

Actions complémentaires de conservation

Adopter une stratégie complémentaire de conservation signifie recourir à un éventail de méthodes complémentaires, chacune étant adaptée à un volet spécifique du programme de conservation global, afin de parvenir à la conservation la plus efficace et la plus sûre à long terme (Sharrock et Engels, 1996).

Objectifs de ce chapitre

Comme nous l'expliquons souvent dans cet ouvrage, la conservation *in situ* est l'approche privilégiée en matière de conservation des ESAPC, car elle présente l'avantage spécifique de laisser les espèces cibles exposées de façon continue aux fluctuations d'un environnement naturel, ce qui permet de générer une nouvelle diversité. Cependant, cette exposition peut souvent menacer gravement l'existence même de ces espèces. C'est la raison pour laquelle les approches de conservation *in situ* doivent souvent être appuyées par des stratégies complémentaires de conservation pour plus de sécurité. Ces approches complémentaires de conservation présentent également l'avantage de faciliter l'accès des sélectionneurs au matériel génétique important pour l'amélioration des plantes cultivées. Un certain degré de conservation complémentaire doit être pratiqué pour assurer une conservation optimale des ESAPC. Ce serait dépasser la portée du présent manuel que de présenter une analyse approfondie des différentes approches complémentaires de conservation applicables aux ESAPC. Par ailleurs, ce chapitre a pour objet de fournir au lecteur un aperçu général des types d'approches et de techniques disponibles et d'expliquer comment celles-ci peuvent être utilisées en complément de la conservation *in situ*, faisant ainsi office de « filet de sécurité » pour la diversité génétique difficile à conserver *in situ* ou menacée à l'état sauvage. Ce chapitre souligne également le rôle potentiel des collections *ex situ* pour faciliter la récupération et la réintroduction de populations d'ESAPC *in situ*.

Introduction

La conservation *in situ* des ESAPC n'est pas suffisante à elle seule. Bien qu'elle soit essentielle pour maintenir l'évolution des espèces et permettre la création d'une diversité nouvelle par les processus de sélection naturelle, elle présente de nombreux inconvénients en termes de conservation, mais aussi d'utilisation des ESAPC pour l'amélioration des plantes cultivées (voir l'Encadré 12.1) (voir les synthèses de Maxted *et al.*, 1997a et d'Engels *et al.*, 2008). Bien que la conservation *in situ* soit un outil très efficace pour conserver les ESAPC afin qu'elles soient plus accessibles dans des programmes d'amélioration des plantes cultivées ou d'autres utilisations par l'homme et afin de garantir la conservation en toute sécurité du maximum de diversité génétique des espèces cibles, d'autres approches sont nécessaires. Il est important de compléter toute intervention *in situ* par une conservation *ex situ* dans des banques de gènes sous forme de semences, de pollen, de plantes vivantes (dans des banques de gènes *in situ* – également appelées « banques de gènes de terrain » - ou dans des jardins botaniques) ou de cultures tissulaires, ou par cryoconservation, en fonction des caractéristiques biologiques des espèces à conserver.

Comme expliqué dans le Chapitre 1, les ESAPC fournissent de plus en plus de nouveaux gènes pour l'amélioration des espèces cultivées (Hajjar et Hodgkin, 2007) lorsqu'elles sont facilement accessibles pour les sélectionneurs. Elles ont été largement utilisées comme sources de caractères génétiques utiles, tels que résistance aux maladies, tolérance aux stress abiotiques (température et sécheresse), amélioration du rendement et de la qualité. Compte tenu de l'impact prévisible du changement climatique sur la production agricole, les caractères liés à l'adaptation climatique, que les ESAPC ont davantage de chances de posséder, seront encore plus recherchés par les sélectionneurs. Par conséquent, la présence d'échantillons de secours d'ESAPC dans les collections *ex situ* pour faciliter l'accès à ces espèces et leur utilisation dans les programmes de sélection végétale est désormais une priorité. Pourtant, les espèces sauvages apparentées à certaines plantes cultivées sont encore sous-représentées dans les collections *ex situ*, bien que la collecte de ces espèces ait augmenté de 3 % ces dix dernières années, comme l'indique le dernier *Rapport sur l'État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* (FAO, 2010).

Encadré 12.1 Avantages et inconvénients de la conservation *in situ* et de la conservation *ex situ* des ESAPC

Avantages	Inconvénients
<p>Conservation <i>in situ</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Évite les problèmes de stockage associés aux banques de gènes <i>in situ</i> et aux semences récalcitrantes • Permet la poursuite de l'évolution liée à l'exposition aux ravageurs, aux maladies et aux autres facteurs environnementaux • Avantages indirects (maintien des services écosystémiques, notamment) • Utilisation durable par les populations locales 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite de grandes surfaces pour que la conservation soit efficace • Expose les populations naturelles à des catastrophes naturelles diverses (tempêtes, ouragans, cyclones) et d'autres menaces • Le matériel ne peut être utilisé facilement et il est difficile d'accès • Conflit possible de gestion avec des propriétaires fonciers (les ESAPC peuvent ne pas être jugées prioritaires) • Maintenance coûteuse
<p>Conservation <i>ex situ</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Préservation du matériel génétique menacé • Permet de conserver un grand nombre d'accessions dans un espace limité • Conservation d'un échantillon suffisamment représentatif des populations d'ESAPC • Accessibilité et échange de matériