en culture. En 1989, une liste des plantes disparues a été diffusée en vue de déterminer lesquelles étaient susceptibles de se trouver encore en culture dans des jardins botaniques. Nous connaissons d'ailleurs de nombreuses espèces qui ne sont présentes que dans des jardins botaniques et qui n'existent plus à l'état sauvage. Lors d'un inventaire récent des espèces endémiques des terres basses humides de Sri Lanka, zone qui comprend la fameuse réserve de la biosphère de Sinharaja, des botanistes locaux ont pu établir que le Peradeniya Botanical Garden

abrite 22 espèces qui n'ont pu être identifiées dans la nature lors d'enquêtes méthodiques.

Bien entendu, la majorité des espèces cultivées dans les jardins botaniques ne sont représentées que par quelques individus, voire un seul, de sorte que la diversité génétique de l'espèce est extrêmement réduite. Il faut donc que les jardins botaniques adoptent des méthodes beaucoup plus rigoureuses que celles suivies jusqu'ici pour le prélèvement d'échantillons de matériel de culture dans les populations sauvages et envisagent aussi de cultiver des échantillons de la taille minimale recommandée pour que leurs plantes soient considérées comme constituant des collections de conservation à long terme. Divers jardins botaniques ont déjà accumulé à cet égard une expérience considérable, en particulier les jardins d'Amérique du Nord qui participent au programme de conservation du Centre for Plant Conservation prévoyant la collecte, le stockage, la culture et l'étude de près de 3 000 espèces ou variétés indigènes d'Amérique du Nord extrêmement rares, menacées ou en voie d'extinction.

Le Botanic Gardens Conservation Secretariat a élaboré, avec la collaboration d'organismes tels que le Groupe international des ressources génétiques végétales, des directives relatives à la conservation du matériel génétique par les jardins botaniques et l'un de ses principaux objectifs est de coordonner les activités de conservation des jardins botaniques à l'échelle mondiale, sur la base de règles et de méthodes techniques et scientifiques rigoureuses. Le matériel végétal détenu actuellement par les jardins botaniques aux fins de conservation ne doit pas être négligé sous prétexte que les échantillons en cause sont généralement de taille insuffisante. Il constitue au contraire une ressource importante et les jardins sont encouragés, lorsqu'ils constatent qu'ils sont les seuls à posséder du matériel d'espèces déterminées, à propager ce matériel et à veiller à ce que les espèces reproduites soient également conservées par d'autres jardins botaniques. Il ne faut pas oublier que, malheureusement, de très nombreuses espèces, plusieurs milliers peut-être, n'existent plus à l'état sauvage que sous forme de populations très restreintes, souvent réduites à une poignée d'individus, voire à un seul spécimen, par l'effet de la disparition de leur habitat, de l'exploitation humaine ou de causes naturelles. Dans ces cas, les collections des jardins botaniques peuvent être représentatives d'une part importante de la variation génétique subsistante de l'espèce, voire d'une part de la variation n'existant plus dans la nature. Lorsqu'il en est ainsi, on s'efforce désormais d'obtenir, à partir des spécimens en possession des jardins botaniques et des peuplements sauvages qui subsistent, la plus grande diversité génétique possible en vue de reconstituer l'espèce dans la nature et de constituer en outre des collections *ex situ*.

Par définition, l'action de conservation des jardins botaniques a lieu pour l'essentiel, comme nous l'avons vu, *ex situ*, ce qui signifie que seule une fraction de l'ensemble des caractères génétiques d'une espèce donnée peut être préservée en culture, mais l'on favorise chaque fois que cela est possible une articulation avec les efforts de conservation *in situ*. Ces deux approches sont complémentaires et un nombre croissant de jardins botaniques travaillent en liaison avec des réserves naturelles, qui parfois font partie du jardin lui-même ou lui sont rattachées. Cela permet de coordonner les actions de conservation *ex situ* et *in situ* des espèces indigènes présentes dans ces réserves.

Un certain nombre de jardins botaniques possèdent des collections de matériel génétique de groupes d'espèces particuliers, sous forme de banques de gènes de terrain. Le jardin botanique Universiti Pertanian de Kuala Lumpur, en Malaisie, possède une collection de matériel génétique de *Citrus* et d'espèces apparentées cata-

loguée par l'IBPGR. Le jardin botanique indien de Howrah détient des collections de gènes de bambous (26 espèces), de *Citrus*, de jasmins (25 espèces), de palmiers (109 espèces) et de divers autres groupes, et le Botanical Survey of India, dont il fait partie, met également en place actuellement un réseau de jardins botaniques expérimentaux en vue de constituer des collections de matériel génétique des formes sauvages de plantes ayant une valeur économique, qui seront utilisées aux fins de programmes d'amélioration végétale; il s'emploie en outre à réintroduire et propager des espèces rares et menacées des régions indiennes. Ces jardins existent déjà dans les circonscriptions régionales est, ouest, nord, sud et centre du Botanical Survey, dans les îles Andaman et Nicobar et à l'Arunchal Field Station d'Itanagar, couvrant ainsi différentes zones agroclimatiques. Un réseau similaire de jardins de conservation de gènes a été mis en place en Indonésie, où quinze jardins expérimentaux ont été créés en 1922 et 1958 pour servir de centres de culture expérimentale de diverses espèces, de conservation de gènes sous forme de semences et de recherche. De la même manière, le Kebun Raya (jardin botanique) de Bogor a établi cinq jardins botaniques associés dans des régions connaissant différentes conditions climatiques et pédologiques et l'un de ces jardins, à Cibinong, possède de petites collections de clones de manguier, de ramboutan, de durion, d'avocatier, de goyavier et de bananier local. Plusieurs jardins botaniques dans les îles Hawaii détiennent des collections de gènes, par exemple le Lyon Arboretum de l'Université d'Hawaii à Honolulu, qui dispose d'une collection importante de variétés de colocase (*Colocasia*), tandis que le Jardin botanique tropical national de Lawai, à Kauai, possède des collections de gènes de cultivars de bananier et d'espèces de palmier; quant au réseau des jardins botaniques d'Honolulu, il se compose de quatre jardins en sus du jardin principal d'Honolulu et il cultive une gamme très étendue de plantes tropicales indigènes et exotiques, qu'il s'agisse d'espèces agricoles, de plantes d'ornement ou d'espèces sauvages menacées. Un spectacle remarquable est celui qu'offre la culture en plein air, dans le jardin satellite de Koko Crater, de plantes endémiques malgaches que la plupart des autres jardins doivent, quand ils en possèdent, cultiver sous châssis.

La majorité des collections de gènes des jardins botaniques concernent aujourd'hui – ce qui n'est pas pour surprendre – des espèces ornementales ou sauvages sans intérêt économique particulier (pour autant qu'on le sache jusqu'à présent). Le National Arboretum des États-Unis, à Washington D.C., est chargé de conserver le matériel génétique d'arbres et arbustes d'ornement. Il aménage actuellement un site de deux hectares, baptisé China Valley, où sera conservé le matériel génétique d'espèces chinoises sauvages qui servira pour la mise au point de variétés végétales améliorées et il est prévu à plus longue échéance de créer d'autres sites pour des espèces japonaises et coréennes, l'Arboretum s'étant fixé depuis longtemps comme objectif d'étudier et d'utiliser les plantes asiatiques et de les introduire aux États-Unis. Comme indiqué plus haut, le matériel végétal détenu par les jardins est extrêmement varié, mais les orchidées méritent une mention spéciale. Des centaines de jardins botaniques ont des collections d'orchidées, notamment la plupart des jardins tropicaux, dont certains se consacrent même essentiellement ou exclusivement à la culture et à l'étude des orchidées. Des milliers d'espèces sauvages sont cultivées par les jardins botaniques, qui entretiennent parfois des réserves d'orchidées *in situ*. C'est le cas du jardin botanique et centre d'étude et d'amélioration de l'orchidée de Tippi, dans l'Arunachal Pradesh en Inde, qui contient près de 20 000 orchidées représentant 93 genres et 400 espèces et qui entretient une réserve d'orchidées, ainsi que deux sous-stations *ex situ* pour le stockage du matériel génétique. En Papouasie - Nouvelle-

Guinée, la réserve botanique de Lipizanga à Goroka et la collection d'orchidées de montagne de Laiagam sont toutes deux spécialisées dans les orchidées indigènes de montagne et les rhododendrons et, au Costa Rica, le Jardin botanique Lankester est spécialisé dans la culture des orchidées épiphytes. D'importantes collections d'orchidées sont cultivées sous châssis par de nombreux jardins de pays tempérés, comme l'Orchid Jungle à Homestead en Floride (États-Unis d'Amérique), qui possède des collections de conservation comptant 2 000 espèces d'orchidées ainsi que 15 000 à 20 000 hybrides. Toujours aux États-Unis, on peut citer la Wheeler Orchid Collection et la Species Bank de la Bell State University, où sont cultivées 3 000 espèces d'orchidées, sur lesquelles 150 sont des espèces rares ou menacées, dont plusieurs ont probablement disparu dans la nature. Aux États-Unis, il existe une autre collection importante d'orchidées: c'est la Smithsonian National Orchid Collection, qui fait partie du Smithsonian Institution's Office of Horticulture à Washington. Cette collection contient plus de 2 500 espèces d'orchidées différentes représentant quelque 300 genres, et toutes les données relatives à la collection ont été saisies sur ordinateur.

De nombreux jardins botaniques sont spécialisés dans le rassemblement et la culture de plantes médicinales, comme le Jardin des plantes médicinales de la ville de Tokyo et, également au Japon, l'Institut national des sciences de l'hygiène, qui exploite cinq stations expérimentales de plantes médicinales, situées dans différentes zones climatiques du pays. Plusieurs jardins botaniques en Chine et en Inde possèdent des collections particulières de plantes médicinales et mènent des activités de recherche dans ce domaine, et les jardins de plantes médicinales sont particulièrement nombreux en Europe orientale (en Bulgarie, en Hongrie, en Tchécoslovaquie, en Pologne, en Yougoslavie et en URSS).

Indépendamment de la conservation de plantes vivantes et de banques de gènes sur le terrain, un nombre de plus en plus important de jardins botaniques pratiquent la conservation *ex situ* en stockant des semences. Comme nous l'avons vu, l'échange de semences, par le biais de listes de semences, est pour les jardins botaniques une tradition séculaire et des dizaines de milliers d'espèces sont ainsi proposées. Ces dernières années, les jardins botaniques ont progressivement adopté les méthodes utilisées par les banques de semences pour la conservation des graines après dessiccation et à basse température. Plusieurs jardins botaniques, comme les Royal Botanic Gardens de Kew et Wakehurst Place, le Jardin botanique national de Belgique à Meise, le Jardín Botánico Viera y Clavijo à Las Palmas, dans l'île de Grande-Canarie, gèrent des banques de semences de niveau international et beaucoup d'autres jardins organisent actuellement l'échantillonnage et le stockage de leurs semences selon des principes scientifiques valables. Le Botanic Gardens Conservation Secretariat a l'intention de coordonner ces initiatives avec d'autres formes de conservation *ex situ* d'espèces sauvages et il a élaboré à cette fin des directives. Le Centre for Plant Conservation, déjà cité, a mis en place un dispositif qui prévoit que les semences d'espèces nord-américaines menacées qui sont recueillies dans le cadre de son programme par les jardins botaniques membres sont conservées par la Banque de semences du Département de l'agriculture des États-Unis à Fort Collins. Il est clair que, pour les espèces sauvages à graines orthodoxes, les jardins botaniques peuvent jouer un rôle important dans la collecte et la conservation des semences. Tous les jardins botaniques ne peuvent pas s'offrir les installations et les appareils coûteux nécessaires pour créer une banque de semences et la faire fonctionner, mais les jardins peuvent

avoir des installations en commun ou coopérer avec une université locale ou d'autres laboratoires qui possèdent l'équipement nécessaire.

Pour les espèces à graines récalcitrantes, qui sont difficiles à stocker, les jardins botaniques s'intéressent de plus en plus à la culture de tissus et à d'autres méthodes de conservation *in vitro*, surtout dans le cas des orchidées. Ces méthodes sont particulièrement intéressantes lorsqu'on ne possède plus que de très petits échantillons des espèces menacées, comme dans le cas de l'arbuste *Ramosmania heterophylla*, endémique de l'île de Rodrigues dans l'océan Indien, dont il n'existait plus dans la nature qu'un seul exemplaire chétif, mais dont on a réussi la micropropagation aux Royal Botanic Gardens de Kew, ce qui a permis d'obtenir le matériel nécessaire en vue de sa réintroduction ultérieure dans son habitat d'origine.

Les espèces à graines orthodoxes peuvent souvent être cultivées avec succès dans les jardins botaniques et stockées en vrac en vue de leur conservation à long terme soit dans des collections conservatoires, soit en vue d'expériences de réintroduction. De nombreux jardins ont aujourd'hui des activités de ce type, en particulier des jardins de création récente dans diverses parties du monde comme le Conservatoire et Jardin botanique de Mascarin, dans l'île de la Réunion, qui, en l'espace de quelques années, a réussi à cultiver des échantillons importants d'un grand nombre d'espèces rares et menacées de la région, le Tropical Botanic Garden and Institute de Palode, à Trivandrum, en Inde, qui cultive des échantillons de la flore endémique menacée de la chaîne des Agastyamalai située non loin de là dans les Ghats occidentaux, et le Jardín Botánico de Córdoba, qui mène en coopération avec l'organisation nationale de conservation ICONA un programme de culture et de réintroduction d'espèces endémiques rares du sud de l'Espagne. On pourrait ainsi citer des exemples concernant la plupart des autres régions du monde.

Pour parvenir à conserver, cultiver ou réintroduire avec succès des végétaux, il faut bien connaître tout ce qui concerne le stockage de leurs semences, leur germination, leur croissance et leur reproduction, et les jardins botaniques sont des institutions toutes désignées pour l'acquisition de telles connaissances. Les informations obtenues auront souvent une valeur inestimable pour les organismes agricoles ou forestiers, qui s'intéressent de plus en plus à la possibilité d'utiliser des espèces sauvages dans leurs programmes. Là encore, la reconstitution et la régénération des habitats, qui deviendront un aspect de plus en plus important des activités de conservation dans les années à venir, dépendent non seulement du matériel génétique disponible, mais aussi des connaissances accumulées sur la biologie de la reproduction et les exigences culturelles des espèces concernées. Une coopération plus étroite entre les jardins botaniques et les organismes qui s'occupent de l'agriculture, de la sylviculture et de la conservation deviendra la règle dans les années à venir. Cette association s'avérera mutuellement profitable et les jardins botaniques redeviendront des acteurs clés dans l'introduction du matériel phylogénétique, dans son expérimentation et dans son stockage.

Naturellement, les jardins botaniques ne seront pas tous désireux de participer à ces activités et certains se limiteront, en matière de conservation, à une action tout au plus éducative. Mais les jardins botaniques sont particulièrement aptes à remplir ce rôle éducatif et certains ont déjà mis en place dans ce domaine des programmes remarquablement efficaces. Le Botanic Gardens Conservation Secretariat publie, avec le concours du Fonds mondial pour la nature et d'autres parrainages, un bulletin d'information sur la conservation, *Roots*, et il élabore des pochettes éducatives et autres matériels éducatifs destinés aux jardins botaniques.

L'élaboration de programmes de conservation pose aux jardins botaniques d'innombrables problèmes scientifiques et techniques, mais d'ores et déjà un état d'esprit très positif semble prédominer et de nombreux jardins se montrent résolus à surmonter tous ces obstacles. Cela n'a rien d'étonnant, si l'on songe à l'importance de l'enjeu. ■

---

# Le rôle des réserves de la biosphère dans la conservation et l'exploitation des ressources génétiques : les choix sociaux

G. Brent Ingram

*Les réserves de la biosphère sont appelées, grâce aux possibilités de surveillance continue et d'échange d'information et de matériel qu'elles offrent, à jouer un rôle de plus en plus décisif dans la conservation et l'utilisation des ressources génétiques constituées par les espèces sauvages. Le réseau des réserves de la biosphère peut contribuer de multiples façons à améliorer les perspectives de développement durable, objectif qui suppose plusieurs modes d'approche différents de l'étude des espèces sauvages, la recherche des moyens de financer la conservation et de distribuer des profits tirés de la commercialisation des produits biotechnologiques, la participation des collectivités locales à la gestion des terres et la définition d'une série de choix en matière d'aménagement du territoire.*

Depuis maintenant bien plus de dix mille ans, les « progrès » de l'humanité sont en grande partie liés aux percées réalisées dans l'utilisation des ressources naturelles – qu'il s'agisse de l'accroissement du nombre des plantes et des animaux sauvages qui sont exploités ou de la domestication d'un nombre moindre d'espèces dont l'économie mondiale est aujourd'hui largement tributaire. Nos projections pour l'ère post-industrielle ont mis en lumière le rôle déterminant de l'information et des biotechnologies dans la création de richesses nouvelles – et très certainement dans la préservation de celles que nous possédons déjà. Il est certain que des segments plus importants de nos systèmes économiques et gouvernementaux s'emploient à prévenir les catastrophes écologiques, à faire réparer les dommages par ceux à qui vont les pro-

---

Brent Ingram est maître de conférence dans les Départements de botanique et de gestion des ressources forestières de l'Université de la Colombie britannique, à Vancouver. Titulaire depuis peu d'un doctorat d'aménagement de l'environnement de l'Université de Californie (Berkeley), il donne actuellement des cours d'écologie des paysages et d'aménagement des parcs. En tant que chercheur, il s'intéresse surtout à l'étude et à la conservation des ressources biologiques des zones protégées ainsi qu'à l'évaluation de l'impact écologique comme outil de planification des réseaux régionaux de réserves – en particulier dans les îles possédant de grandes étendues de forêt ombrophile primaire. L'auteur peut être contacté à l'adresse suivante : Departments of Plant Science and Forest Resources Management, 344-2357 Main Mall, University of British Columbia, Vancouver, V6T 2A2, Canada.

---

fits et par les consommateurs, et à trouver de délicats équilibres entre régulation au niveau mondial et contrôle local, entre centralisation des profits et du capital et plus de coopération et d'égalité au niveau des institutions, entre un risque minimum et le maintien d'un espace d'expérimentation et d'expansion économique.

C'est dans ce contexte politique et institutionnel fait d'un pêle-mêle d'entités locales, nationales et internationales – organisations gouvernementales et non gouvernementales aussi bien qu'entreprises – que les ressources génétiques des espèces sauvages peuvent être exploitées. Seuls des rapports de coopération en ce qui concerne les activités de recensement, de documentation, d'évaluation en laboratoire, de génie génétique et de commercialisation établis au niveau international sont de nature à produire la volonté et les perspectives de profit requises pour l'exploitation de ces ressources. De même, ce n'est qu'au niveau international qu'il est possible d'étudier les répercussions écologiques et sociales, positives ou négatives, de la création de nouvelles races, variétés, cultures et autres formes de vie.

Or le potentiel de création de ces nouvelles races se réduit de jour en jour, parce que, dans le monde entier, la diversité des espèces naturelles est en train de s'appauvrir à un rythme sans précédent. Cet appauvrissement de la diversité biologique, qui concerne aussi bien le nombre des espèces que la taille des populations (et partant la variabilité génétique) au sein d'une même espèce (Wilson, 1988 ; Ingram, 1990), a essentiellement pour cause la modification des habitats liés au développement urbain et industriel, à l'assèchement et à la mise en culture des zones humides et au déboisement et à d'autres facteurs.

L'une des missions essentielles des biotechnologies sera peut-être d'assurer la sauvegarde de la totalité des espèces, des génotypes et des caractères héréditaires apparus spontanément. Quant à la « promesse » de systèmes de production fondés sur la biotechnologie, elle est à double tranchant, car si elle offre l'espoir de richesses nouvelles accompagnées de moins de risques et de nuisances que les systèmes de production de l'ère industrielle, c'est aussi une boîte de Pandore qui recèle des effets potentiellement pernicioseux, comme d'éventuelles invasions biologiques d'espèces exotiques ou d'organismes issus de manipulations génétiques.

Les zones protégées telles que parcs nationaux ou réserves de la biosphère joueront un rôle clé dans l'élaboration des biotechnologies nouvelles, en ce sens qu'elles sont appelées non seulement à fournir occasionnellement du matériel génétique, sous forme de semences, d'ovules, de sperme et de tissus, mais aussi – ce qui est sans doute plus important – à livrer une foule d'informations très diverses sur les organismes, les écosystèmes et les relations dont elles sont le siège. Seule une telle base de connaissances peut permettre la mise au point de produits compétitifs, qu'il s'agisse de produits de base essentiels ou de substances médicinales mineures. Et même si les prédictions optimistes de certains biogénétiens s'avéraient exactes et que nous puissions un jour réaliser facilement la synthèse de presque n'importe quel matériel génétique, il n'en faudrait pas moins étudier en permanence les populations qui prospèrent dans différents écosystèmes pour tirer de cette étude des enseignements utiles.

## **Le programme de l'Unesco sur l'homme et la biosphère**

Le concept de réserve de la biosphère a pris forme dans le cadre du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB) lancé par l'Unesco en 1971. La nécessité d'instaurer des structures internationalement reconnues pour la gestion des zones protégées en vue de la conservation des espèces et de la diversité génétique est devenue très tôt dans l'histoire du mouvement écologiste une des préoccupations centrales du MAB (Batisse, 1982). Et l'on a commencé dès 1968, si ce n'est avant, à prendre conscience des possibilités qu'offraient des sites comme les réserves de la biosphère pour la conservation et l'obtention de matériel génétique d'espèces sauvages et domestiques (Unesco, 1970).

La réserve de la biosphère, dans sa conception actuelle, est constituée d'une série de zones dont l'utilisation est réglementée en fonction de différentes normes de conservation – à savoir une aire centrale, une zone tampon et une zone de transition relativement vaste qui permet à la réserve d'apporter sa contribution au développement régional (Robertson Vernhes, 1989). Malheureusement, dans bien des cas, cette répartition en zones pose des problèmes dans la mesure où la délimitation des sites proposés est inadéquate ou ceux-ci sont de trop faible superficie pour contribuer beaucoup au maintien de la diversité biologique locale. D'autre part, il arrive souvent que la gestion qui y est pratiquée n'assure pas la protection des éléments les plus vulnérables de la flore et de la faune. C'est pourquoi, dans de nombreux pays, les programmes d'ores et déjà mis en place pour améliorer les moyens de gestion et de surveillance des réserves de la biosphère sont prioritaires (Unesco, 1984).

En 1990, il existait 285 réserves de la biosphère réparties dans 72 pays, avec quelques lacunes notables, en particulier dans certaines zones tropicales. Le statut de réserve de la biosphère ne place pas la zone considérée sous juridiction internationale : il offre plutôt un cadre aux activités d'échange d'information et de surveillance. Les sites proposés par les pays membres du programme MAB doivent répondre à différents critères pour pouvoir faire partie du réseau international de réserves de la biosphère.

Plus que tout autre type de zone protégée, les réserves de la biosphère jouent un rôle clé dans la conservation et l'exploitation des ressources génétiques des plantes et des animaux sauvages, pour différentes raisons (Ingram et Williams, 1984). D'une part, rares sont les espèces, et plus encore les genres, qui n'existent que dans un seul et unique pays, de sorte que la compilation d'informations sur le matériel génétique d'importants pools géniques (Harlan, 1976) et l'obtention de ce matériel nécessitent habituellement une forme ou une autre, si modeste soit-elle, de coopération intergouvernementale. Le programme des réserves de la biosphère est à ce jour le seul réseau véritablement mondial de surveillance continue des populations, des processus écologiques et de la diversité biologique qui leur sont associés. D'autre part, les théories, et les techniques correspondantes, concernant les moyens propres à assurer la conservation de la variabilité génétique et l'approvisionnement des sélectionneurs et des généticiens en matériel d'étude sont chose toute récente. Les pays doivent ensemble tirer parti sans retard des informations, des crédits et des talents à leur disposition pour mettre au point des moyens à la fois de conserver et d'exploiter les ressources génétiques et la richesse qu'elles représentent. La plupart des gouvernements et des instituts nationaux n'ont ni la capacité technique ni l'abondance de ressources génétiques nécessaires pour mener seuls ce travail ; d'où l'intérêt pour eux de mettre

en commun leurs ressources et leur savoir-faire dans le cadre du réseau des réserves de la biosphère.

Mais pourquoi ne pas simplement conserver ces espèces en laboratoire en laissant les populations sauvages à leur sort ? Pourquoi ne pas nous contenter de quelques nouvelles améliorations des variétés de plantes cultivées et d'animaux domestiques dont nous disposons déjà, et de quelques nouvelles introductions ? La réponse à ces questions fera apparaître les raisons pour lesquelles les réserves de la biosphère offrent non seulement une bonne formule de gestion de l'environnement, mais aussi un outil essentiel pour le progrès des biotechnologies et le développement économique.

### *Qu'est-ce qu'une réserve de la biosphère ?*

Les réserves de la biosphère sont des zones protégées appartenant à des milieux terrestres et côtiers représentatifs, reconnus comme tels par la communauté internationale réunie au sein du programme MAB de l'Unesco. Conçues pour assurer à la fois la conservation et la mise en valeur durable des ressources naturelles, elles remplissent toute une série de fonctions propres aux zones protégées dans le cadre d'un réseau planétaire de mise en commun de l'information.

Chaque réserve de la biosphère renferme des spécimens d'écosystèmes caractéristiques de l'une des régions naturelles du globe et fait ainsi fonction de dépôt pour la conservation d'un échantillon représentatif du matériel génétique de la planète.

Il s'agit d'une zone terrestre ou d'une zone côtière ou marine, avec sa population humaine (qui en est indissociable), gérée dans la perspective d'objectifs qui vont de la protection intégrale à la production intensive mais durable.

Une réserve de la biosphère est aussi un centre régional d'observation permanente et d'étude des écosystèmes naturels ou gérés par l'homme ainsi que d'éducation et de formation en la matière.

C'est un lieu où les responsables politiques, les chercheurs, les administrateurs et la population locale unissent leurs efforts pour mettre en œuvre un programme exemplaire de gestion des milieux terrestres et aquatiques capable de répondre aux besoins humains tout en préservant les processus naturels et les ressources biologiques.

Enfin, chaque réserve de la biosphère est l'incarnation d'une somme de volontés tendues vers un but : conserver et mettre en valeur les ressources existantes pour accroître le bien-être de tous.

### **Espèces sauvages et ressources génétiques : nécessité de la conservation *in situ***

A l'heure actuelle, nous n'avons une bonne connaissance scientifique que d'une petite partie des espèces végétales et animales qui vivent sur terre. Nombre d'entre elles, en particulier celles qui peuplent les forêts tropicales, devront attendre encore des dizaines d'années avant d'être recensées et étudiées. Et même en ce qui concerne les populations d'espèces connues, nous savons très peu de choses de l'étendue de leurs variations intraspécifiques : sous-espèces, génotypes, allèles. A vrai dire, même dans les conditions de recherche les plus favorables, il ne sera sans doute possible d'étudier à fond, au cours des siècles à venir, qu'une petite partie de la variabilité génétique d'un nombre limité d'espèces.

A en juger par ce que nous savons des espèces sauvages et adventices appartenant à quelques-uns des pools géniques de plantes cultivées les mieux étudiés, nous pouvons nous attendre à découvrir une diversité inouïe, au niveau de la variation génétique, des génotypes et allèles liés à des facteurs écologiques ou géographiques, de la sélection active et de la formation des espèces, des barrières reproductives interspécifiques et de la dynamique des populations. Ce n'est qu'en prenant tous ces facteurs en considération et en affinant notre connaissance de la biologie des espèces que nous réussirons à élaborer des stratégies efficaces permettant de conserver et de stocker la majeure partie des ressources génétiques de tel ou tel pool génique intéressant. Bien entendu, il est indispensable, avant d'entreprendre un travail aussi intensif sur le terrain et en laboratoire, de commencer par identifier des portions particulièrement importantes de certains pools géniques déterminés. Et même dans le cas des pools géniques de plantes cultivées qui sont déjà étudiés par de nombreux chercheurs et instituts, il faudra attendre des dizaines d'années pour trouver la réponse à certaines questions clés.

Dans tous ces travaux, les espèces sauvages et adventices représentent pour le sélectionneur comme pour le conservateur la référence de base à partir de laquelle évaluer le potentiel d'un pool génique. Au fur et à mesure que se multiplient les synthèses de gènes en laboratoire, l'importance des populations de congénères sauvages et adventices des plantes cultivées, loin de diminuer, s'accroîtra. Nous sommes en effet appelés, dans notre quête d'adaptations essentielles et de complexes de gènes adaptatifs, à revenir de plus en plus aux populations sauvages. Mais, de même que le choix de la méthode d'échantillonnage des semences destinées aux recherches en laboratoire ou aux banques de gènes pose de difficiles problèmes de taille et de nombre des échantillons, il est difficile de déterminer combien de populations et quels types de zones il convient de protéger.

Une grande partie de la diversité génétique originelle de la plupart des espèces végétales et animales n'est pas actuellement représentée dans les réserves de la biosphère et risque donc, pour une bonne part, de se perdre avant d'avoir été jamais étudiée ou de pouvoir être utilisée. Une fraction non négligeable de cette diversité sera certes conservée *ex situ*, dans les banques de gènes, les parcs zoologiques et les jardins botaniques (Ashton, 1988), mais à long terme cela ne permettra de disposer que d'une fraction minuscule de l'information et du matériel génétique utiles susceptibles d'être fournis par des populations spontanées. L'élément humain – c'est-à-dire l'ensemble des connaissances traditionnelles – est aussi précieux que les espèces, les génotypes et la diversité des facteurs de sélection entretenus dans telle ou telle réserve de la biosphère, car c'est sur lui que s'appuiera la conservation à mesure qu'apparaîtront des

moyens plus efficaces de gérer certaines espèces et de ralentir la dégradation de l'environnement.

La plupart des espèces végétales et animales sauvages présentes dans les réserves de la biosphère, ou d'ailleurs dans n'importe quel écosystème naturel, ne présenteront jamais d'utilité directe ni pour l'amélioration des cultures et du bétail ni pour des introductions nouvelles. Le siècle qui vient verra s'accroître notre dépendance à l'égard d'un petit nombre d'espèces déjà domestiquées, que nous continuerons d'améliorer, les introductions nouvelles restant rares. Plus que d'« introductions » véritables, il s'agira en fait dans bien des cas de la diffusion à l'échelle mondiale d'espèces utilisées jusqu'alors à des fins de subsistance dans quelques régions seulement. Mais qu'advient-il à plus long terme ? Nous n'en savons rien ; le bon sens incite à penser que, si les technologies continuent de progresser au même rythme qu'à présent et que le souci persiste dans les sociétés de voir (entre autres) se développer une agriculture non nuisible à l'environnement, nous aurons inévitablement besoin de disposer d'un pool génique où soit représentée la totalité de la diversité biologique de la planète (Bates, 1985).

Nul doute que les zones naturelles protégées par les gouvernements, les collectivités locales et les instituts de recherche permettront à de nombreuses espèces et de nombreux types d'habitats de se perpétuer malgré les agressions de l'ère postindustrielle. Non seulement les réserves de la biosphère seront les meilleures sources de matériel génétique et de données autoécologiques, en raison de l'étendue du travail de documentation dont elles font l'objet et des liaisons qu'elles ont d'ores et déjà permis d'établir à l'échelle mondiale, mais elles constitueront aussi les principaux nœuds nationaux et « biorégionaux » d'un réseau de connaissances qui existe à l'échelle des régions naturelles mais ne s'est pas internationalisé.

### **Utilisation des ressources génétiques des espèces sauvages**

Pendant des millénaires, l'utilisation, en fait la domestication, des plantes et des animaux a été le fruit d'un processus lent mais relativement constant d'interaction de l'homme et de son milieu. Une espèce était considérée comme utile s'il s'avérait que l'homme pouvait en tirer de manière à peu près fiable un moyen de se nourrir, de s'abriter ou de se soigner. Ce n'est que depuis quelques milliers d'années – et encore dans les zones bénéficiant d'une relative stabilité sociale et économique – que l'on s'est employé plus délibérément à créer des races particulières et à accroître le nombre de pools géniques d'espèces domestiques. L'ère coloniale s'est caractérisée par le contrôle centralisé et la diffusion mondiale d'un petit nombre de produits particulièrement appréciés comme le coton, le thé, le café et le caoutchouc.

Au cours des derniers siècles, les jardins botaniques (Brockway, 1979) et, plus récemment, les banques de gènes ont joué un rôle capital dans l'amélioration des produits et contribué dans une certaine mesure à donner à l'agriculture sa physionomie actuelle. Mais au siècle prochain, il se pourrait qu'avec l'accroissement des exigences en matière de niveau de vie et une plus grande stabilité sociale et économique, la demande d'espèces domestiques et semi-domestiques se diversifie de façon spectaculaire. Les nouvelles espèces animales et végétales mises au point seront en partie similaires à celles que l'on trouve aujourd'hui dans le commerce, mais il y aura en outre abondance de matériel hautement spécialisé, allant d'aliments et de médica-

ments particuliers à des espèces susceptibles de rendre des « services » écologiques dans les régions du monde où l'environnement est dégradé, par exemple des plantes et des arbres capables de stabiliser les dunes de sable ou de contribuer à restaurer la fertilité des sols salins.

Cette demande croissante de diversité génétique excède d'ores et déjà la capacité de production des créateurs de races nouvelles, à tel point qu'on est parvenu à une sorte de goulot d'étranglement, qui conduit beaucoup de chercheurs à penser que des espèces et races potentiellement utiles n'existent pas ou que les variations qu'offrent leurs pools géniques sont d'importance relativement mineure. Certes, on trouve souvent abondance de matériel génétique potentiellement utile dans les espèces domestiques « primitives ». Mais à long terme, il sera toujours instructif de retourner à la source de toute variation, c'est-à-dire aux populations naturelles. Toutefois, la recherche de ressources génétiques potentiellement utiles n'est praticable que si, comme le prévoit le programme des réserves de la biosphère, ces populations ont d'abord été bien décrites et qu'on a établi des protocoles pour leur utilisation scientifique.

Nous vivons à une époque où la modification d'un caractère héréditaire chez une race nouvelle peut faire monter la productivité en flèche, abaisser les coûts pour les consommateurs et être pour les « producteurs » une source de profits et de pouvoirs énormes. Les préoccupations, assez justifiées, que suscite le problème de l'appropriation et de la répartition des gains pécuniaires résultant de l'utilisation de matériel sauvage dans les secteurs de la sélection et de la biotechnologie ont éclipsé un certain nombre de questions fondamentales. Il s'agit moins de déséquilibres écologiques qui existent déjà que de choix sociaux, qui ne peuvent être faits qu'en période d'expansion économique et technologique ordonnée. Il n'est pas douteux que, grâce à sa stabilité et à ses capacités financières, qui lui ont permis de mettre en œuvre de vastes et lucratifs programmes de recherche, le Nord, prospère et riche en technologie, a réussi à tirer un profit maximum de bon nombre de ressources naturelles d'un Sud accablé de dettes mais riche de sa diversité biologique.

### **Les problèmes politiques**

Sauf à pécher par excès d'optimisme quant au rôle des réserves de la biosphère, force est de reconnaître qu'il existe des obstacles de taille à surmonter avant de pouvoir assurer une conservation et une surveillance adéquates. Le principal problème concerne le financement : la quasi-totalité des systèmes nationaux et sous-nationaux de zones protégées du monde, y compris dans plusieurs pays riches, sont si mal gérés, faute de crédits, que des populations, des génotypes, voire des espèces entières y sont peut-être menacés d'extinction. Il s'agit en dernière analyse d'un problème politique qu'on ne saurait résoudre en démontrant simplement l'intérêt que les zones protégées présentent à court terme. Il doit y avoir de la part de la société un engagement plus profond qui a peu de chances de se manifester en période d'instabilité politique et économique.

D'autre part, pour qu'une réserve de la biosphère puisse remplir efficacement son rôle de réserve génétique (Jain, 1975), il faut répondre à quatre questions techniques qui ne cessent de se poser et qui sont celles de la sécurité de conservation, de l'étendue de la conservation, de l'accès au matériel génétique et de sa distribution. Il y a aussi le problème des coûts et avantages sociaux de ces réserves, auquel est liée toute

une série de questions sans bonne réponse. Ce sont là des problèmes tenaces qui peuvent favoriser et entraver tout à la fois l'établissement de liens entre les réserves de la biosphère ainsi que les efforts visant à mettre au point de nouvelles biotechniques au cours des années à venir.

Jusqu'à quel point convient-il de protéger telle ou telle population dans une réserve? C'est là une question que la plupart des planificateurs et gestionnaires de la conservation ont à ce jour éludée. Même dans les circonstances les plus favorables, le souci de la conservation de telles ou telles ressources génétiques doit être mis en balance avec celui de la conservation d'autres espèces, les autres utilisations qui peuvent en être faites sans qu'il y ait consommation et la nécessité d'exploiter activement ces ressources en dehors des réserves. Déterminer les degrés de sécurité et de risque acceptables en matière de conservation n'est pas chose aisée.

Même les nations les plus pauvres se sont, dans leur grande majorité, déclarées résolues à empêcher autant que possible que des espèces ne disparaissent. Mais jusqu'où cette détermination doit-elle aller? Doit-elle s'étendre à la préservation de telle sous-espèce particulière ou de tel génotype ou d'un certain écosystème unique en son genre, alors que par ailleurs on manque de ressources pour les programmes sociaux? La délimitation et la gestion des aires centrales et des zones tampons peuvent être délibérément conçues de manière à assurer une marge acceptable de sécurité à telle espèce ou ensemble d'espèces. Dans la plupart des cas, malheureusement, cela ne peut se faire, et la marge de sécurité est obtenue *de facto*. Il faut également que les décisions prises en matière d'aménagement des terres tiennent compte des priorités de conservation des ressources génétiques reconnues ou potentielles et de la nécessité de préserver la santé et la faculté de résistance de populations et d'écosystèmes particuliers. Une autre difficulté consiste à déterminer l'importance quantitative des ressources humaines et financières à consacrer au travail complexe de gestion qu'exige la conservation de la diversité biologique d'espèces dont la richesse en ressources génétiques potentiellement utiles est établie ou admise. Il peut exister d'autres espèces plus vulnérables ou présentant une plus grande valeur stratégique (Ingram, 1989) ou dont le potentiel génétique n'est pas encore reconnu.

À côté du degré général de protection d'une espèce, un autre élément à considérer est ce qu'on a parfois appelé la « diversité souhaitée ». Au sein des populations tant naturelles que protégées, il existe un flux constant de fréquences géniques, certains allèles se raréfiant ou disparaissant complètement. Comme dans les banques de gènes, les parcs zoologiques et les jardins botaniques, l'effectif des populations se réduit peu à peu, ce qui fait que la base de variation est de plus en plus étroite, d'où une perte de ressources génétiques potentiellement utiles. Afin de préserver les allèles rares ou d'éventuels complexes adaptatifs associés à certains milieux et facteurs de sélection, il faut fixer des normes plus élevées concernant la taille des populations et prévoir parfois des populations complémentaires. Là encore, la question de savoir jusqu'où exactement il faut aller suscite maintes discussions techniques qui, pour beaucoup de pools géniques bien étudiés, risquent de se poursuivre indéfiniment.

La troisième série de questions concerne l'accès au matériel génétique et la facilité d'acquisition de ce matériel. Les réserves de la biosphère doivent-elles être conçues de manière à en optimiser l'accès et, dans l'affirmative, au profit de qui exactement? Des instituts nationaux? Des organismes de conservation et de gestion de l'environnement? Des entreprises privées ou publiques des pays riches?

Qui doit prendre en charge l'entretien des pistes conduisant aux zones où se trouvent les populations susceptibles de fournir du matériel potentiellement utile

pour les cultures de tissus ? Qui doit payer le travail de terrain et le travail de description de telle ou telle population, et à qui doivent incomber des frais moins directs comme la télédétection qui produira des données destinées à améliorer la surveillance et la gestion ? Et à supposer que ce soit aux utilisateurs de payer, qui sont-ils : les groupes qui collectent et stockent le matériel génétique, ou ceux qui créent des produits à partir de ce matériel, les font breveter et les vendent ?

Il y a enfin l'épineuse question de la distribution et de la propriété du matériel génétique provenant des réserves de la biosphère. Qui sera « propriétaire » de tel allèle présent dans une variété brevetée, si l'allèle en question est aussi présent dans des populations sauvages que l'on trouve dans quelques rares pays ? Aujourd'hui, il est pratiquement impossible d'établir l'origine géographique d'échantillons donnés de matériel génétique et l'un des problèmes qui se posent avec l'actuel système de banques de gènes tient au peu de données écologiques et morphologiques dont elles disposent pour la plupart de leurs échantillons. Tant que l'on n'aura pas mis au point des méthodes fiables pour retrouver l'origine du matériel, les avantages économiques procurés par des gènes extraits de matériel sauvage resteront largement aux mains de ceux qui sont en mesure de les exploiter – et cela, même si l'on parvient à établir dans ce domaine des accords internationaux analogues à ceux qui régissent la propriété intellectuelle. Même avec la reconnaissance des « droits » des sélectionneurs de végétaux, la mise à profit de nombreuses subventions gouvernementales occultes peut contribuer à asseoir un droit de propriété. Mais dans le cas des populations sauvages conservées *in situ*, il existe un autre facteur caché, à savoir les données écologiques qui, associées à des recherches sophistiquées en laboratoire, pourront servir, à terme, à résoudre des problèmes autrement plus complexes que celui qui consiste simplement à maximiser les rendements.

### Les choix sociaux

Il existe différentes manières d'utiliser le réseau mondial de réserves de la biosphère pour conserver et exploiter les ressources génétiques de la flore et de la faune sauvages. Le fonctionnement du système dépendra de l'approche adoptée à l'égard de problèmes de développement plus vastes, tels que l'accès à l'information, les échanges technologiques, l'équité régionale et la diversification économique.

La recherche de ressources génétiques potentiellement utiles est comparable à celle d'une aiguille dans une botte de foin : les systèmes de documentation concernant telle ou telle population et le degré de surveillance continue dont elle fait l'objet détermineront dans une grande mesure l'objet des recherches et ce qui sera finalement utilisé. Il n'existe actuellement qu'un petit nombre de protocoles pour la description de matériel sauvage *ex situ* et très peu de précédents pour la description de populations *in situ*. L'identification des données écologiques et phénotypiques clés est à peine commencée. Et, bien sûr, la question demeure de savoir jusqu'à quel point cette information doit être accessible, en particulier lorsqu'elle est produite ou financée par des entreprises commerciales – question qui revêt un caractère fortement politique.

La mise en place de nouveaux systèmes d'échange qui soient à la fois inter-institutionnels et internationaux en est à ses débuts. La récente initiative de l'Alliance mondiale pour la nature (UICN, 1989) qui, avec son projet de convention sur la conservation de la diversité biologique, s'efforce d'obtenir que les profits tirés de la vente des produits biotechnologiques soient réinvestis dans la protection des popula-

tions naturelles ayant fourni le matériel de base représente un grand pas en avant. Cette initiative de l'UICN s'inscrit dans le cadre plus large des efforts déployés par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) pour élaborer un projet d'instrument juridique sur la conservation de la diversité biologique de la planète. Les accords de remise de la dette extérieure en échange d'actions en faveur de la nature, du type de ceux qui ont été récemment conclus avec des pays d'Amérique latine, Madagascar et les Philippines, peuvent offrir l'occasion de canaliser des fonds vers les objectifs de surveillance et de protection des ressources génétiques.

Outre la question de l'équité Nord-Sud, il faut s'attacher au problème de la parité intranationale, régionale et « biorégionale ». Il va de soi que les communautés des régions du Sud (les tropiques en particulier) riches en diversité biologique sont en droit d'attendre du développement les mêmes avantages que ceux auxquels prétendent des régions du Nord pourtant moins bien dotées à cet égard. Mais ces communautés doivent pouvoir fixer elles-mêmes leurs priorités. Les sociétés autochtones à économie de subsistance qui existent encore aujourd'hui comprennent sans peine en quoi la perte de ressources biologiques, même mal connues, constitue une menace pour leur prospérité actuelle et future, tout simplement parce qu'elles ont besoin de ces ressources pour vivre. Mais il reste à voir comment les efforts de gestion déployés au niveau local pourraient être intégrés à des structures financières et administratives nationales et internationales.

On ne saurait trop insister sur l'importance de liaisons Sud-Sud. Un pays comme le Brésil, par exemple, qui souhaite améliorer ses cultures de café, peut avoir besoin de se procurer du matériel génétique dans des régions d'où cette plante est originaire, en Éthiopie, par exemple. Il est capital de trouver les moyens de faciliter ces liaisons.

Il existe plusieurs manières de protéger la diversité biologique, et les moyens par lesquels il est possible d'acquérir, de conserver et de distribuer des ressources génétiques sont assurément multiples. Il convient de mettre au point différents scénarios de conservation de ces ressources, afin de distinguer plus clairement à qui profitera telle ou telle stratégie et qui paiera. Ce n'est que lorsque nous aurons cessé de voir les choses dans une optique de crise, si justifiée que cela soit par ailleurs, que nous pourrions prendre les décisions théoriques et institutionnelles requises pour édifier un nouveau système de gestion économique et écologique susceptible de produire d'immenses bienfaits sociaux et, il va sans dire, de contribuer à la survie des organismes avec lesquels nous partageons la planète. ■

### Références

- ASHTON, P. S. 1988. Conservation of biological diversity in botanical gardens. Dans : E. O. Wilson (dir. publ.), *Biodiversity*, op. cit., p. 269-278.
- BATES, D. M. 1985. Plant utilization: patterns and prospects. *Economic Botany*, 39 (3), p. 241-265.
- BATISSE, M. 1982. The biosphere reserve: a tool for environmental conservation and management. *Environmental Conservation*, 9 (2), p. 101-111.
- BROCKWAY, L. H. 1979. *Science and colonial expansion: the role of the British Royal Botanic Gardens*. Londres, Academic Press.
- HARLAN, J. R. 1976. Genetic resources in wild relative crops. *Crop Science*, 16, p. 329-333.
- INGRAM, G. B. 1989. *Planning district networks of protected habitat for conservation of biological diversity: a manual with applications for marine islands with primary rainforest*. Ann

- Arbor, Mich., Microfilm International. (Thèse de doctorat présentée à l'Université de Californie, Berkeley.)
- . 1990. Multi-genepool surveys in areas of rapid genetic erosion: an example from the Air Mountains, northern Niger. *Conservation Biology*, 4 (1).
- ; WILLIAMS, J. T. 1984. *In situ* conservation of wild relatives of crops. Dans: J. H. W. Holden et J. T. Williams (dir. publ.), *Crop genetic resources: conservation and evaluation*, p. 163-179. Londres, George Allen & Unwin.
- JAIN, S. K. 1975. Genetic reserves. Dans: O. H. Frankel et J. G. Hawkes (dir. publ.), *Crop genetic resources for today and tomorrow*, p. 379-396. Cambridge, Cambridge University Press. (IBP Synthesis, vol. 2.)
- ROBERTSON VERNHES, J. 1989. Biosphere reserves: the beginnings, the present and the future challenges. *Proceedings of the Symposium on Biosphere Reserves, Fourth World Wilderness Congress, 14-17 September 1987, Estes Park, Colorado, USA*. Atlanta (Géorgie), Département de l'Intérieur des États-Unis d'Amérique, Service des parcs nationaux.
- UICN. 1989. Projet d'articles en vue de l'inclusion de l'UICN dans une future convention sur la conservation de la diversité biologique et de la création d'un fonds à cette fin, avec notes explicatives (6 juin 1989).
- UNESCO. 1970. *Utilisation et conservation de la biosphère. Actes de la Conférence intergouvernementale d'experts sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère, Paris, 4-13 septembre 1968*. Paris, Unesco. (Recherches sur les ressources naturelles, 10.)
- . 1984. Plan d'action pour les réserves de la biosphère. *Nature et ressources*, vol. XX, n° 4, p. 1-12.
- WILLIAMS, J. T. 1988. Identifying and protecting the origins of our food plants. Dans: E. O. Wilson (dir. publ.), *Biodiversity, op. cit.*, p. 240-247.
- WILSON, E. O. 1988. The current state of biological diversity. Dans: E. O. Wilson (dir. publ.), *Biodiversity*, p. 3-17. Washington, D.C., National Academy Press.

---

# Les ressources zoogénétiques

John Hodges

*Les animaux domestiques constituent pour l'humanité une précieuse ressource génétique. L'auteur du présent article retrace l'histoire des ressources zoogénétiques et indique les évolutions auxquelles on assiste actuellement dans ce domaine sous l'effet de facteurs économiques. Il plaide en faveur d'une meilleure utilisation et de la préservation de cet irremplaçable patrimoine et expose les programmes et méthodes qui pourraient être mis en œuvre pour le sauver, soulignant que toutes les techniques et infrastructures nécessaires existent déjà et qu'il ne reste plus qu'à organiser l'action à l'échelle mondiale.*

Il est largement reconnu aujourd'hui que les activités humaines ont pour effet d'appauvrir la diversité biologique de la planète. Qu'il s'agisse de la flore et de la faune sauvages, des forêts ou des ressources halieutiques, toutes les espèces sont touchées. La pression exercée par l'accroissement de la population humaine, de ses besoins alimentaires et de ses aspirations à une meilleure qualité de vie rompt l'équilibre des ressources naturelles utilisées dans l'agriculture. Depuis des millénaires, les agriculteurs et éleveurs de la planète exploitaient localement et à petite échelle les plantes et les animaux domestiqués par leurs ancêtres pour des usages spécialisés. Les cycles biologiques étaient stables et la production alimentaire pouvait se poursuivre de manière soutenue. Aujourd'hui, une gestion plus interventionniste des habitats biologiques permet d'obtenir une production alimentaire plus abondante, mais menace la diversité biologique, et notamment les ressources zoogénétiques – cette expression s'appliquant aux espèces animales domestiques.

L'homme a domestiqué une quinzaine d'espèces animales pour en tirer de la

---

John Hodges a été haut fonctionnaire à la FAO, à Rome (Programme de sélection animale et ressources génétiques), de 1982 à 1990, où il était chargé du programme relatif aux ressources génétiques animales. Avant d'entrer à la FAO, il était professeur de génétique animale à l'Université de la Colombie Britannique, à Vancouver (Canada). Il avait auparavant dirigé la Division de la production de l'Office de commercialisation du lait de l'Angleterre et du pays de Galles et enseigné quelques années à l'Université de Cambridge. Il est diplômé des universités de Cambridge et de Reading ainsi que de la Harvard Business School. Familier des questions de production animale, de diversité biologique, de développement durable et d'environnement, il a été membre de la Commission des ressources génétiques animales de l'Académie des sciences des États-Unis et possède une grande expérience des projets de développement dans les pays en développement comme dans les pays industrialisés. Il a récemment quitté la FAO pour s'établir en Autriche, où il travaille comme consultant. On peut le joindre en lui écrivant à l'adresse suivante : 31 Rushmere Avenue, Northampton NN1 5SD, Royaume-Uni.

---

nourriture, des fibres et du travail. Six ou sept de ces espèces suffisent à répondre aux besoins de la majeure partie de la population humaine : bovins, moutons, chèvres, porcs, poulets, dindes et, en Asie, buffles. D'autres espèces domestiques, comme le chameau, l'éléphant et le yak, par exemple, sont utilisés par des groupes humains beaucoup plus restreints.

L'utilisation de ces ressources animales par les humains est passée par plusieurs stades :

Domestication : centres d'origine (9000-5000 av. J.-C.).

Migrations de populations humaines accompagnées de leurs animaux domestiques : adaptation des animaux à des environnements hostiles ; isolement ; dérive génique, sélection naturelle et humaine ; apparition progressive, à l'intérieur de chacune des espèces animales domestiques, d'un nombre énorme de races présentant un haut degré d'adaptation (5000 av. J.-C.-1700 apr. J.-C.).

Reproduction contrôlée : livres d'origine (*herd books*) pour l'inscription individuelle des bovins ; sélection plus intensive des types recherchés (1700-1945).

Applications de la science : insémination artificielle ; congélation de sperme ; nouvelles méthodes quantitatives pour la sélection des caractères souhaités ; emploi de l'ordinateur ; sélection de populations ayant un degré de consanguinité élevé ; croisements ; échanges internationaux de sperme et de bétail à grande échelle (1945 à aujourd'hui).

Début de l'ère de la biotechnologie (années 80) : peut-être faudra-t-il attendre des décennies pour voir les biotechnologies appliquées à la production au niveau des exploitations, mais leur potentiel est si grand et l'intérêt de leurs résultats tel qu'elles auront inévitablement un impact ; manipulation des embryons – coupe, clonage, sélection du sexe ; fécondation *in vitro* ; animaux transgéniques à patrimoine génétique déterminé par le sélectionneur ; nouvelles applications de la génétique quantitative ; contrôle hormonal des processus biologiques de la reproduction, de la croissance et de la lactation.

L'application des données de la science à ce que l'on appelle communément le développement a rendu possible une extension des races économiquement avantageuses. Mais ce progrès, s'il ne s'inscrit pas dans la perspective d'un développement durable, met en péril beaucoup de races indigènes dont l'adaptation au milieu est le fruit d'une évolution plusieurs fois millénaire. Chercher à accroître la production animale en faisant de la science un usage judicieux relève de ce qu'on appelle aujourd'hui le « développement durable », ainsi défini par la FAO : « Le développement durable consiste à gérer et conserver la base de ressources naturelles et à orienter l'évolution technologique et institutionnelle de manière à garantir la continuité de la satisfaction des besoins des générations humaines, présentes et futures. Ce type de développement (dans les secteurs de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche) préserve les ressources en terres, en eau et en végétaux ainsi que les ressources génétiques animales ; il est respectueux de l'environnement, techniquement approprié, économiquement viable et socialement acceptable. »

Une telle approche sauvegarde les ressources biologiques grâce à une exploitation rationnelle et contrôlée. Elle tend à répondre aux besoins présents sans sacrifier l'avenir. Dans le cas des ressources zoogénétiques, elle s'applique à toutes les races domestiques de mammifères et de volatiles que l'homme exploite pour leur chair, leurs fibres ou leur force de traction animale dans les multiples habitats de la planète. Elle assure, en outre, la perpétuation des races et des espèces momentanément dépourvues d'utilité économique.

Pourquoi vouloir protéger les espèces dont la survie est menacée ? Certains estiment qu'il n'y a pas à s'en préoccuper car les ajustements économiques nécessaires s'opéreront spontanément, tandis que pour d'autres, la perte de matériel génétique présentant un caractère unique est inacceptable. Nous rappellerons brièvement ici les arguments invoqués, et largement débattus, par les tenants de chacun des deux points de vue.

### **Les arguments contre la préservation institutionnalisée**

Les adversaires de tout mécanisme formel de préservation des espèces animales font valoir pour l'essentiel que si une race est économiquement utile, elle sera protégée par le jeu des forces du marché. A ceux qui leur opposent que cette utilité se révélera peut-être en d'autres temps ou d'autres lieux, ils répliquent que les sélectionneurs compétents ne manqueront pas de veiller à ce que toute la variation génotypique dont ils pourraient avoir besoin dans l'avenir leur demeure accessible. Cet argument est peut-être valable pour ce qui concerne certaines espèces animales domestiques des pays développés, mais il ne résiste pas à l'examen dans le cas des pays en développement, où beaucoup de races indigènes n'intéressent personne si ce n'est leurs propriétaires, qui ont de plus en plus tendance à les croiser avec des races exotiques.

L'autre argument invoqué à l'encontre de la préservation est son coût. C'est un argument qui peut se défendre. En effet, la société moderne répugne à investir dans des projets à très long terme, dont le rapport économique ou financier ne peut être apprécié exactement et risque même – c'est le cas pour certaines races protégées – de ne jamais se matérialiser.

### **Les arguments en faveur de la préservation**

La grande variabilité génétique qu'offraient les quelques espèces animales domestiques existantes est en train de disparaître sous l'effet des substitutions de races et des croisements. De nombreuses races indigènes, surtout dans les pays en développement, présentent des caractères adaptatifs particuliers : résistance aux maladies, tolérance du climat local, aptitude à accepter des aliments de qualité médiocre et à survivre avec des rations de nourriture et d'eau réduites. Il est probable aussi, bien que ce soit là un trait difficile à quantifier, qu'elles ont une aptitude particulière à transformer une alimentation pauvre et peu abondante en protéines. Pour les pays en développement, il n'existe pas d'évaluation convenablement documentée – au niveau scientifique, économique ou génétique – de la performance des races pures, indigènes ou exotiques, dans les croisements et dans les différents milieux. Il ne faut pas négliger la possibilité qu'avec l'évolution des conditions d'élevage et de production animale, nombre des variations génotypiques tout à fait particulières qu'offrent ces races retrouvent un jour un intérêt économique.

Le plaidoyer pour la préservation repose sur les arguments suivants : les impératifs économiques, qui veulent que l'on ménage pour l'avenir une certaine flexibilité en matière de production animale, dans la mesure où l'on ne saurait s'en remettre pour cela aux seules forces du marché et où il n'est pas possible de prédire les besoins futurs ; l'intérêt scientifique du matériel génétique ; la nécessité de protéger le patri-

Figure 1

Races animales dont la situation est incertaine et la survie peut-être menacée :

- (a) mouton tibétain ;
- (b) chameau bactrien ;
- (c) yak blanc (Chine) ;
- (d) mouton Han à grande queue (Chine).



(a)



(b)



(c)



(d)

moine de l'humanité. Autant de raisons valables pour mettre en place des programmes de sauvegarde. Du point de vue économique, cela revient au fond – et c'est là un des aspects du développement durable – à souscrire une assurance. Comme il n'est pas possible de calculer le rapport économique escompté, la question de savoir si la préservation est opportune dépend en grande partie des coûts d'établissement et de fonctionnement des programmes de sauvegarde. La cryo-conservation de sperme et d'embryons dans l'azote liquide est une méthode qui n'occasionne que très peu de frais d'entretien, une fois les échantillons recueillis. Il s'agit d'une forme peu coûteuse d'assurance *ex situ*, qui ne restreint qu'au minimum l'utilisation des biotypes auxquels vont les préférences du moment, et que l'on peut mettre en œuvre sans attendre que les races menacées aient fait l'objet d'une étude parfaitement documentée – ou soient éteintes.

### **Le développement durable des ressources zoogénétiques**

La notion de développement durable prend en compte l'idée qu'il n'est pas concevable de limiter les besoins et les aspirations de l'humanité sous prétexte de maintenir les ressources génétiques animales en l'état. Une telle approche ne se justifierait pas. La diversité biologique est un phénomène dynamique. Dans un écosystème laissé à lui-même, survie et disparition se produisent naturellement. D'autre part, l'augmentation de la production animale est indispensable au bien-être de l'humanité. Cependant, les modifications introduites aujourd'hui doivent l'être dans la perspective des autres changements qui pourraient s'avérer nécessaires demain : retour à des écosystèmes antérieurs, passage à des écosystèmes différents ou à des écosystèmes de type nouveau gérés par l'homme. Il ne faut pas se priver de ces possibilités futures en négligeant de préserver une diversité génétique dont le besoin ne se fait pas sentir pour le moment.

Un programme de développement durable des ressources zoogénétiques comprend plusieurs éléments : évaluation, documentation accessible, utilisation éclairée, conservation appropriée, *in situ* et/ou *ex situ*, liste de surveillance mondiale, système d'alerte rapide, étude des liens entre les animaux domestiques d'élevage et de basse-cour et les ancêtres sauvages, les populations marronnes et la faune sauvage, et évaluation des biotechnologies nouvelles.

Nous verrons ci-après lesquels de ces éléments sont déjà en place et ce qu'il reste encore à faire. Une fois établi à l'échelle mondiale, un tel programme assurera le développement durable des ressources zoogénétiques.

Étant donné la facilité avec laquelle on transporte à présent les animaux et le matériel génétique partout dans le monde, un programme efficace ne saurait être que mondial. Il doit en outre porter aussi bien sur l'amélioration de l'utilisation que sur la conservation. Dans l'idéal, il faudrait que les programmes nationaux s'inscrivent dans le cadre d'une stratégie régionale/mondiale tout en prenant en considération les problèmes locaux. Des infrastructures institutionnelles sont nécessaires pour servir d'assise aux plans nationaux et pour les orienter. D'autre part, les composantes nationales, régionales et mondiales d'un tel programme exigent un soutien financier et technique aux fins de la formation, des publications, des enquêtes, de l'évaluation, de la documentation et du stockage du matériel génétique.

## **Infrastructures mondiales**

### *Banque mondiale de données génétiques animales*

En 1988, la FAO et la Fédération européenne de zootechnie (FEZ) se sont alliées pour agrandir la banque de données de la FEZ. Créée à l'origine pour servir les pays d'Europe, celle-ci vient donc d'être étendue, avec le concours de la FAO, aux données du monde entier. Cette banque mondiale de données zoogénétiques, sise à l'Université de Hanovre (République fédérale d'Allemagne), recevra, par l'intermédiaire des banques régionales de gènes animaux d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine, des données de description génétique et de recensement de population provenant des pays en développement. On a commencé en outre, en 1989, à préparer la mise en place d'un système de transfert direct des données stockées dans les banques nationales de données zoogénétiques de Chine et d'Inde. La FAO et le PNUE ont mis au point, en 1986, pour l'entrée de ces données, des descripteurs d'espèces animales. Ces descripteurs sont suffisamment flexibles et ouverts pour permettre la mise à jour des données et l'enregistrement de nouveaux traits. On travaille actuellement à la conception de logiciels et de systèmes de formatage normalisés qui permettront à l'information de circuler régulièrement dans les deux sens. Il serait souhaitable à cet égard que les autres pays en développement qui possèdent leur propre banque nationale de données zoogénétiques utilisent les mêmes normes, facilitant ainsi l'instauration d'un système mondial uniforme.

Cette banque devrait non seulement servir les besoins de la préservation, mais se révéler utile aux planificateurs, concepteurs de projets, gouvernements, vulgarisateurs, institutions d'enseignement et entreprises commerciales qui s'emploient à améliorer l'utilisation des ressources zoogénétiques. On étudie actuellement la possibilité de fournir des données de sortie sur support papier avec impression dans différentes langues à partir d'un format numérique normalisé, de manière que la langue ne constitue un obstacle ni à la saisie, ni à l'accès aux données.

### *Banques régionales de gènes animaux*

A la suite d'essais et d'études poussées, la FAO est parvenue à la conclusion que le meilleur moyen de sauvegarder les races menacées consistait à créer des banques régionales de gènes animaux, assurant la cryo-conservation de sperme, d'embryons, d'ADN, et ultérieurement, si cette solution s'avère techniquement intéressante, d'oocytes. En 1988, des banques régionales ont donc été créées en Afrique (Éthiopie et Sénégal), en Asie (Chine et Inde) et en Amérique latine (Argentine, Brésil et Mexique). Ces centres sont intégrés à des installations nationales des différents pays où ils sont implantés, un complément d'équipement et de matériel étant fourni, si nécessaire, par la FAO. Chaque région possède plusieurs centres, ce qui permet de conserver dans chacun d'eux une fraction d'un même échantillon et de réduire ainsi les risques de perte. Le centre mexicain dessert la zone non contaminée d'Amérique centrale. On espère mettre en place prochainement une banque régionale analogue dans la région du Proche-Orient. Il appartient aux pays qui souhaitent conserver le matériel génétique de leurs races menacées de récolter les échantillons et de les faire parvenir au centre. Des échantillons sont en outre prélevés sur chaque animal donneur, pour détermination du groupe sanguin, extraction d'ADN et stockage permanent. Pour chacune des races introduites dans la banque régionale, il est établi des

descripteurs, qui sont également communiqués à la banque mondiale de données de Hanovre, où se constitue ainsi un fichier génétique pour l'avenir.

Les informations recueillies comprennent aussi les résultats des examens sanitaires obligatoires pratiqués sur les animaux donneurs. En effet, le matériel génétique conservé pourrait ultérieurement être utilisé dans un pays ayant une situation sanitaire différente de celle du pays d'origine. Il importe donc que des contrôles sanitaires soient effectués et que l'on dispose de renseignements complets sur les examens pratiqués et les maladies observées sur les animaux donneurs. Du point de vue juridique, le matériel génétique conservé dans les banques de gènes reste la propriété du pays d'origine, un droit d'accès étant prévu pour les parties intéressées qui peuvent valablement prétendre à son utilisation. Les demandes de matériel génétique seront en principe examinées par un comité de gestion scientifique mis en place dans chaque région. Les utilisateurs seront censés réalimenter la banque de gènes, dans la mesure de leurs possibilités, en fournissant du sperme et/ou des embryons d'animaux de la race régénérée.

Une nouvelle méthode de sauvegarde est en train de voir le jour, qui consiste à conserver à perpétuité des séquences d'ADN catalogué. La conservation d'ADN non catalogué est d'ores et déjà possible, mais deux problèmes au moins s'opposent actuellement à ce qu'elle devienne la méthode normale de préservation. D'une part, on ne dispose pas encore de cartes génétiques permettant d'identifier les séquences d'ADN qui sont responsables de tel ou tel trait particulier chez l'animal vivant. De l'autre, on ne sait pas encore utiliser l'ADN conservé pour recréer un animal possédant tels ou tels traits, les techniques de réinsertion d'ADN donnant encore, sur les cellules animales, des résultats aléatoires. Cela étant, il convient, dans la planification d'un projet à aussi long terme que celui de la sauvegarde des races en péril, de prendre au sérieux les perspectives qu'offre pour l'avenir la méthode du stockage d'ADN. L'ADN présente aussi cet avantage qu'étant une substance chimique, il n'est pas considéré comme du matériel biologique par les services sanitaires douaniers. Il peut donc circuler librement de par le monde, alors que les mouvements d'animaux et de semence sont assujettis à des restrictions en raison des risques de transmission de maladies.

La collecte de sperme et d'embryons pose des problèmes dans certains pays en développement. Le premier est souvent le plus facile à recueillir, encore que l'opération puisse se heurter à des difficultés dans les zones écartées où les mâles ne sont pas habitués à l'insémination artificielle : l'électroéjaculation est alors une solution possible. Le prélèvement d'embryons est plus coûteux ; qui plus est, on ne connaît pas encore les réactions hormonales auxquelles il peut donner lieu chez différentes races indigènes. Reste aussi le fait que, pour certaines espèces, il est encore difficile, voire impossible, de recueillir et congeler du sperme ou des embryons dans de bonnes conditions. Dans l'idéal, la cryo-conservation du matériel génétique devrait s'accompagner de la préservation d'animaux vivants, mais cela n'est pas toujours possible, vu les conditions qui existent dans de nombreux pays en développement. Si la dernière femelle vivante d'une race donnée meurt et que l'on possède du sperme et des embryons congelés de cette race, il est possible d'obtenir à nouveau des animaux vivants en recourant à des mères porteuses d'une autre race de la même espèce. Ce procédé exige manifestement la conservation d'échantillons représentatifs d'embryons. Or, comme nous l'avons dit plus haut, l'obtention de tels échantillons est difficile et coûte cher.

Aussi une autre méthode est-elle envisagée, à savoir la technique actuellement à

l'étude de clonage d'embryons au stade de 16 ou 32 cellules. Cette méthode, qui fait l'objet de recherches très actives, consiste à extraire le noyau d'une cellule embryonnaire (diploïde) et à l'injecter dans un oocyte énucléé prélevé sur l'ovaire d'une vache à l'abattoir. Chaque nouvelle cellule combinée donnant un individu distinct, un seul et unique embryon conservé permettrait d'obtenir 16 ou 32 clones. Il serait, semble-t-il, également possible de renouveler l'opération sur la génération d'ovules suivante, ce qui, si cette possibilité se confirme, ouvrirait la voie à un clonage à grande échelle.

Lorsqu'elle sera au point, cette technique permettra d'aborder différemment la préservation de la variation génotypique des races menacées dans les pays en développement. Étant donné que la variation génotypique d'une race est tout entière contenue dans la semence provenant d'un échantillon de mâles convenablement constitué, représentatif et aléatoire, il ne sera plus indispensable de stocker de grandes quantités ni d'embryons ni de sperme pour préserver tous les traits propres à une race. Le stockage d'embryons en même temps que de sperme était considéré jusqu'ici comme le moyen de surmonter le problème pratique que pose l'obtention d'animaux vivants de la race recherchée sous sa forme pure. Les techniques actuelles ne permettant d'obtenir à partir d'un embryon conservé qu'un seul animal vivant, on a songé à stocker de nombreux embryons en sus du sperme pour reconstituer une population de race pure. En effet, en l'absence d'embryons conservés, il faudrait, avec les techniques existantes, recourir à toute une succession de croisements sur plusieurs générations, en commençant par inséminer avec les échantillons de sperme des femelles d'autres races: c'est le seul moyen qui permette, avec du sperme seul, de retrouver en très grande partie la pureté de la race d'origine.

L'avantage de la nouvelle méthode actuellement à l'étude dont nous avons donné plus haut un bref aperçu est qu'elle permettrait de retrouver dans son intégralité la variation génotypique sous sa forme diploïde en ne conservant que quelques embryons ainsi que du sperme d'un échantillon représentatif de mâles. A la limite, la race pourrait même être reconstituée à partir d'embryons provenant d'une seule femelle, à ceci près que la population ainsi obtenue serait composée de familles de demi-frères et demi-sœurs, ce qui obligerait à établir un minutieux programme d'accouplements pour l'utilisation du sperme sur les générations suivantes d'animaux issus de ces familles de demi-frères et demi-sœurs.

En résumé, une fois totalement opérationnelle, la procédure envisagée dans le cadre de la nouvelle méthode serait la suivante: le moment venu de reproduire des animaux vivants, on prendrait les quelques embryons cryo-conservés que l'on multiplierait en utilisant les oocytes suivant le procédé décrit plus haut. On obtiendrait ainsi un grand nombre d'embryons à variation diploïde identique, qui pourraient ensuite être implantés sur des femelles porteuses d'une autre race. Les femelles adultes issues de ces embryons clonés seraient ensuite inséminées avec du sperme provenant de la banque de gènes, ce qui permettrait de reconstituer intégralement la variation génotypique sous sa forme diploïde.

Le fait de n'utiliser qu'un petit nombre d'embryons n'est peut-être pas idéal mais il convient de tenir compte de la difficulté pratique qu'il y a, dans beaucoup de pays en développement, à recueillir des embryons en grand nombre sur de nombreuses femelles pour avoir l'assurance que la population reconstituée offrira toute la variation génotypique diploïde de la race d'origine. Les problèmes pratiques auxquels se heurte le prélèvement d'embryons sur de multiples femelles d'une race menacée, ainsi que le coût d'une telle opération, sont en effet considérables. La nouvelle technique actuellement mise au point s'applique aux bovins, mais il est évident, vu ses nom-

breux avantages, qu'elle continuera de faire l'objet d'intenses recherches et il y a lieu de penser qu'elle sera un jour utilisable pour d'autres espèces. Une fois au point, elle contribuera sensiblement à faciliter le travail de collecte et de préservation des embryons dans les pays en développement et à en réduire les coûts.

### *Liste mondiale de surveillance*

L'afflux dans la banque mondiale de données zoogénétiques des informations que fourniront les pays participants par l'intermédiaire des banques régionales de gènes animaux permettra de se rendre compte régulièrement de la situation des races. Cela ne peut se faire de façon efficace qu'au niveau d'un centre mondial, car il est peu de races qui soient présentes dans un pays seulement. L'analyse sera centrée sur les données de recensement et de description génétique, et aboutira à l'établissement d'une liste mondiale de surveillance des races animales domestiques.

Périodiquement mise à jour au moyen des informations supplémentaires reçues par la banque mondiale de données zoogénétiques, cette liste représentera un net progrès par rapport aux moyens d'accès aux descriptions de caractères génétiques animaux qu'offrent actuellement les publications. De nombreuses publications, essentiellement consacrées aux ressources zoogénétiques des grands pays ou grandes régions ou à des espèces présentant des qualités ou un intérêt particuliers, ont été éditées au cours des vingt dernières années par la FAO. Mais ce type de publication est vite dépassé et sa mise à jour ainsi que sa réédition coûtent cher, si bien que souvent les informations récentes demeurent inaccessibles. Une enquête réalisée par la FAO et le PNUD dans douze pays en développement a révélé que les services de résumés internationaux – Animal Breeding Abstracts et AGRIS – ne rendaient compte que de 25 % des communications, articles, thèses et études disponibles localement ou publiés au niveau national au sujet des races indigènes. Une masse considérable d'informations précieuses est ainsi occultée, avec cette conséquence qu'un travail déjà effectué dans un pays risque d'être refait inutilement plus tard, y compris dans un pays voisin. La publication périodique de la Liste mondiale de surveillance, revue et mise à jour, se traduira par une meilleure utilisation des dernières données de description génétique et de recensement disponibles.

Avec le progrès des techniques d'insertion d'ADN recombiné, on aura de plus en plus besoin, à l'avenir, d'avoir des informations sur la constitution génétique (ou carte génétique) des animaux domestiques transgéniques. Les chercheurs qui travaillent sur la souris – les premiers sans doute parmi les spécialistes des mammifères à produire de nouveaux types d'animaux transgéniques – ont d'ores et déjà mis en place leur propre système commun d'identification de ces lignées. Ce genre d'information est extrêmement important pour les éleveurs comme pour les chercheurs, et prendra certainement plus d'importance encore. La banque mondiale de données zoogénétiques de Hanovre pourrait devenir le centre international d'information en la matière. Un tel centre rendrait de précieux services aux décideurs à tous les niveaux et pourrait faire beaucoup pour qu'à l'avenir l'exploitation des ressources zoogénétiques aille dans le sens de leur préservation et non de leur destruction.

### *Système d'alerte rapide*

Une méthode d'évaluation des risques d'extinction des races est en cours d'élaboration. Elle couvrira toute l'échelle des risques – de l'absence totale de menace à la menace d'extinction imminente.

Différentes estimations ont été effectuées concernant le nombre minimal d'animaux vivants nécessaire pour assurer la perpétuation d'une race dans les pays industrialisés. Voici les chiffres (voir le tableau) établis, pour cinq espèces animales différentes, respectivement par Alderson (1981) et par Maijala (1982).

Ces chiffres, qui vont de 150 à 1 500 animaux pour les races menacées des pays industrialisés, n'ont au mieux qu'une valeur indicative. Dans les pays en développement, et en particulier dans les milieux difficiles, certains facteurs supplémentaires doivent être pris en considération. La dispersion géographique d'une race peut conduire à une répartition en grappes des lignées de mâles reproducteurs. Ainsi la subdivision et l'isolement génétique des populations reproductrices nomades peuvent avoir pour effet de doubler ou de tripler le nombre d'animaux effectivement nécessaire pour maintenir l'effectif d'une race au-dessus du seuil critique. Il est clair, d'autre part, compte tenu des risques de perte de bétail liés aux maladies ou à des aléas climatiques comme la sécheresse, que la population nécessaire pour assurer la perpétuation d'une race est, dans la plupart des pays en développement, beaucoup plus important que ne le donnent à penser les chiffres fournis par Alderson et Maijala.

Une prudence beaucoup plus grande s'impose donc quand le problème de la «survie» d'une race se pose dans un pays en développement. La FAO s'est fixé pour règle pratique qu'il convient d'étudier le risque d'extinction d'une race et de prendre des mesures appropriées dès que le nombre de femelles reproductrices tombe à 5 000 (ce qui correspond à une population d'environ 10 000 têtes). Les mesures à prendre dépendront des conditions de vie locales de la race en question, du système de gestion, de l'importance des croisements, du rythme auquel les effectifs diminuent et de la certitude que la race considérée présente des qualités uniques. Des recommandations spécifiques sont alors formulées pour chaque cas, sur la base de principes déterminés.

Le système d'alerte rapide de la FAO a pour fonction d'avertir les gouvernements concernés qu'une race approche du seuil critique. Il détecte également, en évaluant, sur la base de différentes enquêtes, le taux de régression d'une population sur un certain nombre d'années, quelles races sont sur la pente dangereuse et indique les mesures à prendre pour écarter le danger. Actuellement, il arrive souvent, dans les pays en développement, que les modifications du cheptel ne soient pas enregistrées. Il s'ensuit que des races disparaissent sans que leurs caractères aient été adéquatement étudiés. Certaines races locales échappent, il est vrai, à ce destin ; c'est le cas des bœufs Kouri du Tchad et des pays voisins, dont l'aspect singulier a mobilisé l'attention de la communauté internationale et, par voie de conséquence, les fonds nécessaires à leur préservation. Malheureusement, de nombreuses races locales d'aspect moins remarquable disparaissent sans que l'on sache si elles possédaient des caractères génétiques adaptatifs particuliers.

Cette situation est comparable, quoique à moindre échelle, à celle des forêts tropicales, où beaucoup d'espèces disparaissent sans avoir été identifiées ni reçu de nom. Dans le cas du bétail domestique, la plupart des races ont un nom local, mais il n'existe souvent pas de documentation objective sur leurs performances et leurs aptitudes adaptatives. Si l'on attend que celles-ci soient pleinement documentées avant

d'entreprendre des activités de préservation, il risque d'être trop tard. C'est pour cette raison que le système d'alerte rapide revêt une telle importance comme infrastructure mondiale d'aide à une prise de décision rationnelle.

Tableau 1

*Population minimale  
nécessaire pour assurer  
la survie d'une race  
menacée*

Espèces	Nombre de femelles reproductrices	
	Alderson	Maijala
Bovins	750	1 000
Ovins	1 500	500
Porcs	150	200
Chevaux	1 000	—
Chèvres	500	200

### *Préservation des animaux vivants in situ*

Il y a encore quelques dizaines d'années, la préservation des races rares était essentiellement le fait d'amateurs qui entretenaient quelques animaux pour leur plaisir personnel. De leur côté, quelques jardins zoologiques conservaient un certain nombre de spécimens. Ces activités étaient pour l'essentiel limitées aux races d'aspect singulier. Ajoutons à cela les mesures de préservation par l'État dans certains pays d'Europe orientale, où des troupeaux de bovins et d'ovins de types primitifs de races locales ont été conservés dans certaines fermes d'État. Mais mis à part ces anciens pays socialistes, les gouvernements se sont peu intéressés à la conservation des races et n'y ont pratiquement pas consacré de fonds publics.

Plus récemment, les sociétés ont commencé à prendre davantage conscience du grave préjudice qu'elles risquent de subir si elles ne mettent pas en œuvre des programmes de préservation plus méthodiques, et les initiatives privées et semi-publiques se sont multipliées en Europe occidentale, au Canada, aux États-Unis d'Amérique et en Australie. Les groupes à l'origine de ces initiatives varient d'un pays à l'autre. Les parcs qui présentent au public des bêtes de races rares attirent de plus en plus de visiteurs. De temps à autre, des fonds publics sont offerts à telle ou telle organisation, ou des subventions versées aux propriétaires de bestiaux, proportionnellement au nombre d'animaux d'une race reconnue comme menacée qu'ils élèvent et dont ils assurent régulièrement la reproduction. Le cas des prolifiques moutons de race Taihu, en Chine, est un exemple de cette méthode. Ils ont échappé à l'extinction grâce aux subventions versées aux éleveurs en fonction du nombre de bêtes produites chaque année, dont les performances sont enregistrées. La préservation de bétail vivant offre cet avantage que la race considérée peut s'adapter progressivement aux modifications du milieu et que l'évaluation de ses performances est possible. Toutefois, comme cette méthode revient très cher, il n'est possible de conserver que de petits troupeaux, de sorte que, même avec les programmes de sélection les mieux conçus, la variabilité génétique tend à régresser. Le danger existe en outre de perdre un troupeau unique lors d'une épidémie. On trouvera chez Smith (1984) une estimation, pour les bovins, les ovins, les porcins et la volaille, de la taille minimale que doit présenter l'unité d'élevage ainsi que du nombre d'animaux reproducteurs qu'il faut remplacer chaque année pour maintenir un taux de reproduction consanguine d'envi-

ron 0,2% par an. Un taux de consanguinité de 1% par génération – ce qui est un niveau tolérable – exige un troupeau d'une centaine de têtes environ.

Dans les pays en développement, il est en général plus difficile de constituer des réserves de bétail vivant, car les ressources nationales sont limitées et de telles réserves attirent moins le grand public. Certains pays désireux de créer de telles réserves ont néanmoins demandé une assistance technique à la FAO, qui s'emploie actuellement à établir un manuel.

### **Organisations non gouvernementales**

En 1989 s'est tenue au Royaume-Uni, sous l'égide du Rare Breeds Survival Trust, la première Conférence internationale d'organisations non gouvernementales (ONG) sur les ressources génétiques animales, qui a suscité un intérêt considérable et rassemblé de nombreux participants. A la suite de cette conférence, une organisation internationale permanente est en voie de création. En tant qu'ONG à même de mobiliser les enthousiasmes individuels, cette organisation pourra jouer un rôle original et complémentaire de l'action des organisations gouvernementales dans la préservation des animaux domestiques.

### **Conclusion**

Les infrastructures techniques nécessaires au développement durable des ressources zoogénétiques sont d'ores et déjà en place à l'échelle mondiale et régionale, mais il reste encore beaucoup à faire pour rendre le programme opérationnel. Il faut notamment élaborer des programmes nationaux qui soient adaptés aussi bien aux espèces et aux races des pays considérés qu'aux besoins particuliers de ces pays et à leurs ressources humaines. Il conviendra d'établir une liaison entre ces programmes et les banques régionales et mondiales de gènes et de données. Il faudra que des liens soient également établis avec la faune sauvage et avec les espèces apparentées aux populations domestiques ou marronnes. La formation de personnel national est en outre indispensable.

Il est urgent de créer un fonds international pour le développement durable des ressources zoogénétiques ainsi qu'une commission intergouvernementale qui déciderait de la politique à suivre et aurait sous son autorité un secrétariat chargé de l'exécution du programme. Le besoin se fait sentir par ailleurs d'un instrument juridique international auquel les pays puissent adhérer, s'engageant ainsi à œuvrer en faveur du développement durable des ressources zoogénétiques, et qui établisse des règles communes d'accès aux ressources génétiques menacées, et d'utilisation, d'étude et de préservation de ces ressources.

En 1989, le Conseil de la FAO a proposé la mise en place d'infrastructures institutionnelles, à savoir une commission de la FAO sur les ressources génétiques animales, dotée d'un secrétariat, et d'un fonds international, ainsi que l'adoption d'un instrument juridique, qui prendrait sans doute la forme d'un protocole s'inscrivant dans le cadre des dispositions générales de la Convention internationale sur la diversité biologique actuellement élaborée par les Nations Unies.

Au cours des dix dernières années, les tâches de nature technique qui avaient été définies par la Consultation technique FAO/PNUE de 1980 en vue d'assurer le développement durable des ressources zoogénétiques ont été menées à bien. Les princi-

pales infrastructures techniques sont maintenant en place et fonctionnent à échelle réduite.

Le temps des discussions techniques est révolu. Les problèmes sont clairement identifiés. Ce qu'il faut à présent, c'est prendre une décision suivie d'effet, à l'échelon international, concernant le financement des actions mondiales, régionales et nationales que tous s'accordent désormais à juger indispensables. ■

### *Références*

- ALDERSON, L. 1981. *Production et santé animales*, p. 53-76. Rome, FAO. (Rapport, 24.)  
MAIJALA, J. 1982. Commission de génétique animale de la FEZ. Leningrad, GIZ.  
SMITH, C. 1984. *Production et santé animales*, p. 21-30. Rome, FAO. (Rapport, 44/1.)

---

# Les ressources en matériel génétique microbien

Edgar J. DaSilva, L. V. Kalakoutskii et Song Da-kang

*A la veille du  $xx^e$  siècle, nous sommes témoins en biologie d'une situation paradoxale. Alors que le génie génétique progresse et que des techniques de culture de plus en plus sophistiquées sont mises au point, les procédés modernes de sélection végétale et d'exploitation de l'environnement se traduisent par une réduction continuelle de la diversité biologique. A cet égard, il paraît urgent de préserver le patrimoine génétique microbien de la planète.*

Les publications contemporaines, qu'elles soient techniques ou destinées au grand public, témoignent de l'intérêt croissant porté au problème des ressources naturelles et de l'inquiétude qu'il suscite. A côté des ressources traditionnelles – en pétrole, en minéraux, en eau –, on se préoccupe de plus en plus des ressources génétiques. Les micro-organismes, qui constituent la partie invisible du monde vivant, représentent une des formes les plus diversifiées de la vie sur terre, et leur comportement ainsi que leur constitution génétique influent dans une grande mesure sur l'existence des formes de vie supérieures.

Plutôt que d'épiloguer sur la valeur comparée, effective ou potentielle, de différentes sortes de ressources, nous nous arrêterons sur les ressources microbiennes et sur certains aspects comme leur recensement, leur conservation et leur accessibilité, qui illustrent bien la spécificité des problèmes et des phénomènes, parfois surprenants, rencontrés dans ce domaine assez particulier.

---

Edgar DaSilva, microbiologiste, membre de la Division de la recherche et de l'enseignement supérieur scientifiques à l'Unesco, a joué un rôle de premier plan dans le développement du réseau MIRCEN de l'Unesco et de ses activités dans les domaines de la biotechnologie et des sciences biologiques.

L. V. Kalakoutskii, membre correspondant de l'Académie des sciences de l'URSS, est directeur et conservateur de la collection nationale de micro-organismes de l'Union soviétique. M. Kalakoutskii participe activement aux programmes internationaux de la World Federation for Culture Collections et de l'European Culture Collections' Organization, dont il est le président ; il est membre associé du Bergey's Manual Trust. Il collabore aux activités MIRCEN de l'Unesco comme analyste, enseignant et participant.

Song Da-kang est directeur de l'Institut de microbiologie et du centre MIRCEN de l'Académie des sciences de la Chine, membre du Conseil exécutif de la World Federation for Culture Collections et secrétaire général du Comité pour les collections de culture des micro-organismes, Chine.

On peut contacter les auteurs en écrivant à Edgar J. DaSilva, Division de la recherche et de l'enseignement supérieur scientifiques, Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris, France.

---

Notons d'abord que, contrairement à beaucoup d'autres ressources minérales ou biologiques (plantes ou animaux supérieurs), les microbes sont souvent considérés comme quantité négligeable. Ni la diversité réelle des formes de vie microbiennes qui peuplent la planète ni le fonds génique correspondant ne sont suffisamment connus de l'homme.

Les microbiologistes se distinguent des zoologues et des botanistes en ce qu'ils ont affaire aux représentants d'au moins quatre règnes du monde vivant (les procaryotes, les champignons, les protistes et les virus) – et aux codes de nomenclature internationaux correspondants (*International Codes of Nomenclature*) pour leur identification et leur nomenclature –, ces représentants étant, d'une manière générale, caractérisés par leur taille microscopique et leur aptitude à se développer dans des conditions de laboratoire qui imitent leurs niches naturelles ou leurs hôtes vivants.

La connaissance des micro-organismes et leur dénombrement sont en général associés à l'étude de cultures de laboratoire. Grâce à sa curiosité et à son ingéniosité, l'homme peut déceler la présence probable d'un micro-organisme dans un milieu donné, apporter au laboratoire un échantillon prélevé *in situ* et recréer expérimentalement les conditions « naturelles » dans lesquelles les micro-organismes se développeront et se multiplieront *in vitro*. En un sens, les toutes premières étapes par lesquelles l'homme se familiarise avec un nouveau microbe sont étroitement associées au transfert du microbe de son environnement naturel à un habitat artificiel, c'est-à-dire à sa domestication. Si nous avons une bonne connaissance générale des micro-organismes cultivés en laboratoire, nous connaissons assez mal les microbes qui prolifèrent dans la nature et qui n'ont jamais été cultivés *in vitro*. Les estimations des pourcentages de microbes considérés comme entrant dans la première ou la deuxième catégorie varient : les « comptages directs » de micro-organismes sur les échantillons naturels, moyennant diverses permutations et la mise en œuvre de différents procédés de microscopie et de coloration, donnent des chiffres souvent deux ou trois fois supérieurs aux dénombrements avec culture. Les progrès enregistrés dans la découverte et le recensement de nouveaux micro-organismes vont de pair avec ceux des techniques de culture depuis des années. Bien que le dépouillement des publications techniques montre que l'on décrit tous les ans jusqu'à plusieurs dizaines de nouveaux genres, espèces et variants de bactéries, le sentiment légitime demeure, parmi les microbiologistes, que de nombreux micro-organismes non cultivables, et par conséquent non inventoriés, coexistent avec nous dans la nature, en particulier parmi les symbiotes, les thermophiles, les cryophiles et autres catégories spécialisées analogues. Dans certains cas (*Mycobacterium leprae* en est un exemple classique), un processus induit par un microbe (en l'occurrence la lèpre) est bien connu depuis des décennies, mais l'agent causal lui-même a échappé à la culture en laboratoire. Les exemples du même ordre abondent en mycologie et en virologie.

Un récent rapport UISB/SCOPE sur le rôle des micro-organismes dans les écosystèmes terrestres a attiré l'attention sur la proportion très faible des micro-organismes de la planète (algues, bactéries, champignons, lichens, virus, protozoaires) ayant été répertoriés. Le taux d'espèces connues, comparé au nombre estimatif d'espèces existantes, est seulement de 13 %. Ce rapport souligne la nécessité de mettre en œuvre un projet qui aurait pour objet la découverte, la culture et la caractérisation d'espèces et de souches de micro-organismes douées de propriétés intéressantes pour la biotechnologie et le génie génétique. Ce rapport donne également les taux estimatifs d'espèces connues pour les différentes catégories de micro-organismes : 10 % pour

les bactéries (y compris les cyanobactéries et les algues bleu-vert), 8 % pour les champignons, 4 % pour les virus et 31 % pour les protistes.

On peut espérer que la mise en culture des micro-organismes s'accélénera à mesure qu'on en saura davantage sur la physiologie de transition de l'état cultivable à l'état non cultivable, et inversement. Malgré les divers perfectionnements – actuels ou projetés – de la culture des micro-organismes, la procédure normale d'identification consistait jusqu'à présent à passer du milieu naturel à la culture de laboratoire, et de la caractérisation du phénotype au séquençage et à la reconstruction du génome. Cette méthodologie classique est maintenant complétée par une approche radicalement nouvelle – l'écologie moléculaire microbienne – qui permet d'identifier des séquences de gènes microbiens spécifiques *in situ* dans des échantillons naturels sans que la mise en culture des micro-organismes eux-mêmes soit nécessaire. On peut espérer que cette approche rendra possible la caractérisation (et l'amplification, si nécessaire) de certains éléments du pool génique naturel de micro-organismes non encore reconnus sur le plan phénotypique. Une telle évolution permettra de réduire l'écart actuel entre ce que l'on sait des fonds géniques microbiens qui peuvent exister dans la nature, d'une part, et les connaissances effectives fournies par les cultures pures de laboratoire, d'autre part.

Toutefois, il est à noter qu'il existe une différence essentielle entre l'isolement d'un micro-organisme en culture pure et l'isolement d'un élément chimique à l'état pur. L'isolement d'une souche donnée a pour effet de la soustraire partiellement aux phénomènes constants de mutation ou de sélection et aux différentes interactions biologiques qui, dans la nature, produisent et maintiennent la diversité du vivant. Les méthodes de laboratoire actuelles, y compris celles du génie génétique, sont certainement très efficaces pour la production de variations génétiques. Et il n'y a pas de réelle difficulté à rapprocher ce type d'intervention humaine des processus qui, très probablement, sont à l'œuvre dans la nature elle-même. Mais en ce qui concerne les « tests de fonctionnalité » de nouvelles combinaisons géniques, il paraît beaucoup plus difficile de comparer les cultures pures de laboratoire avec les populations naturelles de micro-organismes. La question de savoir si les premières, en particulier après des périodes prolongées de repiquage, représentent vraiment des répliques exactes des secondes exigerait sans doute une étude plus systématique. Les discussions actuelles sur la domestication des micro-organismes portent en général sur l'aspect inverse du problème, à savoir le destin des micro-organismes (y compris ceux qui ont été génétiquement modifiés) lorsqu'ils sont transférés du laboratoire à l'environnement naturel.

Dans ce contexte, le concept de « classe » généralement applicable aux espèces biologiques se trouve remis en cause. La situation est plus difficile encore dans le cas des micro-organismes procaryotes qui ne possèdent pas la reproduction sexuée. Quoi qu'il en soit du cours général et du rythme de la macro et de la micro-évolution, le chercheur qui étudie les catalogues contemporains de collections de cultures et les manuels taxinomiques doit s'armer de patience et de persévérance pour découvrir des interrelations et discerner l'usage à faire du cadre conceptuel de la taxinomie dans le cas des bactéries. Ce problème concerne de toute évidence non seulement les outils dont on dispose actuellement pour déterminer la diversité phénotypique et/ou génotypique des micro-organismes, mais aussi le choix des clés appropriées pour les banques d'information destinées à rendre compte de cette diversité.

Vu la connaissance limitée de l'humanité sur les micro-organismes qui peuplent avec elle la planète, préserver la diversité de ces derniers n'est pas une tâche facile.

Quand il s'agit des micro-organismes, la notion de protection des écosystèmes reste encore assez abstraite. L'idée d'établir un « livre rouge » exhaustif des espèces de micro-organismes en danger d'extinction commence toutefois à retenir l'attention sur certaines espèces de champignons.

Les laboratoires abritant des collections de cultures de micro-organismes, outre leurs diverses tâches, fonctionnent en réalité comme des arches de Noé, grandes ou petites, qui tentent de préserver des fractions de la diversité microbienne auxquelles eux-mêmes ou leurs clients, actuels ou potentiels, attachent de la valeur. Le but est de stocker des souches microbiennes viables, et de préférence « intactes », qui conservent les caractères initialement observés lors de leur isolement à partir du milieu naturel et/ou ceux induits par des manipulations génétiques ou d'autres manipulations de laboratoire. Qu'il suffise de dire ici, sans s'étendre sur les détails des techniques de conservation couramment utilisées, que ces techniques, simples ou sophistiquées, sont le plus souvent mises au point empiriquement sur une longue période. Toutes les techniques de conservation actuellement en usage n'ont pas été conçues dans les laboratoires qui détiennent les collections de cultures, mais, dans la plupart des cas, ceux-ci ont eu l'occasion de les tester.

Le but est généralement de faire passer expérimentalement les cellules de la souche désirée de l'état végétatif à un état d'animation suspendue pour assurer leur longévité pendant le stockage et réduire au minimum le dommage causé par les contraintes liées à la conservation. On peut établir à cet égard un parallèle remarquable entre les méthodes mises en œuvre dans les collections de cultures à leurs débuts, il y a une centaine d'années, et les résultats des études physiologiques détaillées concernant la formation et les fonctions des cellules spécialisées au repos des micro-organismes (spores, cystes, cellules précurseurs de croissance, etc.), généralement considérées comme les mieux adaptées pour garantir la survie des micro-organismes dans l'environnement naturel (tableau 1).

Quelle que soit la fraction de la diversité microbienne actuellement représentée dans les collections de cultures existant dans le monde, cette bioressource est importante à maints égards, car elle offre une voie d'accès effectif aux micro-organismes et au fonds génique correspondant. C'est grâce à ces collections de souches de micro-organismes, reflétant différents niveaux de domestication, que l'humanité a accumulé le plus d'expérience.

Dans le passé, les collections de cultures étaient parfois comparées à des musées ou des bibliothèques. Cette comparaison est pertinente en un sens, mais incomplète. En effet, si l'usager d'une bibliothèque peut emprunter un livre (qu'il s'agisse d'une pièce de Shakespeare ou d'un roman de Dostoïevski) pour y lire l'histoire du héros qui l'intéresse, l'utilisateur d'une collection de cultures peut, quant à lui, non seulement lire cet intéressant roman, mais aussi approcher directement son héros et l'« interroger » scientifiquement. Il est évident qu'avec le temps les questions changent radicalement, et l'on ne peut que regretter que certains des héros d'Antony van Leeuwenhoek ne soient plus là aujourd'hui pour être interrogés, parce qu'à l'époque de leur découverte les techniques de conservation n'étaient pas suffisamment perfectionnées.

Une souche présente dans une collection n'est pas seulement un spécimen intéressant et précieux qui illustre une fraction du fonds génétique microbien naturel. La valeur d'une souche peut en fait s'accroître avec le temps, à mesure qu'augmente l'information accumulée à son sujet, même si certains caractères qui étaient présents lors de l'opération initiale d'isolement se sont perdus sous l'effet de repiquages inten-

Tableau 1

Conservation des micro-organismes : processus naturels et artificiels de suspension du développement<sup>a</sup>

Processus ou agent	Observations faites pendant la phase de transition entre cellules végétatives et cellules dormantes spécialisées	Utilisation courante en laboratoire dans le cadre des protocoles de conservation
Déshydratation	Protoplastes d'endospores bactériennes. Les conidies de certains champignons contiennent deux à trois fois moins d'eau que les cellules végétatives correspondantes	Largement utilisée dans les processus de dessiccation, lyophilisation, congélation
Protection chimique	Les spores des champignons et des actinomycètes contiennent souvent un niveau élevé de polyols et de polysaccharides. Des sels complexes de l'acide dipicolinique et certaines protéines des endospores bactériennes jouent probablement un rôle dans la protection des protoplastes. Le tréhalose endocellulaire protégerait les cellules de certains micro-organismes au cours du dessèchement	Des substances protectrices sélectionnées empiriquement (polyols, saccharides, amino-acides, protéines, etc.) sont largement utilisées pour minimiser la détérioration des cellules pendant la déshydratation et la congélation. Les effets diffèrent selon qu'il s'agit de substances pénétrables ou non pénétrables. Nécessité de tenir compte de la compatibilité des solvants
Immobilisation	Caractéristique de constituants et de substances intracellulaires. L'ADN, les ions et (peut-être) certaines protéines sont immobilisés dans le « ciment » des endospores bactériennes. Les spores et les cellules hautement résistantes de certains champignons et bactéries comportent souvent des granules, matériellement distincts, de substances de réserve et de lipides. Immobilisation des cellules observée dans le sclerotium et dans quelques agglomérats de cellules hautement résistantes	Les protocoles de protection établis empiriquement recommandent souvent l'usage de sorbants (verre, gels de silice, sol, etc.) avant la dessiccation des suspensions microbiennes
Modification de la perméabilité cellulaire	Il est possible que la membrane des spores et des cystes diffère par sa composition et, éventuellement, sa structure de celle des cellules végétatives correspondantes. Certaines cellules dormantes spécialisées comportent une structure d'enveloppe supplémentaire	On tente d'obtenir une modification de la composition de la membrane et un accroissement de la résistance de la cellule en modifiant expérimentalement les conditions de croissance avant la conservation
Abaissement équilibré du métabolisme cellulaire	Réactions métaboliques à peine détectables dans les spores dormantes (ou superdormantes). Auto-inhibiteurs de germination observés dans plusieurs cas. Ralentissement du métabolisme dans les cellules précurseurs de croissance. « Microbiostase » dans l'environnement naturel accomplie par l'épuisement des nutriments essentiels, avec une participation possible de substances retardatrices de croissance	Les cellules végétatives en phase stationnaire (souvent en présence d'un milieu épuisé) résistent mieux aux contraintes associées à la conservation. La préadaptation expérimentale à ces contraintes inclut parfois l'abaissement de la température d'incubation, ainsi que d'autres manipulations influant sur le niveau métabolique

a. Pour plus d'informations sur ce tableau, voir Dawes, 1989 ; Kalakoutskii *et al.*, 1987 ; Malik et Claus, 1987.

sifs en laboratoire. Les souches d'*Escherichia coli* cultivées en laboratoire sont souvent évoquées à ce propos.

La perte ou la non-disponibilité d'une souche particulière peut freiner le progrès des biotechnologies. Elle peut aussi retarder l'identification de ceux des éléments des ressources naturelles microbiennes qui ont jusqu'ici échappé au pouvoir de résolution des techniques de laboratoire. La valeur d'information s'accroît très fortement dans le cas de certaines souches qui sont l'illustration d'une sélection ou de la construction en laboratoire d'un phénotype et/ou d'un génotype désiré.

Le livre de Bernard Dixon, *Invisible allies* [Les alliés invisibles], qui date d'une dizaine d'années, contenait déjà un plaidoyer éloquent et convaincant en faveur de la conservation des ressources génétiques microbiennes. Depuis, le temps n'a fait que confirmer ses propos : « La conservation du potentiel génétique des micro-organismes est indispensable pour le progrès [présent], ainsi que pour d'autres tâches, imprévisibles, que les microbes auront peut-être à accomplir dans le futur. Il suffit, pour imaginer leurs capacités latentes, de voir tout ce à quoi ils servent déjà : extraire les métaux, dégazer les mines de charbon grisouteuses, effectuer la synthèse de la vitamine B12, nettoyer les "marées noires", révéler les secrets de la vie et servir d'auxiliaires à la recherche médicale, créer des parfums, faire lever le pain, tester la pureté des produits chimiques, fabriquer des contraceptifs oraux, surveiller la pollution atmosphérique, lutter contre les insectes nuisibles, dater les mégalithes de l'île de Pâques, détruire les insecticides dans un sol, produire du méthane pour le chauffage, aider à la confection des chocolats fourrés, rouir le lin, assurer le bon fonctionnement du cœur et des intestins, et mille autres choses. »

Le stockage et la conservation des ressources génétiques microbiennes sont avant tout une question de bon sens, puisqu'ils ressortissent aux pratiques naturelles de l'assurance et de l'investissement. Prendre une assurance, c'est en l'occurrence organiser une protection, accessible aux pauvres comme aux riches, contre la perte de savoir et de technologie acquis au fil des décennies et des siècles par des moyens simples ou perfectionnés – depuis le miroir et le microscope artisanal de van Leeuwenhoek jusqu'aux dispositifs modernes automatisés qui permettent d'aller « cueillir » l'espèce monocellulaire désirée dans un des « nids à microbes » de la nature que sont les mares d'eau stagnante ou les sols pollués par des écoulements d'hydrocarbures ou les effluents d'industries métallurgiques. Investir, c'est utiliser rationnellement le matériel génétique microbien comme matière première et comme moteur du progrès et de l'innovation bio-industriels.

Mais le stockage et la conservation des ressources génétiques microbiennes sont aussi de véritables arts, aussi raffinés que la fabrication de montres ou de bijoux de filigrane : leur intérêt réside dans l'utilité et la valeur monétaire de réserves de souches microbiennes qui, autrement, pourraient être difficiles à retrouver. La perte d'une espèce est bien plus grave que celle d'un individu, si triste que soit cette dernière, car l'extinction d'une espèce est définitive et en interdit à jamais l'accès. Certaines espèces, qui ont été isolées des mystérieuses niches de la nature et perdues, ont cependant pu contribuer à la compréhension des bactéries photosynthétiques et de l'écologie microbienne, car elles ont été répertoriées dans les éditions successives de cette bible des collections de cultures qu'est le *Bergey's manual of determinative bacteriology*.

La raison d'être des collections de cultures est d'assurer la continuité génétique des diverses ressources génétiques microbiennes. Les collections de cultures répondent à une nécessité ; ce sont des bibliothèques vivantes, dont les tubes de verre,

les flacons, les disques de papier-filtre, les échantillons de sol et les cultures de lignées cellulaires témoignent des hauts faits et transmettent la mémoire de l'effort scientifique consacré, ces derniers siècles, à l'étude du microbe invisible et de son extraordinaire machine enzymatique. Les laboratoires qui les abritent sont des institutions dynamiques d'étude, de recherche, de culture et d'information scientifiques.

Grâce à leurs cultures classées et à un effort méthodique pour élucider et mettre en évidence les propriétés des microbes – véritables presdigitateurs en puissance –, ces laboratoires, dotés de plus en plus souvent de moyens électroniques, peuvent aujourd'hui être considérés comme de vivantes « silicon valleys » de la diversité et du matériel génétiques microbiens. La précision rigoureuse des inventaires qu'ils dressent de la richesse microbienne mondiale dont ils sont dépositaires les rend à même de proposer des réponses à des besoins présents ou futurs. Ils offrent des outils efficaces pour l'éducation, l'industrie, la médecine et même les arts.

Si les collections de cultures bénéficient d'un appui général, c'est grâce au soutien que l'Unesco leur a apporté dès 1946 et qui a joué un rôle de catalyseur. Un grand nombre des collections de cultures célèbres aujourd'hui (tableau 2) ont bénéficié à l'époque de ce soutien. De plus, au lendemain de la seconde guerre mondiale, l'Unesco a donné l'élan initial aux échanges de collections et d'information concernant l'existence et l'utilité d'une recherche mondiale sur les collections de cultures, en soutenant l'*International Bulletin of Bacteriological Nomenclature and Taxonomy*, revue qui a joué un rôle précurseur dans ce domaine. L'Organisation poursuit aujourd'hui cette activité à l'aide de moyens électroniques.

Les collections de cultures ont pour rôle de recueillir, entretenir, préserver, gérer, exploiter et distribuer des ressources génétiques microbiennes. Ces différentes tâches ont été recensées dans des comptes rendus récemment parus dans le *Guide to world data centers on microorganisms* (voir la bibliographie), ouvrage collectif d'une série sur les ressources microbiennes, élaboré sous les auspices de la World Federation for Culture collections (WFCC), et dans des catalogues dressés par différentes institutions abritant des collections de cultures et des associations ou fédérations nationales ou régionales regroupant de telles institutions. Ces informations font l'objet de mises à jour permanentes dans des périodiques ou des bulletins d'information publiés par la WFCC, par le réseau mondial de vingt-trois centres de ressources microbiennes (MIRCEN) constitué sous l'égide de l'Unesco (tableau 3), par l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI), par l'Information Centre of European Culture Collections, par le Microbial Strain Data Network, par le Microbial Information Network Europe et par l'European Laboratory Without Walls Programme on Phages and Plasmids.

L'un des événements marquants de la seizième session de la Conférence générale de l'Unesco, en 1970, fut une résolution proposée par les gouvernements du Danemark, de la Finlande, de la Norvège et de l'Islande. Elle tendait à la création de centres de recherches microbiennes spécialisés dans les pays en développement. Quatre ans plus tard, à la suite de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement tenue à Stockholm en 1972, des experts du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), de l'Unesco et de la communauté scientifique internationale des microbiologistes, représentée par l'ICRO, se réunirent au siège du PNUE, à Nairobi, pour élaborer conjointement un programme mondial visant à préserver les ressources génétiques microbiennes et à les rendre accessibles aux pays en développement. Par la suite, un projet PNUE/Unesco/ICRO relatif à la mise au point d'un programme intégré d'utilisation et de conservation des souches microbiennes, aux fins d'application

Tableau 2

*Collections de cultures ayant bénéficié d'un soutien de l'Unesco au départ (1946-1955)*

---

Centralbureau voor Schimmelcultures, Baarn (Pays-Bas)
Laboratorium voor Microbiologie, Delft (Pays-Bas)
Culture Collection of Algae and Protozoa, Cambridge (Royaume-Uni)
American Type Culture Collection, Maryland (États-Unis d'Amérique)
Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro (Brésil)
International Federation for Culture Collections, Lausanne (Suisse)
Laboratoire de cryptogamie, Muséum national d'histoire naturelle, Paris (France)
Walter and Eliza Hall Research Institute, Melbourne (Australie)
Type Culture Collection, Bangalore (Inde)
Culture Collection of the Hopkins Marine Research Station, Californie (États-Unis d'Amérique)
Bacteriological Department, University of Otago (Nouvelle-Zélande)
Salmonella Centre, State Serum Institute, Copenhagen (Danemark)
London School of Hygiene and Tropical Medicine (Royaume-Uni)
Commonwealth Mycological Institute, Kew Gardens (Royaume-Uni)
Institut Pasteur, Paris (France)
Institut de parasitologie, Section mycologie médicale, Paris (France)

---

dans la gestion de l'environnement (juillet 1975-octobre 1984), élaboré et présenté par l'Unesco/ICRO, fut approuvé par le PNUE pour exécution. Après évaluation par les professeurs J. R. Miles (Nouvelle-Zélande), A. T. Bull (Royaume-Uni) et J. Halliday (Irlande), le réseau MIRCEN a pris une extension notable : lors de la phase pilote initiale dans le cadre du projet PNUE/Unesco/ICRO, il comptait six centres (au Brésil, en Égypte, au Guatemala, au Kenya, au Sénégal et en Thaïlande) ; il en compte actuellement vingt-trois, répartis dans dix-neuf pays.

Plus récemment, dans le cadre de la collaboration Unesco/PNUE, le concept d'un système d'échange d'information biotechnologique (Biotechnological Information Exchange System [BITES]) a été examiné et approuvé en 1988, à l'occasion d'un colloque européen sur les biotechnologies MIRCEN qui s'est tenu à Ljubljana (Yougoslavie). Ce colloque a présenté les deux volets de la stratégie mise en place : premièrement, la constitution d'un réseau européen de centres de ressources microbiennes constitué autour des collections de cultures microbiennes existantes, dans le but principal d'attirer et de consolider la coopération régionale et internationale pour le développement et l'expansion de la recherche en ce domaine et pour l'entretien et l'utilisation des collections de cultures et leur éventuelle application aux bio-industries. Le point focal de ce réseau est la Collection nationale de micro-organismes industriels et agricoles de Budapest (Hongrie), qui est aussi reconnue par le traité de Budapest comme autorité internationale pour le dépôt des brevets ; deuxièmement, la création d'un système d'échange d'information biotechnologique (BITES) complémentaire de l'activité des MIRCEN européens, qui sera constitué d'un réseau de partenaires reliés aux systèmes d'information pertinents existants et qui permettra ainsi de combler les lacunes de l'information et d'instituer des services d'échange d'information biotechnologiques à un niveau plus élevé, en particulier dans des domaines

Tableau 3 *Le réseau mondial des centres de ressources microbiennes (MIRCEN)<sup>1</sup>*

Spécialité	Institution	Ville et pays
Rhizobium	Department of Soil Science and Botany, University of Nairobi	Nairobi (Kenya)
Rhizobium	Instituto de Pesquisas Agronomicas	Porto Alegre (Brésil)
Fermentations, recyclage des aliments et des déchets	Thailand Institute of Scientific and Technological Research	Bangkok (Thaïlande)
Biotechnologie	Université Ain Shams	Le Caire (Égypte)
Biotechnologie	Central American Research Institute for Industry	Guatemala City (Guatemala)
Rhizobium	NiTAL Project, College of Tropical Agriculture, University of Hawaii	Hawaii (États-Unis d'Amérique)
Biotechnologie	Institut Karolinska	Stockholm (Suède)
Centre mondial de données	Life Science Research Information Section, RIKEN	Saitama (Japon)
Rhizobium	Centre national de recherches agronomiques	Bambey (Sénégal)
Biotechnologie	Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiologicos (PROIMI)	Tucuman (Argentine)
Rhizobium	Cell Culture and Nitrogen-Fixation Laboratory	Maryland (États-Unis d'Amérique)
Technologie des fermentations	Institute of Biotechnology, University of Osaka	Osaka (Japon)
Biotechnologie	International Institute of Biotechnology, Canterbury	Kent (Royaume-Uni)
Mycologie	CAB International, International Mycological Institute	Surrey (Royaume-Uni)
Biotechnologie et agriculture	Université de Waterloo et Université de Guelph	Waterloo/Guelph, Ontario (Canada)
Biotechnologie marine	Department of Microbiology, University of Maryland	Maryland (États-Unis d'Amérique)
Biotechnologie	Centre de transfert <sup>2</sup>	Toulouse (France)
Biotechnologie	University of Queensland	Brisbane (Australie)
Technologie microbienne	Institut de microbiologie, Academia Sinica <sup>3</sup>	Beijing (Chine)
Technologie microbienne	Caribbean Industrial Research Institute	Tunapuna (Trinité-et-Tobago)
Collections de cultures et brevets	Collection allemande de micro-organismes et de cultures cellulaires	Braunschweig (Allemagne)
Collections de cultures	Département de microbiologie, Université d'horticulture et d'industrie alimentaire	Budapest (Hongrie)
Système d'échange d'information biotechnologique (BITES) <sup>4</sup>	Centre international Unesco pour les études chimiques	Ljubljana (Yougoslavie)

1. La création de MIRCEN est également projetée, si les ressources budgétaires le permettent, à Minsk (RSS de Biélorussie) (microbiologie fondamentale) et à Bhubaneswar (Inde).
2. Participants : Université de technologie (Compiègne), INSBANA (Dijon), Centre d'immunologie INSERM-CNRS (Marseille), Laboratoire de chimie bactérienne CNRS (Marseille), INRA (Montpellier), Institut Pasteur (Paris), INSA (Toulouse).
3. Co-MIRCEN : Département de biologie, Université chinoise de Hong Kong, Shatin, NT, Hong Kong.
4. Plus particulièrement axé sur l'aspect biochimique des biotechnologies.

d'application de la recherche prioritaires comme l'agro-industrie, la production de produits chimiques spécialisés, l'aquaculture, la gestion des déchets et des eaux usées et les nouvelles technologies bio-industrielles. Le point focal du BITES est le Centre international de l'Unesco pour les études chimiques de Ljubljana, en Yougoslavie.

Un coup d'œil, même rapide, sur la liste des organismes cités ci-dessus révèle que des efforts considérables sont faits aux niveaux national, régional et international pour instaurer une coopération en vue de l'acquisition, de l'étude, de la distribution et de l'utilisation appropriée des ressources microbiennes accessibles grâce aux collections de cultures et aux institutions qui leur sont liées.

Il ressort peut-être aussi de ce qui précède que la carte géographique des microbes reste encore à dresser, s'agissant de leur localisation naturelle et de leurs migrations par rapport à leurs habitats naturels ou artificiels. Depuis les premiers temps de la microbiologie, et malgré les diverses limitations politiques, économiques et géographiques, le fonds considérable de matériel génétique microbien et de diversité microbienne représenté par les collections de cultures du monde entier a bénéficié, à des degrés divers, de l'esprit de coopération internationale et de bonne volonté scientifique. Grâce aux efforts herculéens des premiers conservateurs et aux contributions de générations de microbiologistes du monde entier, les collections de cultures peuvent s'engager aujourd'hui dans les voies nouvelles de la bio-informatique, où les informations biologiques sont saisies sur ordinateur et conservées dans des bases de données.

Les progrès de la technologie des ordinateurs et des communications, la contribution d'organisations internationales et régionales et la diminution des tensions dans plusieurs régions du monde ont favorisé la rupture de l'« isolement des savants » et permis le développement d'un réseau étendu de messagerie électronique reliant entre elles les banques d'information microbiologique. Les collections de cultures sont appelées à jouer un rôle d'avant-garde dans la conservation de la richesse et de la diversité génétiques microbiennes, qui permettra de soustraire à l'extinction d'innombrables espèces. Beaucoup a déjà été fait, mais beaucoup reste à faire, quels que soient les problèmes rencontrés au niveau de l'organisation, de l'éducation et du financement.

Revenons, pour conclure, au problème fondamental. En un sens, la diversité – connue de l'homme ou encore inconnue – du matériel génétique microbien et de la vie sur terre fait partie du patrimoine commun de l'humanité, comme la planète elle-même. L'intérêt toujours plus vif qui se manifeste pour l'appropriation et l'exploitation des ressources microbiennes ne doit pas détourner notre attention de ce fait simple, mais souvent oublié, que la gestion d'un patrimoine commun engage la responsabilité de chacun – qu'il soit microbiologiste ou ministre, savant ou roi... Les microbes, occupés qu'ils sont à servir l'humanité, ne plaideront pas leur propre cause. Mais la société humaine ne devrait-elle pas prendre le temps de réfléchir à ce qu'elle deviendrait sans cette diversité microbienne et ces ressources qui la servent dans l'ombre avec tant de zèle? ■

### *Bibliographie*

- BROCK, T. D. 1987. The study of microorganisms *in situ*: progress and problems. *Symp. Soc. Gen. Microbiol.*, 41, p. 1-17.

- BOWER, D. J. 1989. Genetic resources worldwide. *Trends Biotechnol.* 7, p. 111-117.
- DAWES, E. A. 1989. Growth and survival of bacteria. Dans : J. S. Poindexter et E. R. Leadbetter (dir. publ.), *Bacteria in nature*, 3, New York, Plenum Press.
- DE LOND, E. F. ; WICKERHAM, G. S. ; PACE, N. R. 1989. Phylogenetic stains : ribosomal RNA-based probes for identification of single cells. *Science*, 243, p. 1360-1363.
- DI CASTRI, F. ; YOUNES, T. (dir. publ.). 1990. Summary Report IUBS/SCOPE Workshop « Ecosystem Function and Biological Diversity ». *Biology International*, numéro spécial 22, IUBS News Magazine.
- DIXON, B. 1977. *Invisible allies : microbes and man's future*, p. 123-145, 218-236. Londres, Maurice Temple Smith.
- KALAKOUTSKII, L. V. ; SIDJAKINA, T. M. 1987. Survival of microorganisms in nature and main approaches to conservation of laboratory cultures, p. 19-31. Dans : M. E. Becher (dir. publ.), *Suspended cell animation*, Riga, Zinatne Publ. House.
- KEELER, K. H. 1988. Can we guarantee the safety of genetically engineered organisms in the environment? *CRC Crit. Rev. Biotechnol.*, 8, p. 85-97.
- KIRSOP, B. E. 1987. Les collections de cultures et leur fonction de conservation du matériel génétique microbien. *Nature & ressources*, vol. 23, n° 2, 2-9. Paris, Unesco.
- MALIK, K. A. ; CLAUS, D. 1987. Bacterial culture collections : their importance to biotechnology and microbiology. *Biotechnol. Genet. Engineering Revs.*, 5, p. 137-197.
- RILEY, M. 1989. Constancy and change in bacterial genomes, p. 359-388. Dans : J. S. Poindexter et E. R. Leadbetter (dir. publ.), *Bacteria in nature*, 3, New York, Plenum Press.
- ROSZAK, D. B. ; COLWELL, R. R. 1987. Survival strategies of bacteria in the natural environment. *Microbiol. Revs.*, 51, p. 365-379.
- SIMBERLOFF, D. 1985. Predicting ecological effects of novel organisms : evidence from higher organisms, p. 152-161. Dans : H. O. Halvorson, D. Pramer et M. Rogul (dir. publ.), *Engineered organisms in the environment : scientific issues*, Washington D.C., Amer. Soc. Microbiol.
- TAKISHIMA, Y. *et al.* (dir. publ.). 1989. *Guide to world data centers on microorganisms*. Comporte une liste des collections de cultures dans le monde. Tokyo, Préfecture de Saitama, RIKEN.

---

# Les collections de cultures médicales

Heinz P. R. Seeliger

*Dès les débuts de la microbiologie médicale, des collections de cultures médicales ont été constituées un peu partout dans le monde. Ces collections sont devenues un élément essentiel de la recherche fondamentale et de la recherche taxonomique en bactériologie, mycologie et virologie appliquées et plus récemment dans le domaine de l'analyse génétique.*

Des collections de matériaux essentiellement inorganiques, tels que des minéraux et des roches, des échantillons fossiles animaux ou végétaux, ou du bois pétrifié ont été constituées au cours des siècles dans diverses parties du monde. Mais c'est seulement quand le Suédois Linné eut jeté les bases d'une systématique en botanique que l'on put établir, aux fins d'études comparées, des critères et des méthodes applicables au rassemblement de matériaux vivants, ainsi qu'à leur classement, leur taxonomie et leur nomenclature. Des jardins botaniques de divers types furent créés, et des échantillons végétaux séchés, organisés en herbiers, formant la base de la classification botanique encore en vigueur aujourd'hui.

S'il n'est pas possible de constituer des collections durables et permanentes du même genre dans le cas de matériels aussi éminemment périssables que des micro-organismes, on peut bien entendu conserver aisément sur des lames de verre, avec ou sans coloration appropriée, des préparations pures ou mixtes de micro-organismes qui ont été cultivés sur des milieux artificiels ou des préparations tissulaires et les rassembler en vue d'objectifs scientifiques. Cela se fait d'ailleurs aussi pour certaines

---

Depuis 1965, le professeur Heinz Seeliger, docteur en médecine, travaille à l'Université Julius Maximilians de Würzburg (République fédérale d'Allemagne), où il a dirigé pendant vingt-quatre ans l'Institut d'hygiène et de microbiologie. Professeur émérite de cette Université, il participe actuellement à la création d'un musée allemand de l'hygiène.

Attaché à l'Institut d'hygiène de l'Université de Bonn de 1950 à 1965, le professeur Seeliger a dirigé le Laboratoire national de référence des salmonelles de 1953 à 1964 ; en qualité de consultant médical auprès du gouvernement fédéral allemand, il a pris part à la création de l'Institut national d'hygiène Ernst Rodenwaldt à Lomé (Togo) (1961-1984). De 1962 à 1977, il a exercé les fonctions de Secrétaire permanent du Comité international de bactériologie systématique et, de 1978 à 1982, celles de Président de l'Union internationale des sociétés de microbiologie. Sa bibliographie compte plus de 500 titres d'ouvrages ou d'articles scientifiques touchant à divers sujets de bactériologie médicale et de mycologie. On peut le joindre à l'adresse suivante : Institut d'hygiène et de microbiologie, Josef-Schneider-Str. 2, Bau 17, D-8700 Würzburg (République fédérale d'Allemagne).

---

bactéries pathogènes qui ne sont pas cultivées sur des milieux artificiels, par exemple *Mycobacterium leprae*, dont le seul milieu de culture est jusqu'ici l'infortuné tatou.

### Le début des collections bactériennes

Ayant découvert les bactéries et d'autres micro-organismes, et constaté que de très nombreuses propriétés physiologiques s'exprimaient par des réactions biochimiques, cytotoxiques et métaboliques, les spécialistes ressentirent bientôt la nécessité de conserver ces structures extrêmement fragiles sous forme de cultures permanentes qui puissent être repiquées à tout moment selon les besoins.

D'après J. R. Porter (1976), cela fut réalisé pour la première fois à Prague par Franz Král, microbiologiste autodidacte travaillant sous la direction du professeur Soyka à l'Institut d'hygiène de la Faculté de médecine, où il donnait des cours.

Sa collection, de caractère privé, riche de plusieurs centaines de cultures, de lames traitées et de montages, fut acquise par Ernst Pribam à Vienne en 1914-1915, trois ans après la mort de Král, et mise à jour au moyen du système binomial de classification introduit par Lehmann et Neumann, de Würzburg. Un catalogue fut même publié par Pribam en 1919 et révisé en 1933.

Lorsqu'il partit aux États-Unis d'Amérique pour aller travailler à la Faculté de médecine de Loyola University à Chicago, Pribam emporta avec lui une grande partie de la collection Král. Après son propre décès, certaines souches furent remises à l'American Type Culture Collection.

D'autres collections constituées dans divers pays d'Europe à titre privé ou par des instituts scientifiques (y compris – d'après Tsumenatsu, 1970 – une collection japonaise très ancienne qui datait de 1884) furent détruites ou abandonnées, faute de bénéficier d'un soutien des pouvoirs publics ou pour d'autres raisons.

Cependant, quelques-unes de ces collections existent toujours, par exemple celle du Centraalbureau voor Schimmelcultures à Baarn, Pays-Bas, fondée par l'Association internationale des botanistes (von Arx, 1970). Une collection fongique analogue a été constituée à Kew Gardens en Angleterre. La National Collection of Type Cultures, créée en 1920 au Lister Institute de Londres a, par la suite, été incorporée au Service de santé publique britannique (Public Health Laboratory Service, 1971). La célèbre collection de l'Institut Pasteur de Paris a survécu à deux guerres mondiales, tandis qu'une collection similaire réunie à l'Institut Robert Koch à Berlin a disparu. L'American Type Culture Collection a été constituée en 1925 ; c'est devenu l'une des plus célèbres institutions de ce type.

Le Dr Hauduroy, à Lausanne, ainsi que le Dr Jirovec et le groupe des Dr Martinec et Kocur, à Prague, ont reconstitué des collections de microbes présentant un intérêt médical.

A Göttingen, en République fédérale d'Allemagne, le Deutsche Sammlung für Mikroorganismen, avec ses diverses succursales, fait partie, comme les collections qui viennent d'être citées, de la World Federation for Culture Collections (WFCC).

Dans le cadre de ce bref aperçu, nous ne pouvons évidemment citer toutes les collections spécialisées, très complètes, qui couvrent des genres bactériens aussi importants que *Salmonella*, *Escherichia*, *Listeria*, etc.

## Objectifs des collections de cultures médicales

Comme les collections de cultures qui ont été créées dans d'autres grands domaines tels que l'agriculture ou la sylviculture, les collections médicales (et vétérinaires) de micro-organismes ont de nombreuses utilisations que nous allons examiner ci-après.

Le principal objectif d'une collection est le maintien en dépôt de matériels comparatifs dans des conditions appropriées pour éviter qu'ils ne subissent certains changements: destruction, détérioration, décomposition, changement morphologique, altération ou perte de propriétés biochimiques, sérologiques ou toxiques, modification de la sensibilité aux agents biostatiques et aux biocides. Toutes les souches recueillies doivent donc être conservées dans les conditions précises du premier isolement en culture pure.

Un autre objectif important de ces collections est de mettre à la disposition des chercheurs, aux fins d'étude et de comparaison, des micro-organismes vivants dotés de certaines caractéristiques morphologiques, physiologiques et génétiques, ou d'autres caractéristiques intéressantes, par exemple leur sensibilité aux agents antibactériens. Ces micro-organismes sont étudiés, répertoriés avec toutes les données dont on dispose à leur sujet et conservés s'ils paraissent utiles. A cet égard, les collections peuvent constituer des sortes de musées ou de bibliothèques, ou bien faire simplement fonction de dépôts.

Les souches sélectionnées aux fins de taxonomie et de nomenclature en tant que souches types ou souches néotypes permettent de procéder à des études comparatives qui peuvent conduire à examiner les changements qui surviennent dans le temps. D'autres souches sont indispensables à des fins de contrôle de qualité, ou simplement mises en réserve pour faire l'objet d'une étude analytique ultérieure. C'est ce qui a été fait, par exemple, pendant deux décennies, pour le genre *Listeria*: toutes les souches disponibles ont été réunies dans une collection spéciale de cultures de *Listeria* jusqu'au moment où des recherches approfondies, comprenant une analyse génétique, ont permis aux spécialistes de mettre en évidence de façon certaine plusieurs espèces nouvelles, et d'établir une distinction nette entre les espèces pathogènes et les espèces non pathogènes (Rocourt *et al.*, 1982 et Rocourt, 1988). Ces travaux, qui se poursuivent actuellement, ont permis de dissiper en grande partie la confusion et l'inquiétude que suscite souvent parmi la population la découverte de tels organismes dans l'environnement humain.

De même, l'analyse sérologique de *Salmonella*, d'*Escherichia* et de souches apparentées de beaucoup d'autres groupes bactériens importants n'aurait jamais été possible sans les collections de référence constituées par des spécialistes éminents dans de grands laboratoires comme le Statens Serum Institute à Copenhague, ou le Centre de référence international des salmonelles à l'Institut Pasteur à Paris.

Les collections de bactéries, de champignons et de virus présentant un intérêt médical constituent une source de matériels authentiques utilisables pour l'enseignement à divers niveaux (aujourd'hui dès l'enseignement secondaire) et pour la recherche dans bien des domaines.

En outre ces collections, où sont concentrées un très grand nombre de cultures, offrent les moyens de mieux identifier des isolats qui ne peuvent être classés correctement lors de l'isolement initial. Elles fournissent aussi d'excellentes possibilités d'étude et d'amélioration des méthodes de conservation en vigueur.

Selon le D<sup>r</sup> Porter, aujourd'hui disparu, les collections de cultures jouent un rôle primordial en permettant de distinguer des taxons voisins, parce qu'elles offrent le

nombre de souches nécessaire à une étude et à une comparaison plus approfondies. De ce fait, elles peuvent apporter une contribution décisive sur le plan de la taxonomie et aider à fixer la terminologie et les règles correspondant aux divers codes de nomenclature des bactéries, des virus et des champignons.

On notera qu'il existe des relations de coopération entre les collections, ainsi qu'avec les centres de référence de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et avec plus de trente sous-comités taxonomiques, relatifs à divers groupes de bactéries, constitués par le Comité international de bactériologie systématique dans le cadre de la Division de bactériologie de l'Union (précédemment Association) internationale des sociétés de microbiologie (UISM). Les collections mettent aussi leurs services à la disposition des groupes d'experts de la Division de virologie de l'UISM. Ainsi, les collections de cultures médicales contribuent dans une large mesure à éviter la confusion qui régnait au début de ce siècle, lorsque Migula appelait les bactériologistes à mettre un peu « d'ordre dans le chaos ».

Depuis deux décennies, l'avènement de nouvelles techniques numériques de classement des bactéries et, plus récemment, celui de l'analyse génétique ont conféré une importance et un rôle sans cesse accrus aux collections de cultures. Le génie génétique a permis de créer des souches bactériennes qui n'existaient pas dans la nature auparavant. Ces souches doivent être nommées, conservées et mises à la disposition des chercheurs.

En microbiologie appliquée, l'introduction de matériel génétique dans des souches bactériennes, par la voie de plasmides, en vue de la production industrielle de substances indispensables telles que l'insuline, a ouvert des perspectives nouvelles. Cette évolution soulève certaines questions juridiques, par exemple celle de la protection des souches présentant une valeur industrielle éventuellement à l'aide de brevets (OMPI, 1974/1975).

De nombreux laboratoires ont constitué des stocks génétiques de souches qui présentent un intérêt particulier pour la production d'antibiotiques.

### **Méthodes de conservation**

La conservation de micro-organismes vivants, dont les constituants cellulaires sont éminemment périssables et qui se reproduisent – dans les conditions naturelles – à des intervalles variant de vingt minutes à plusieurs jours, exige un soin minutieux.

Les anciennes méthodes de conservation, encore largement utilisées, s'appliquent à des cultures composées exclusivement de souches pures dérivées d'un nombre de cellules aussi réduit que possible, et supposent le repiquage systématique à intervalles donnés sur des milieux nutritifs artificiels. Certaines espèces particulièrement délicates ont besoin de transferts fréquents alors que d'autres, maintenues dans des conditions appropriées de milieu, de température et d'humidité, peuvent survivre plusieurs années sans perte apparente de leurs propriétés initiales. Les conditions d'aérobiose, de microaérophilie ou d'anaérobiose convenant à l'espèce concernée doivent être scrupuleusement respectées. Cet entretien permanent est évidemment coûteux et demande beaucoup de temps et de manipulations.

Dans le cas de nombreux bacilles et clostridies formant des spores, on dispose d'un moyen relativement facile de conserver les souches pendant de longues périodes car les spores à l'état de dormance supportent des écarts de température importants, à condition d'être maintenues dans un environnement sec.

Ces méthodes de conservation de souches vivantes de bactéries ou de spores ne conviennent pas aux micro-organismes qui ne sont pas cultivés sur des milieux artificiels, par exemple les *Rickettsia*, *Coxiella* et *Chlamydia*. Il est alors indispensable d'utiliser des cultures de tissu animal et des cellules vivantes d'origine diverse.

Le tableau montre les méthodes utilisées pour conserver à l'état vivant les cultures de bactéries, qui diffèrent des collections de levures, de champignons et de plasmides. Les changements qui affectent la morphologie, le comportement des cultures (par exemple l'apparition de variants « rugueux » dans les cultures « lisses », accompagnée d'une diminution de la virulence et de la pathogénicité) et la composition sérologique sont gênants quand les cultures sont transférées sur des milieux artificiels à intervalles relativement brefs. Ces problèmes peuvent être résolus par la lyophilisation et par l'emploi d'azote liquide, procédés qui risquent toutefois de détériorer les cellules par formation de cristaux de glace ou augmentation des concentrations de sels au cours de la conservation. Pour réduire ces effets indésirables, il faut ajouter des substances protectrices telles que glycérol, diméthylsulfoxyde, etc. et respecter les durées optimales de congélation et de décongélation. Certains effets de ces substances protectrices ne sont pas encore parfaitement connus. A l'heure actuelle, la grande majorité des souches bactériennes peuvent être conservées pendant de longues périodes à l'état lyophilisé ou dans l'azote liquide (fig. 1).

La manipulation de ces cultures exige le plus grand soin et la plus grande prudence ; les procédures d'ouverture des flacons contenant des cultures lyophilisées sont un élément important des règles qui sont données dans les répertoires des principales collections de cultures d'intérêt médical pour réduire les accidents pendant le transport.

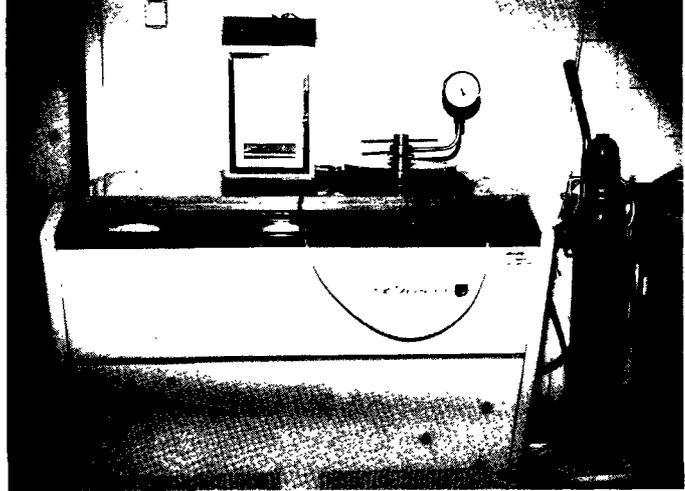
Lorsqu'on utilise de l'azote liquide, les cultures sont placées dans des tubes capillaires en verre de 20 µl ou dans des tubes de plastique fins de 50 µl. Cela permet de stocker d'assez grandes quantités de culture dans de petits récipients. Une fois sortie du tube, la souche doit être décongelée soigneusement et mise en culture sur un milieu classique avant son expédition.

Tableau *Méthodes de conservation des cultures bactériennes à l'état vivant (d'après P. Hoffmann, 1982)*

Méthode	Coût		Manipulation	Durée de survie	Stabilité
	en matériel	en main-d'œuvre			
Repiquage	faible	élevé	facile	semaines/ mois	faible
Dessiccation	faible	faible	facile	variable	bonne
Culture sur sol, gel de silice	faible	moyen	moyenne	années	moyenne à bonne
Gel/eau	faible	faible	moyenne	années	faible à moyenne
Lyophilisation	élevé	élevé	bonne	années ou décennies	faible à bonne
Congélation à -20°C	moyen	faible	moyenne	années	moyenne
Congélation dans l'azote liquide	élevé	faible	difficile	illimitée	très bonne

Figure 1

Matériel utilisé pour la conservation des souches microbiennes.  
(a) Machine classique de lyophilisation (congélation-dessiccation).  
(b) Récipient pour souches bactériennes congelées pourvu d'un mécanisme de recharge automatique.



(a)



(b)

La conservation des champignons pathogènes et opportunistes dans les collections fait appel à des méthodes assez différentes, bien que les levures soient traitées de la même manière que les souches bactériennes. Plusieurs semaines peuvent être nécessaires pour obtenir la morphologie typique des moisissures dans des milieux de culture et des transferts fréquents peuvent être requis pour conserver leur structure, importante du point de vue du diagnostic. Dans le cas des hyphomycètes pathogènes, qui sont habituellement conservés sur une série de milieux, le principal objectif est de conserver la morphologie classique, y compris la formation de conidies typiques (et/ou de spores sexuées au stade « parfait » ou télémorphe) avec expression de pigments typiques et apparition des colonies qui se développent dans des conditions spécifiques. Bien souvent, le pléomorphisme – l'existence de plusieurs formes distinctes – réduit ou même annule l'intérêt scientifique et documentaire des souches fongiques conservées dans les collections de cultures. Les cultures peuvent aussi être envahies par des acariens qui rendent les collections de champignons totalement inutilisables.

## Nombre de souches microbiennes rassemblées dans les collections de cultures

On ne dispose pas à cet égard de chiffres absolument certains, mais il est probable que le nombre des souches microbiennes représentées dans les collections du monde entier dépasse toutes les estimations. Un rapport circonstancié établi par Boquien, Corrieu, Desmazeaud et Fournier (1990) rend compte du programme d'action en biotechnologie BAP (1986-1989), ayant pour objet la description des diverses propriétés par rapport à la classification, et surtout le rôle des plasmides en tant que vecteurs de changement génétique. La Collection allemande de micro-organismes, actuellement en voie de création dans le cadre du MINE (Réseau d'information microbienne en Europe), viendra modifier ces données. Le rapport précédemment cité dénombre au total 133 600 souches de bactéries, champignons, levures, plasmides et cellules animales, sur lesquelles une grande partie des organismes qui présentent un intérêt médical sont concentrés dans neuf pays européens seulement.

### Une approche mondiale

Certaines collections n'offrent qu'un intérêt purement local ou régional, mais les activités menées aux niveaux national, continental et international témoignent de liaisons à l'échelle mondiale entre les collections de cultures microbiennes. Ces activités ont lieu sous l'égide d'organisations nationales et internationales telles que l'UISM, avec l'aide de l'Unesco et de l'OMS. La WFCC, instance permanente de l'UISM, qui se réunit régulièrement, a été créée à la suite de la première Conférence internationale des spécialistes sur les collections de cultures qui s'est tenue à Ottawa (août 1962) juste après le VIII<sup>e</sup> Congrès international de microbiologie de Montréal. Les actes de la Conférence d'Ottawa ont été publiés en 1963 (sous la direction de Martin).

Une réglementation postale a été établie pour permettre l'envoi de micro-organismes et de matériels pathogénétiques sans risque de nuire à la santé ou aux biens de quiconque sur le trajet, et les catalogues des collections de cultures énoncent des règles précises qui doivent être appliquées scrupuleusement par toutes les personnes concernées, depuis l'expéditeur jusqu'au destinataire des envois.

La publication du *World Directory of Collections of Cultures of Micro-organisms*, répertoire de 560 pages, sous la direction de Martin et Skerman (1972), est l'une des réalisations les plus remarquables du réseau de collections de cultures. Cet ouvrage de référence a été établi sous le patronage de l'Unesco et de l'OMS ainsi que d'autres grandes organisations au Japon et en Europe, et sa préparation a bénéficié, aux divers stades, de l'assistance de vingt-trois spécialistes renommés.

Ce répertoire (dont les parties fonctionnelles sont traduites en allemand, en espagnol, en français, en japonais et en russe) offre un index géographique des collections, permettant de localiser telle ou telle collection d'un pays donné ; un index des collections indiquant dans quelles collections se trouvent les principaux groupes de micro-organismes, etc. ; un index des principaux centres d'intérêt des collections, indiquant par exemple celles qui concernent plus particulièrement la microbiologie médicale ou la microbiologie vétérinaire ; et une liste du personnel participant à la gestion des collections de cultures et à la maintenance des cultures.

Ce répertoire extrêmement utile comprend aussi les listes de souches figurant dans les catalogues qui sont publiés à intervalles réguliers par les collections natio-

nales de cultures de souches types et par des organismes analogues. L'origine et les publications de référence sont mentionnées pour chaque souche.

Il n'est pas exagéré de dire que ce service mondial est l'un des meilleurs exemples qui soient de coopération scientifique internationale au service de la paix, dont la valeur est pleinement reconnue par les institutions spécialisées compétentes des Nations Unies telles que l'Unesco, la FAO et l'OMS.

Les collections de cultures médicales ont elles-mêmes acquis une importance capitale dans de nombreux domaines de la microbiologie médicale appliquée, s'agissant non seulement de l'analyse fondamentale des micro-organismes et des voies de leur pathogénicité et de leur virulence, mais aussi des moyens chimiques et biologiques de lutter contre eux. Il ne faut pas oublier naturellement les nombreux emplois, découverts récemment ou de longue date, des bactéries et des champignons pour la production à des fins thérapeutiques de substances biologiques très actives, pour lesquels il est indispensable d'avoir accès à une vaste gamme de micro-organismes. ■

### Références

- ARX, Y. A. VON. 1970. *The Centraalbureau voor Schimmelcultures*. Dans : H. Izuka et T. Hasegava (dir. publ.), *Proc. Int. Conference on Culture Collections*, p. 7-10. Baltimore, Ma., University Park Press.
- BOQUIEN, C. Y. ; CORRIEU, G. ; DESMAZEAUD, M. ; FOURNIER, P. 1990. Collections de cultures de micro-organismes : du programme BAP au programme BRIDGE. *Bull. Soc. Franç. de Microbiologie*, 5, p. 29-31.
- HOFFMANN, P. 1982. Die Deutsche Sammlung von Mikroorganismen. *Verpackungs-Rundschau*, 33, p. 9-13.
- MARTIN, S. M. (dir. publ.). 1963. *Culture collections : perspectives and problems. Proc. of the First International Specialists Conference on Culture Collections*. Toronto, University of Toronto Press.
- ; SKERMAN, V. B. D. (dir. publ.). 1972. *World directory of collections of cultures of micro-organisms*. New York, Wiley-Interscience.
- OMPI (ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE). 1974/1975. *Comité d'experts sur le dépôt des micro-organismes aux fins de la procédure en matière de brevets*. Rapports OMPI DMO/II/2/17, DMO/III/2/16. Dans : Porter, 1976.
- PORTER, J. R. 1976. The world view of culture collections. Dans : R. R. Cornell (dir. publ.), *The role of culture collections in the era of molecular biology*, p. 62-72. Washington, D.C., American Society for Microbiology.
- PUBLIC HEALTH LABORATORY SERVICE. 1971. *The National Collection of Type Cultures – The first fifty years 1920-1970*. Londres, National Collection of Type Cultures.
- ROUCOURT, J. 1988. Taxonomy of the genus *Listeria*. *Infection*, 16, p. 89-91.
- ; GRIMONT, P. A. ; GRIMONT, P. A. D. ; SEELIGER, H. P. R. 1982. DNA-relatedness among *Listeria monocytogenes* serovars. *Current Microbiol.*, 7, p. 383-388.
- TSUMENATSU, Y. 1970. Japanese Federation of Culture Collections. Dans : H. Izuka et T. Hasegava (dir. publ.), *Proc. Int. Conference on Culture Collections, op. cit.*, p. 79-83.

---

# La brevetabilité des ressources génétiques

R. Stephen Crespi

*Le droit des brevets reste le plus souvent un domaine mal connu, même des scientifiques, mais les biotechnologies lui ont valu une certaine notoriété. Les innovations introduites dans ce domaine ont en effet soulevé de nombreux problèmes juridiques qui se sont révélés difficiles à résoudre, en particulier ceux qui concernent des organismes vivants, et les deux dernières décennies sont riches d'enseignements pour qui s'intéresse à l'évolution du droit dans ce domaine. Peut-on breveter du matériel génétique? Cette question éminemment actuelle suscite le plus vaste intérêt en dehors même des milieux juridiques et technologiques et ne peut être pleinement comprise que si on le replace dans un contexte plus général.*

## La nature des brevets

Un brevet est une sorte de titre de propriété juridique délivré pour une invention, qui confère à son titulaire le droit d'empêcher les tiers d'utiliser ou d'exploiter cette invention sans son autorisation. Les brevets sont accordés à ceux qui en font la demande et qui peuvent apporter la preuve que cette demande de protection est justifiée. La demande est examinée par un organisme officiel (office de propriété industrielle), qui détermine si l'invention revendiquée présente le degré de nouveauté et d'inventivité requis, c'est-à-dire s'il ne s'agit pas seulement de l'amélioration d'un produit ou moyen déjà connu. En outre, cette invention doit pouvoir se prêter à des applications industrielles ou présenter quelque autre utilité pratique. L'exigence de nouveauté découle du principe fondamental selon lequel ce qui se trouve déjà dans le domaine public doit y demeurer et ne peut donc faire l'objet d'un brevet. L'application de ce principe au matériel génétique et à d'autres produits naturels revêtira une grande importance dans la discussion ci-après. La protection conférée par le brevet dépend des « revendications » énoncées par le déposant. Celles-ci ne sont pas des slo-

---

R. Stephen Crespi a reçu une formation de chimiste et occupé un poste de chercheur dans l'industrie pharmaceutique avant de devenir spécialiste des brevets. Il a exercé à son compte et pour des sociétés privées ainsi que dans le secteur public, notamment en qualité de contrôleur des brevets pour le British Technology Group. Il est l'auteur de deux ouvrages sur les brevets dans les sciences biologiques. M. Crespi est maintenant consultant indépendant. On peut le contacter à l'adresse suivante: Blackbird Cottage, Walton Avenue, Bognor Regis, Sussex PO21 1NP, Royaume-Uni.

---

gans publicitaires mais définissent la portée des droits revendiqués par la description verbale du procédé, du produit, etc., pour lequel le brevet est demandé.

Des brevets peuvent être pris dans tous les domaines de la technologie, mais l'importance que leur accordent les chercheurs et leurs employeurs ou les organismes de financement varie considérablement. Les industries d'application des sciences biologiques, notamment de la biochimie, ont toujours considéré les brevets comme importants et ce point de vue est aussi celui des chercheurs en biotechnologie, si l'on en juge par le nombre de brevets qui sont délivrés à des entreprises et, de plus en plus, à des chercheurs d'instituts universitaires.

Il importe de noter que le brevet atteste principalement le caractère de nouveauté et d'inventivité du procédé, du produit ou de tout moyen dont on demande la protection. Il ne constitue pas une reconnaissance officielle des avantages et de l'efficacité de l'invention sur le plan commercial ou autre. Plus important encore, il ne confère pas le droit positif d'exploiter l'invention mais seulement le droit négatif d'empêcher les tiers de le faire. Le droit d'utilisation du titulaire du brevet peut en effet être restreint par d'autres lois et règlements ou par les droits antérieurs d'autres titulaires de brevets.

La question de la brevetabilité du matériel génétique ne peut être examinée isolément. C'est la dernière en date, mais non la moindre assurément, d'une longue série de questions soulevées par la technologie des sciences de la vie quant à la protection juridique de procédés et de produits nouveaux. Un bref résumé de l'évolution du droit des brevets dans le domaine de la biotechnologie aidera à mieux comprendre les problèmes dont traite le présent article.

### **Les brevets en microbiologie**

Il y a plus d'un siècle, Louis Pasteur faisait breveter « une levure exempte de germes pathogènes, utilisable comme élément de fabrication »<sup>1</sup>, mais c'est seulement depuis peu que la question de la brevetabilité de matériel vivant fait l'objet dans les milieux industriels et juridiques d'un débat majeur, à propos duquel le public est admis à exprimer son opinion.

L'introduction de méthodes microbiologiques dans l'industrie date de la première partie de ce siècle. On commença par utiliser des bactéries et des champignons pour produire des solvants et d'autres produits chimiques industriels, par exemple au moyen des fermentations acétonobutyliques et de la fermentation bien connue qui fournit de l'acide citrique. Ces inventions devaient avoir après la seconde guerre mondiale de profondes répercussions sur l'industrie pharmaceutique et même sur le droit des brevets lorsque furent mis au point des procédés industriels de production d'antibiotiques, d'enzymes, d'acides aminés et d'autres substances. L'invention type, en biotechnologie, consistait alors à utiliser des micro-organismes ou des cellules d'organismes supérieurs pour obtenir des produits nouveaux, ou pour obtenir des produits déjà connus par des moyens nouveaux ou améliorés. De nombreuses demandes de brevets se fondaient, dans ce domaine, sur la première découverte, la sélection et le développement des organismes capables d'accomplir cette fonction utile, organismes dont la plupart existaient dans la nature et avaient été isolés par des méthodes connues.

La possibilité de faire breveter les procédés utilisant ces organismes n'a jamais soulevé la moindre controverse. Il suffisait, du point de vue du droit des brevets, de

fournir une description écrite du procédé à partir duquel celui-ci pût être reproduit par quelqu'un du métier. C'est là une exigence fondamentale pour toutes les technologies, à laquelle on satisfait habituellement en incluant dans la demande une description détaillée des travaux expérimentaux de l'inventeur assurant la reproductibilité des résultats. Dans le cas de matériel biologique isolé pour la première fois (et, de ce fait, considéré comme « nouveau » au sens du droit des brevets), le problème de la divulgation était résolu par le recours aux collections de cultures existantes ou à des collections nouvelles qui faisaient fonction de centres de dépôt des cultures destinées à être brevetées. Ce dépôt des souches et autres matériels biologiques nouveaux complétait la description écrite de l'inventeur et permettait de disposer du matériel nécessaire à la mise en application pratique de l'invention.

### La brevetabilité des micro-organismes

Comme on l'a noté plus haut, la protection des procédés microbiologiques ne soulevait pas de difficulté de principe, et tous les précédents établis par la délivrance de brevets relatifs à des procédés chimiques s'appliquèrent aussi à ces procédés. De la même façon, les produits obtenus à partir de micro-organismes, dans la mesure où il s'agissait de produits nouveaux, étaient également brevetables. Toutefois, on ne tarda pas à vouloir faire breveter directement les nouveaux micro-organismes eux-mêmes, considérés comme des outils ou des intermédiaires industriels utiles à la fabrication du produit final aux fins de commercialisation. Au Royaume-Uni et en République fédérale d'Allemagne, des brevets avaient été accordés pour de nouvelles souches de levure et pour d'autres micro-organismes, alors qu'aux États-Unis d'Amérique, malgré le précédent illustre évoqué plus haut, breveter des organismes vivants était considéré comme inacceptable par les milieux officiels, au motif qu'il s'agissait de « produits de la nature ». Bien des années auparavant, la Cour suprême des États-Unis d'Amérique avait rejeté une demande de brevet relative à certains inoculants bactériens utilisés pour la fixation de l'azote<sup>2</sup>, en déclarant que ladite invention n'était « rien de plus que la découverte d'un travail de la nature, par conséquent non brevetable ». En vue de résoudre ce conflit, la Cour suprême fut saisie de la célèbre affaire Chakrabarty<sup>3</sup>, relative à une demande de brevet portant sur « une bactérie du genre *Pseudomonas* contenant au moins deux plasmides stables générateurs d'énergie, dont chacun offre une voie distincte de dégradation des hydrocarbures ».

Cette bactérie était un organisme de dégradation du pétrole obtenu par manipulation qui différait des souches naturelles de *Pseudomonas*, lesquelles ne contiennent qu'un seul de ces plasmides, et qui par conséquent s'avérait plus efficace pour la dispersion des marées noires. La Cour statua qu'« une nouvelle substance minérale découverte dans le sol ou un nouveau végétal trouvé dans la nature ne peuvent faire l'objet d'un brevet » ; en l'espèce, toutefois, la demande de brevet ne concernait pas quelque phénomène naturel resté inconnu jusque-là mais « une fabrication ou composition de matière n'existant pas dans la nature, qui est le produit de l'ingéniosité humaine et présente un caractère et une utilité distinctifs reconnus ». Rejetant ainsi l'argument du produit de la nature, la Cour a considéré que le déposant avait produit « une bactérie nouvelle, possédant des caractéristiques nettement différentes de toutes celles qui se trouvent dans la nature et douée d'une utilité potentielle significative ». C'était là le résultat du travail non pas de la nature mais de l'inventeur.

## La brevetabilité des organismes supérieurs

Après que la Cour suprême eût ainsi reconnu la brevetabilité des bactéries artificiellement modifiées par rapport à leur forme naturelle, et que ce point de vue eut été accepté par les autres pays industrialisés, l'extension de ce principe aux organismes supérieurs se fit assez facilement. Ainsi, des lignées de cellules animales utilisées pour la culture de virus et d'anticorps furent déposées dans des collections de cultures et brevetées sans difficulté majeure.

La Cour suprême des États-Unis ayant statué en outre que « n'importe quoi sous le soleil » pouvait être breveté, dès lors que c'était « un produit de l'industrie humaine »; des autorités américaines inférieures déclarèrent brevetable un végétal amélioré obtenu par culture tissulaire<sup>4</sup>. Peu de temps après, l'U.S. Patent and Trademark Office (USPTO) déclara<sup>5</sup> qu'il considérait « comme brevetables les organismes vivants multicellulaires non humains qui n'existent pas dans la nature, y compris les organismes animaux », et le premier brevet américain pour un animal<sup>6</sup> issu de manipulations génétiques fut dûment accordé.

Ainsi, c'est la notion d'intervention technique humaine dans les processus biologiques naturels qui est apparue comme un critère essentiel pour la justification de ces brevets. La même idée avait été exprimée par l'Office européen des brevets (OEB) à propos du droit européen<sup>7</sup> qui exclut de la brevetabilité « les processus essentiellement biologiques de production de végétaux et d'animaux ». L'OEB oppose les processus « essentiellement biologiques » à ceux dans lesquels l'intervention technique humaine joue un rôle significatif, interprétation qui a été confirmée, sous une forme légèrement modifiée, par une chambre de recours de l'OEB dans une affaire relative à un procédé d'obtention de variétés végétales hybrides<sup>8</sup>.

## Les inventions du génie génétique

Il a surtout été question jusqu'ici des inventions de type classique mettant en cause des micro-organismes isolés dans la nature et des mutants naturels ou artificiels de ceux-ci, inventions dans le cas desquelles il n'est pas nécessaire d'étudier la constitution génétique sous-jacente de la cellule pour comprendre le fonctionnement de l'organisme entier. Par contre, les nouvelles biotechnologies obligent à procéder à une analyse plus approfondie du mécanisme génétique cellulaire afin de l'adapter à l'objectif visé. L'inventeur part d'un micro-organisme existant dont il recombine le matériel génétique (ADN) avec un ADN étranger pour obtenir un organisme modifié. On parle alors de génie génétique ou de manipulation génétique ou encore, en des termes plus scientifiques, de technologie de recombinaison de l'ADN.

Aux États-Unis d'Amérique, après que l'affaire Chakrabarty eût ouvert la voie, les premiers brevets à être délivrés pour de l'ADN recombinant<sup>9</sup> le furent aux inventeurs Cohen et Boyer, qui avaient utilisé, pour transformer des organismes unicellulaires, des plasmides et autres vecteurs dans lesquels ils avaient inséré par épissure un ADN étranger. Depuis, de nombreux brevets ont été délivrés pour les inventions les plus diverses, dans le domaine de la biotechnologie médicale et agricole. Nombre d'entre eux concernent des séquences d'ADN codant pour l'expression de protéines sanguines et d'autres protéines intéressantes, ainsi que des procédés de production de ces substances par culture à grande échelle de souches transformées d'*E. coli* et de

divers eucaryotes. Ont également été brevetés des obtentions de gènes végétaux et des végétaux transgéniques. Nous en arrivons ainsi à l'objet principal de notre article.

### **La brevetabilité du matériel génétique**

Le matériel génétique est constitué de molécules d'ADN qui, sans être elles-mêmes de la matière vivante, commandent la synthèse des protéines et d'autres processus cellulaires d'importance vitale pour l'organisme hôte. On peut se demander si la fonction biologique de l'ADN ne diffère pas si radicalement de celle d'autres substances bioactives, comme les antibiotiques par exemple, qu'elle justifierait que d'autres considérations juridiques président à l'examen de la question des droits accordés dans ce domaine. Mais le droit des brevets ne peut établir par lui-même une telle distinction. Le rapport étroit qui existe entre l'ADN et les processus vitaux n'est pas une raison juridique qui permette de l'exclure de la protection conférée par les brevets ou même de lui appliquer des critères différents de ceux qui s'appliquent à d'autres grosses molécules comme les polymères de synthèse.

Une telle conclusion a de quoi surprendre. Comment peut-on accorder un monopole sur du matériel que possède en abondance une multitude d'organismes vivants, depuis les micro-organismes jusqu'aux végétaux, aux animaux et même aux humains ? Il est à noter que les gènes ne sont qu'un exemple particulier de la vaste classe des produits présents dans la nature qui, dans certaines conditions, peuvent faire l'objet d'un brevet. Lorsqu'il est nécessaire, avant qu'un produit naturel puisse être utilisé par l'homme à des fins pratiques, d'isoler ce produit, d'en décrire les caractères et de mettre au point un procédé permettant de l'obtenir en grande quantité, le droit des brevets offre en effet des possibilités de protection. Le simple fait que ce produit existe déjà, par ailleurs, mêlé à des quantités considérables d'autres substances, ne suffit pas à invalider ce point de vue. Telle est la position officielle de l'OEB<sup>10</sup> et de la Commission européenne<sup>11</sup>. C'est aussi l'opinion implicite des services de brevets américains, lorsqu'ils déclarent, par exemple, que les micro-organismes existant dans la nature peuvent être brevetés en tant que cultures « biologiquement pures ». Du fait de l'isolement ou de la purification, ces substances naturelles deviennent ainsi brevetables, non pas dans leur forme naturelle, mais dans celle qui résulte de l'intervention humaine. Les exemples donnés ci-après feront mieux comprendre ce point.

### **La brevetabilité des gènes**

Un brevet américain<sup>12</sup> a été délivré récemment pour l'isolement d'un gène à partir d'un important micro-organisme producteur d'antibiotique et la détermination de sa structure chimique. Il s'agit du gène codant pour la production d'une enzyme qui induit une réaction chimique essentielle de la biosynthèse de deux antibiotiques, la pénicilline et la céphalosporine, par les moisissures de *Penicillium* et de *Cephalosporium*. Cette réaction transforme un tripeptide, molécule composée de trois unités d'acides aminés, en une structure cyclique, l'isopénicilline N. L'isolement de ce gène et son incorporation dans un vecteur d'expression devraient permettre d'accroître l'efficacité du processus naturel de la fermentation. Ce processus pourrait aussi être adapté aux fins de la transformation d'autres tripeptides en produits antibiotiques différents des produits naturels, de manière à augmenter la diversité de ces produits.

Le brevet contient une description de la préparation de plasmides contenant le gène et de leur insertion dans une large gamme de micro-organismes hôtes. Aux termes du brevet, la protection revendiquée concerne « un composé d'ADN isolé qui assure le codage de la synthétase de l'isopénicilline N à partir de *Cephalosporium* ». On notera que la précision « ADN isolé » exclut de la protection le gène dans son milieu naturel. Une revendication ultérieure spécifie la séquence des 339 codons du brin de codage du gène, et une autre vise la séquence d'acides aminés du polypeptide (enzyme) codé par le gène.

C'est là un bon exemple de brevet délivré pour un gène isolé et son produit d'expression enzymatique. C'est aussi l'un des nombreux cas, appelés à se multiplier à l'avenir, où l'isolement du gène permet de le transférer à d'autres organismes de même type ou à des organismes supérieurs tels que des végétaux.

### La brevetabilité du matériel phylogénétique

On connaît depuis longtemps l'importance de la conservation et de l'utilisation de matériel phylogénétique pour la sélection. L'une des premières applications a consisté à transférer à des cultivars de blé modernes la résistance observée chez une graminée sauvage d'Afrique du Nord, *Aegilops ventricosa*, à la maladie cryptogamique dite piétin-verse. Grâce à la similitude de certains chromosomes chez ces parents éloignés, le transfert du gène codant pour la résistance au champignon a pu être réalisé à l'aide de programmes d'hybridation qui ont conduit à l'obtention de nouvelles variétés de blé. Cette importante réalisation de chercheurs français a plus ou moins coïncidé avec la mise en place de systèmes juridiques de protection des droits des sélectionneurs (début des années 60), type de protection qui aurait sans doute mieux convenu que des brevets aux nouvelles variétés ainsi créées.

Le piétin-verse est une maladie cryptogamique qui s'observe dans les climats maritimes frais d'Europe occidentale, d'Amérique du Nord et de certaines parties de l'Amérique du Sud, mais non dans les régions côtières d'Afrique du Nord d'où la graminée est originaire et où on la trouve encore. On a donc ici l'exemple d'un matériel génétique provenant d'une zone sous-développée où il n'a pas d'utilité particulière mais qui peut servir à améliorer les plantes cultivées dans d'autres pays.

Les techniques de manipulation génétique des végétaux par recombinaison de l'ADN et transfert de gènes ouvrent de nouvelles perspectives d'amélioration des cultures. L'utilisation de *Bacillus thuringiensis* comme moyen naturel de lutter contre les parasites a fait l'objet de nombreuses publications scientifiques et descriptions de brevets. On estime depuis longtemps que ce micro-organisme très répandu, qui produit une toxine cristalline détruisant l'intestin de l'insecte, mérite d'être exploité comme agent de lutte biologique. Sur les milliers de souches présentes dans la nature, certaines particulièrement remarquables ont été isolées et brevetées. L'une d'elles<sup>13</sup>, par exemple, a été manipulée de manière à combiner les propriétés insecticides de deux souches distinctes afin d'élargir son spectre d'activité. Le transfert du gène pertinent dans des plantes cultivées importantes est l'une des applications les plus récentes de cette stratégie. Les demandes de brevets<sup>14</sup> décrivent les manipulations génétiques appliquées à la tomate, à la pomme de terre et au coton en vue de protéger ces végétaux contre les lépidoptères et les coléoptères. Les revendications visent le gène de la chimère, les cellules végétales transformées et les plantes entières ainsi que les méthodes d'obtention utilisées.

Plus récemment, une technique fondée sur le dérèglement du système digestif enzymatique de l'insecte s'est révélée extrêmement prometteuse. Elle consiste elle aussi à isoler le gène responsable de cet effet dans un type de végétal et à transférer cette capacité de défense naturelle à des végétaux qui en sont dépourvus. Par exemple<sup>15</sup>, le gène induisant la production d'un inhibiteur de la trypsine chez le dolique (*Vigna unguiculata*) a été transféré dans des végétaux appartenant à d'autres genres. Le dolique est une légumineuse, appelée aussi « haricot noir », que l'on cultive pour l'alimentation en Afrique de l'Ouest ainsi qu'en Amérique du Nord et en Amérique du Sud. Sous l'effet de cet inhibiteur de la trypsine, l'insecte parasite devient incapable de digérer les protéines et meurt d'inanition. Le transfert de ce gène dans d'autres genres végétaux ne peut être réalisé par les méthodes de sélection traditionnelles et suppose le recours à la biotechnologie végétale. Cette technologie est aussi utilisée pour protéger le coton et les céréales contre des vers de la capsule des genres *Heliothis* et *Anthonomus*, qui sévissent sur tout le continent américain et tout le continent africain. Elle sert également à assurer la protection des réserves de grain – de blé, de maïs, de riz et de sorgho – contre les parasites des genres *Tribolium*, *Sitophilus* et *Chilo*, ce dernier sévissant tout particulièrement en Afrique, en Inde, en Chine et au Japon. Cette technologie est à la base de demandes de brevets portant sur le gène lui-même et sur les méthodes d'obtention des végétaux transgéniques.

Comme dans le premier exemple cité, les revendications de la demande de brevet relative à l'inhibiteur de la trypsine du dolique visent les molécules d'ADN recombinant qui contiennent le gène structural tiré de *Vigna unguiculata* codant pour l'inhibiteur. D'autres revendications précisent en termes chimiques la séquence de base de ce gène. D'autres encore portent sur les méthodes de transformation des végétaux au moyen de ce nouvel ADN et sur les végétaux modifiés ou transformés ainsi obtenus.

La création et l'exploitation de ce type de technologie se déroulent le plus souvent selon le schéma suivant : un groupe de chercheurs en biotechnologie attachés à un institut de recherche scientifique ou à un laboratoire de recherche industrielle isole le gène à partir du matériel génétique du pays d'origine, souvent un pays en développement, et fait breveter le gène ainsi obtenu et la méthode de transfert du gène aux végétaux que l'on veut protéger. Il est loisible au titulaire du brevet d'assurer lui-même le développement et l'exploitation commerciale de la technologie en question. Mais celui-ci peut avoir intérêt à concéder à des sélectionneurs professionnels de pays développés ou à des organismes appropriés de pays en développement, par exemple des instituts de recherche agricole d'État, une licence d'exploitation de la technologie en même temps que le savoir-faire nécessaire pour transférer le gène dans des types végétaux choisis. Les sélectionneurs ou les instituts de recherche pourront se faire reconnaître un droit de sélectionneur sur les variétés obtenues. Les nouvelles variétés seront vendues à des agriculteurs qui les cultiveront et qui, grâce à la meilleure résistance de ces souches aux parasites, réaliseront des économies sur l'emploi d'insecticides chimiques. Le public tirera bénéfice des avantages résultant de cette technologie pour l'environnement. Tout le monde y trouvera donc son compte. Si le végétal transgénique ne permet pas à l'agriculteur d'obtenir un meilleur rendement ou de réaliser des économies d'insecticides, son prix élevé lui apparaîtra injustifié et il ne l'achètera pas.

### **Accès aux ressources génétiques**

Dans les exemples cités, qui sont assez représentatifs, le matériel génétique utile est obtenu à partir du patrimoine que nous offre la nature (souvent celle d'un pays en développement) sans dommage pour le matériel source qui reste disponible pour son usage d'origine. Pourtant certaines inquiétudes se sont manifestées à cet égard. On prétend que le matériel génétique, une fois breveté, n'était plus librement disponible, sans penser que jusqu'à ce que l'inventeur ait réussi à isoler le gène, ce matériel était disponible uniquement sous la forme du végétal d'origine et que sur ce plan, il n'y a rien de changé. Naturellement, pendant toute la durée de validité du brevet, les nouveaux végétaux transgéniques ne sont pas librement disponibles, le titulaire escomptant recevoir sa part des profits qu'il a générés; mais ces végétaux n'étaient pas disponibles non plus avant les travaux de l'inventeur. Il convient aussi de noter que les brevets ont une durée limitée; en Europe, par exemple, ils expirent vingt ans après la date de dépôt de la demande. Passée cette période, n'importe qui peut utiliser librement l'invention.

On craint ensuite que le fait de breveter des végétaux ait pour effet de concentrer la production agricole sur les obtentions végétales brevetées, et que les variétés antérieures tombent en désuétude et soient perdues pour la postérité. Or ce scénario ne tient pas compte du fait que la nouvelle technologie n'est pas inévitablement appelée à remplacer l'ancienne et que les nouvelles variétés devront être offertes à un prix concurrentiel, comme on l'a noté précédemment. De telles préoccupations supposent aussi que les organismes officiels concernés ne feraient rien pour conserver l'ancien patrimoine génétique, alors que la nécessité de préserver les espèces existantes cultivées depuis des générations a été reconnue dès avant l'avènement du génie génétique et que les mesures proposées à cette fin sont d'ores et déjà considérées comme urgentes. Les conclusions de la Commission sur les ressources phylogénétiques<sup>16</sup> constituée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture seront largement approuvées. Les ressources phylogénétiques sont véritablement indispensables à l'amélioration génétique des plantes cultivées aussi bien dans les pays en développement que dans les pays développés. Les droits du sélectionneur, au sens traditionnel du terme, ne vont pas à l'encontre de ce point de vue. Il apparaîtra sans doute que les brevets offrent, dans le cas des nouvelles combinaisons génétiques produites par la biotechnologie, une forme de protection juridique plus appropriée, mais qui tend pour l'essentiel au même but que le droit des sélectionneurs. Aucun brevet n'oblige une entreprise à adopter une politique qui ne sert pas à la fois l'intérêt des producteurs et celui des consommateurs. Le brevet a pour fonction d'empêcher les atteintes aux droits patrimoniaux légitimement reconnus à l'inventeur pour sa contribution au progrès technologique. Cette caractéristique d'une activité économique soumise au jeu de la concurrence dans une société libérale n'est nullement incompatible avec le devoir qu'ont les gouvernements et les institutions internationales de considérer les besoins à long terme et de prendre des mesures en conséquence.

### **Matériel génétique et dépôt du matériel breveté**

On a vu plus haut que les demandes de brevet, dans le domaine de la biotechnologie, supposent souvent le dépôt de matériel biologique dans des collections de cultures. Cette pratique est réglée au niveau international par le Traité de Budapest, qui est

géré par l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle à Genève. Ce traité reconnaît 20 centres de dépôt, répartis dans de nombreux pays, où plus de 10 000 dépôts liés à des demandes de brevet avaient été effectués à la fin de 1988. Une minorité seulement de ces dépôts est susceptible d'intéresser l'agriculture, mais il s'agit là d'une règle générale. Tout ce matériel biologique nouveau est ainsi mis à la disposition du public, même pendant la durée de validité des brevets, dans des conditions qui sont loin d'être onéreuses. En outre, chaque dépôt est conservé pendant au moins trente ans aux frais du déposant. Il n'y a pas de raison pour que cette durée ne puisse pas être prolongée, aux frais de la collectivité, si cela paraît souhaitable dans l'intérêt des générations futures. Ces dépôts liés à des demandes de brevets représentent donc une source toujours plus abondante de matériel, dont la recherche a démontré l'utilité pour l'industrie ou l'agriculture.

### **Matériel génétique humain**

Bien que le matériel génétique animal ne paraisse pas justiciable d'un traitement distinct à l'heure actuelle, il convient de dire un mot des gènes humains, compte tenu des préoccupations éthiques exprimées à ce sujet dans différents milieux.

On peut se demander, maintenant qu'il est devenu possible de breveter des micro-organismes, des végétaux et des animaux, où cette évolution s'arrêtera. Pour le spécialiste du droit des brevets, l'idée d'étendre ce principe à l'être humain est tellement incongrue qu'il paraît difficile d'y voir autre chose qu'une simple hypothèse théorique. Les législateurs n'ont pas jugé utile de spécifier expressément la non-brevetabilité des êtres humains, mais il existe déjà suffisamment de garde-fous pour exclure dans la pratique, en ce qui les concerne, toute possibilité de brevet. Tout d'abord, l'appropriation d'êtres humains est contraire aux droits de l'homme fondamentaux. Ensuite, les lois sur les brevets interdisent déjà expressément la délivrance d'un brevet pour les inventions dont l'exploitation serait contraire à l'ordre public ou à la morale, principe qui pourrait certainement être invoqué en l'occurrence. Dans le droit européen, cette interdiction fait l'objet de l'article 53a de la Convention sur le brevet européen, et il existe des dispositions analogues dans les lois nationales des États adhérant à la Convention. La seule disposition de la Convention qui mentionne l'organisme humain est l'article 52 (4), selon lequel les méthodes de traitement direct de l'organisme humain ou animal à des fins thérapeutiques, diagnostiques ou chirurgicales sont exclues de la brevetabilité. Par conséquent, même si les médicaments et les dispositifs à usage diagnostique ou chirurgical peuvent être brevetés en tant qu'articles fabriqués par l'homme, la méthode même de traitement du patient, c'est-à-dire l'acte thérapeutique, a été exclue de la brevetabilité, pour des raisons d'ordre public.

Le statut de l'embryon humain aux premiers stades de son développement fait l'objet de controverses et la recherche en embryologie suscite les plus graves inquiétudes; chacun s'accorde pourtant à reconnaître que la formation artificielle d'embryons ne peut être envisagée que pour des raisons morales supérieures excluant toutes considérations d'ordre économique. Le critère moral doit donc être appliqué d'abord au stade de la recherche, plutôt qu'au stade ultérieur de la protection juridique des résultats, à supposer que ceux-ci soient légalement brevetables. En outre, comme on l'a indiqué plus haut, les brevets ne confèrent pas de droit positif d'utilisation mais seulement un droit négatif d'interdire l'exploitation par des tiers non autorisés. Pour faire apparaître pleinement le caractère irréal de cette question, peut-être

faut-il se demander comment, si un tel brevet était accordé, pourrait être assuré le respect des droits attachés au brevet, et à qui celui-ci serait opposable.

Il en va tout autrement lorsqu'il s'agit de breveter du matériel génétique humain ou, plus précisément, des séquences d'ADN utiles à la production de substances thérapeutiques ou diagnostiques. De tels brevets sont aujourd'hui chose courante et leur délivrance ne soulève pas de problèmes éthiques. De nombreux brevets sont accordés pour des séquences d'ADN codant pour la production de protéines humaines d'intérêt médical, dont l'insuline, l'hormone de croissance, l'interféron et de multiples protéines du sang telles que l'activateur du plasminogène tissulaire, la sérum-albumine et le facteur VIII. Le transfert de ces gènes à des organismes inférieurs qui se prêtent à une culture industrielle, permettant une production à grande échelle des substances en question, est indéniablement bénéfique pour l'homme et n'a jamais soulevé d'objection. La justice est actuellement saisie de litiges entre entreprises concurrentes mettant en cause certains de ces brevets, mais aucune de ces affaires ne soulève de problème éthique.

Un autre aspect de la question a trait aux techniques diagnostiques servant à la détection de maladies causées par des gènes défectueux. La phénylcétonurie, par exemple, est due à une mutation du gène responsable de la production d'une certaine enzyme du foie (la phénylalanine hydroxylase). L'isolement du gène défectueux permet aux biochimistes de synthétiser une sonde d'ADN qui peut être utilisée pour détecter cette affection. Même si ces sondes correspondent à un minuscule fragment de génome humain, elles sont brevetables en tant que composés chimiques, de même que leur utilisation à des fins diagnostiques<sup>17</sup>. Un autre exemple<sup>18</sup> est celui de la détection de la fibrose kystique par application d'une sonde sur la partie du chromosome où le gène de commande est défectueux. Les tests sont bien entendu exécutés sur des échantillons d'ADN prélevés sur le patient et ces méthodes sont brevetables.

## Conclusion

L'exploration scientifique des phénomènes naturels est universellement reconnue comme une activité bénéfique pour l'homme, car elle permet des découvertes importantes concernant la matière vivante et la matière inerte. Lorsque ces découvertes conduisent à des inventions débouchant sur des procédés et des produits industriels, il n'y a aucune raison éthique ou juridique de refuser à ces inventions la protection conférée par un brevet.

A l'exception des êtres humains, le caractère vivant des matériels en cause n'est pas considéré par le droit des brevets comme un motif général de non-brevetabilité. Le matériel génétique, qu'il soit isolé à partir d'une source naturelle ou produit artificiellement, n'est pas exclu non plus de la brevetabilité lorsqu'il peut avoir des applications utiles. Dans la mesure où le matériel génétique constitue une ressource, il est normal de chercher à l'utiliser pour améliorer les conditions de la vie humaine. L'ingéniosité mise en œuvre pour y parvenir doit valoir à cette réalisation une certaine protection juridique, limitée dans le temps. ■

*Notes*

1. Louis Pasteur, brevet américain 141.072 du 22 juillet 1873.
2. Funk Bros. Seed Co. c. Kalo Inoculant Co., 76 *USPQ* (*United States Patent Quarterly*) 280.
3. Diamond c. Chakrabarty, 206 *USPQ* 193; brevet américain 4.259.444.
4. *Ex parte* Hibberd, 227 *USPQ* 443.
5. USPTO policy statement, Commissioner of Patents, 4 juillet 1987.
6. «Harvard Mouse», The President and Fellows of Harvard College, brevet américain 3.736.866.
7. Convention sur le brevet européen, article 53b.
8. Lubrizol Genetics Inc., *Journal officiel de l'Office européen des brevets*, mars 1990, p. 59-62.
9. S. N. Cohen et H. W. Boyer, brevets américains 4.237.224 et 4.339.538.
10. Directives de l'Office européen des brevets, partie C, chapitre IV, 2.1.
11. Proposition de directive de la Commission européenne concernant la protection juridique des inventions biotechnologiques, communication 496, SYN 159 final, Bruxelles, 17 octobre 1988.
12. Eli Lilly Co., brevet américain 4.885.251.
13. Agricultural Genetics Co., brevet britannique 2.165.261.
14. Monsanto, demandes de brevets européens 269.601 et 289.479.
15. Agricultural Genetics Co., demande de brevet européen 272.144.
16. Commission des ressources phytogénétiques, Rapport de la troisième session, Rome, 17-20 avril 1989.
17. Howard Hughes Medical Institute, demande de brevet européen 256.630.
18. Collaborative Research Inc., demande de brevet européen 226.288.

---

Saviez-vous que

les éducateurs et les étudiants  
peuvent utiliser les bons UNESCO pour acheter

livres, périodiques, films,  
œuvres d'art, partitions musicales,  
récepteurs de radio et de télévision,

machines à écrire,  
matériel scientifique,  
machines-outils,

bandes magnétiques,  
instruments de musique,  
appareils de mesure ?

Les bons UNESCO peuvent également être utilisés pour payer des  
souscriptions à des publications de caractère éducatif, scientifique ou  
culturel et pour acquitter des droits d'inscription universitaire ou  
des droits d'auteur.

Les bons UNESCO existent  
dans les valeurs suivantes :

*Dollars des États-Unis  
d'Amérique*

1 000  
100  
30  
10  
1

\$10

Unesco coupon

\$10

United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization



(Des coupons sans valeur nominale peuvent être valorisés  
pour des sommes de 1 à 99 cents.)

## Comment cela fonctionne-t-il ?

Dans chaque pays utilisateur, un organisme — le plus souvent la commission  
nationale pour l'Unesco — est responsable de la vente des bons.

Écrire au Service des bons de l'UNESCO, 7, place de Fontenoy,  
75700 Paris (France) pour obtenir une liste des principaux fournisseurs  
ayant adhéré au programme ainsi que le nom et l'adresse du Service  
de vente des bons UNESCO dans votre pays.

Vous payez les bons *en monnaie nationale* et vous les joignez à la commande que  
vous envoyez au fournisseur des marchandises que vous désirez acquérir.

---

---

Pour s'abonner  
ou se réabonner  
à la revue

**impact**  
science et société

---

## Bulletin d'abonnement

à adresser avec le paiement correspondant aux

Éditions Érès  
(distributeur)  
19, rue Gustave-Courbet  
31400 Toulouse, France

Nom, prénom

(Écrire en lettres capitales)

Adresse

Ville

Code postal

Pays

Je désire m'abonner pour 1 an (4 numéros) à la revue  
*Impact : science et société*

Ci-joint le montant de mon abonnement, soit 273 FF

par chèque bancaire

Je souhaite recevoir

par chèque postal

une facture administrative

établi à l'ordre  
des Éditions Érès, Toulouse

la liste des numéros  
d'*Impact* parus depuis  
1950

Date

Signature

---

# Agents de vente des publications de l'UNESCO

- ALBANIE**: «Ndermarrja e perhapjes se librit», TIRANA.
- ALGÉRIE**: ENAL, 3, boulevard Zirout Youcef, ALGER. *Périodiques seulement*: ENAMEP, 20, rue de la Liberté, ALGER.
- ALLEMAGNE, RÉP. FÉD. D'**: UNO-Verlag, Simrockstrasse 23, D-5300 BONN 1; S. Karger GmbH Verlag, Angerhofstrasse 9, Postfach 2, D-8034 GERMERING/MÜNCHEN. *Cartes scientifiques seulement*: GEO Center, Postfach 800830, D-7000 STUTTGART 80.
- ANGOLA**: Distribuidora Livros e Publicações, Caixa postal 2848, LUANDA.
- AUTRICHE**: Gerold & Co., Graben 31, A-1011 WIEN.
- BELGIQUE**: Jean De Lannoy, Avenue du Roi 202, 1060 BRUXELLES.
- BÉNIN**: Librairie nationale, B.P. 294, PORTO Novo; Librairie Notre-Dame, B.P. 307, COTONOU; Éts. Koudjo G. Joseph, B.P. 1530, COTONOU.
- BRÉSIL**: Fundação Getúlio Vargas, Serviço de Publicações, CP 9.052-ZC-05, Praia de Botafogo 188, RIO DE JANEIRO (RJ) 2000; Imagem Latinoamericana, Av. Paulista 750, 1.º andar, Caixa postal 30455, SÃO PAULO, CEP 01051.
- BULGARIE**: Hemus, Kantora Literatura, Boulevard Rousky 6, SOFIA.
- BURKINA FASO**: Librairie Attie, B.P. 64, OUGADOUGOU; Librairie catholique «Jeunesse d'Afrique», B.P. 1471, OUGADOUGOU.
- CAMEROUN**: Buma Kor & Co., Bilingual Bookshop, Mvog-Ada, B.P. 727, YAOUNDÉ; Commission nationale de la République du Cameroun pour l'Unesco, B.P. 1600, YAOUNDÉ; Librairie des Éditions Clé, B.P. 1501, YAOUNDÉ; Librairie Hermès Memento, Face CHU Melen, B.P. 2537, YAOUNDÉ; Centre de diffusion du livre camerounais, B.P. 338, DOUALA.
- CANADA**: Éditions Renouf Ltée, 1294 Algoma Road, OTTAWA, Ont. K1B 3W8. *Magasins*: 61, rue Sparks, OTTAWA, et 211, rue Yonge, TORONTO. *Bureau de ventes*: 7575 Trans Canada Hwy, Ste 305, SAINT LAURENT, Québec H4T 1V6.
- CAP-VERT**: Instituto Caboverdiano do Livro, Caixa postal 158, PRAIA.
- CHINE**: China National Publications Import and Export Corporation, P.O. Box 88, BEIJING.
- COMORES**: Librairie Masiwa, 4, rue Ahmed-Djoumoi, B.P. 124, MORONI.
- CONGO**: Commission nationale congolaise pour l'Unesco, B.P. 493, BRAZZAVILLE; Librairie Maison de la Presse, B.P. 2150, BRAZZAVILLE; Librairie populaire, B.P. 577, BRAZZAVILLE; Librairie Raoul, B.P. 100, BRAZZAVILLE.
- CÔTE D'IVOIRE**: Commission nationale ivoirienne pour l'Unesco, 01 B.P. V297, ABIDJAN 01; CEDA, 04 B.P. 541, ABIDJAN 04 PLATEAU.
- ÉGYPTE**: Unesco Publications Centre, 1 Talaat Harb Street, CAIRO.
- ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE**: UNIPUB, 4611-F Assembly Drive, LANHAM, MD 20706-4391; United Nations Bookshop, NEW YORK, NY 10017.
- FINLANDE**: Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 1, SF-00101 HELSINKI 10; Suomalainen Kirjakauppa Oy, Koivuvaarankuja 2, SF-01640 VANTAA 64.
- FRANCE**: Librairie de l'Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 PARIS. Grandes librairies universitaires.
- GABON**: Librairie Sogalivre, à LIBREVILLE, PORT-GENTIL et FRANCEVILLE; Librairie Hachette, B.P. 3923, LIBREVILLE.
- GRÈCE**: Eleftheroudakis, Nikkis Street 4, ATHÈNES; Librairie H. Kauffmann, 28, rue du Stade, ATHÈNES; Commission nationale hellénique pour l'Unesco, 3, rue Akadimias, ATHÈNES; John Mihalopoulos & Son S.A., 75 Hermou Street, P.O. Box 73, THESSALONIQUE.
- GUINÉE**: Commission nationale guinéenne pour l'Unesco, B.P. 964, CONAKRY.
- GUINÉE-BISSAU**: Instituto Nacional do Livro e do Disco, Conselho Nacional da Cultura, Avenida Domingos Ramos n.º 10-A, B.P. 104, BISSAU.
- HAÏTI**: Librairie La Pléiade, 83, rue des Mirades, B.P. 116, PORT-AU-PRINCE.
- HONGRIE**: Kultura-Buchimport-Abt., P.O.B. 149, H-1389 BUDAPEST 62.
- ITALIE**: LICOSA, via Benedetto Fortini 120/10 (ang. via Chiantigiana), 50125 FIRENZE, et via Bartolini 29, 20155 MILANO; FAO Bookshop, via delle Terme di Caracalla, 00100 ROMA; ILO Bookshop, Corso Unità d'Italia 125, TORINO.
- LIBAN**: Librairie Antoine A. Naufal et Frères, B.P. 656, BEYROUTH.
- LUXEMBOURG**: Librairie Paul Bruck, 22, Grande-Rue, LUXEMBOURG. *Périodiques*: Messageries Paul Kraus, B.P. 1022, LUXEMBOURG.
- MADAGASCAR**: Commission nationale de la République démocratique de Madagascar pour l'Unesco, B.P. 331, ANTANANARIVO.

- MALI: Librairie populaire du Mali, B.P. 28, BAMAKO.
- MAROC: Librairie «Aux Belles Images», 282, avenue Mohammed-V, RABAT; Librairie des écoles, 12, avenue Hassan-II, CASABLANCA; SOCHEPRESS, angle rues de Dinant et Saint-Saëns, B.P. 13683, CASABLANCA 05.
- MAURICE: Nalanda Co. Ltd, 30 Bourbon Street, PORT-LOUIS.
- MAURITANIE: GRALICOMA, 1, rue du Souk-X, Avenue Kennedy, NOUAKCHOTT; SONODI, B.P. 55, NOUAKCHOTT.
- MOZAMBIQUE: INLD, Avenida 24 de Julho, n° 1927, r/c, et n° 1921, 1° andar, MAPUTO.
- NÉPAL: Sajha Prakashan, Polchowk, KATHMANDU.
- NIGER: Librairie Mauclert, B.P. 868, NIAMEY.
- PAYS-BAS: Keesing Boeken B.V., Hogehilweg 13, P.O. Box 1118, 1000 BC AMSTERDAM. *Périodiques*: Faxon-Europe, Postbus 197, 1000 AD AMSTERDAM.
- POLOGNE: ORPAN-Import, Pałac Kultury, 00-901 WARSZAWA; Ars Polona-Ruch, Krakowskie Przedmiescie 7, 00-068 WARSZAWA.
- PORTUGAL: Dias & Andrade Ltda., Livraria Portugal, Rua do Carmo 70-74, 1117 LISBOA.
- RÉPUBLIQUE ARABE SYRIENNE: Librairie Sayegh, Immeuble Diab, rue du Parlement, B.P. 704, DAMAS.
- RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE ALLEMANDE: Buchexport, Postfach 160, Lenins-trasse 16, 7010 LEIPZIG.
- ROUMANIE: ARTEXIM Export-Import, Piata Stiintei, no. 1, P.O. Box 33-16, 70005 BUCUREȘTI.
- SÉNÉGAL: Unesco, BRED, 12, avenue Roume, B.P. 3311, DAKAR; Librairie Clairafrique, B.P. 2005, DAKAR; Librairie des Quatre-Vents, 91, rue Blanchot, B.P. 1820, DAKAR; Les Nouvelles Éditions Africaines, 10, rue Amadou Hassan Ndoye, B.P. 260, DAKAR.
- SUÈDE: A/B C.E. Fritzes Kungl. Hovbokhandel, Regeringsgatan 12, Box 16356, S-103 27 STOCKHOLM 16. *Périodiques*: Wennergren-Williams AB, Nordenflychtsvägen 70, S-104 25 STOCKHOLM; Esselte Tidskriftcentralen, Gamla Brogatan 26, Box 62, S-101 20 STOCKHOLM.
- SUISSE: Europa Verlag, Ramistrasse 5, CH-8024 ZÜRICH; Librairie des Nations Unies, Palais des Nations, CH-1211 GENEVE 10.
- TCHÉCOSLOVAQUIE: SNTL, Spalena 51, 113-02 PRAHA 1; Artia, V° Smečkáč 30, P.O. Box 790, 111-27 PRAHA 1. *Pour la Slovaquie seulement*: Alfa Verlag, Hurbanovo nám. 6, 893-31 BRATISLAVA.
- TOGO: Librairie évangélique, B.P. 378, LOMÉ; Librairie du Bon Pasteur, B.P. 1164, LOMÉ; Librairie universitaire, B.P. 3481, LOMÉ; Les Nouvelles Éditions Africaines, 239, boulevard Circulaire, B.P. 4862, LOMÉ.
- TUNISIE: Société tunisienne de diffusion, 5, avenue de Carthage, TUNIS.
- TURQUIE: Haset Kitapevi A.S., Istiklâl Caddesi no. 469, Posta Kutusu 219, Beyoğlu, İSTANBUL.
- URSS: Mezhdunarodnaja Kniga, ul. Dimitrova 39, Moskva 113095.
- YOUgoslavie: Nolit, Terazije 13/VIII, 11000 BEOGRAD; Cancarjeva Založba, Zopitarjeva 2, 61001 LJUBLJANA; Mladost, Ilica 30/11, ZAGREB.
- ZAÏRE: SOCEDI, 3440, avenue du Ring - Joli Parc, B.P. 165 69, KINSHASA.

Une liste complète des agents de vente dans tous les pays peut être obtenue en écrivant aux Presses de l'UNESCO, Service des ventes, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris, France.

#### Bons de livres de l'UNESCO

Utilisez les bons de livres de l'UNESCO pour acheter des ouvrages et des périodiques de caractère éducatif, scientifique ou culturel. Pour tout renseignement complémentaire, veuillez vous adresser au Service des bons de l'UNESCO, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris.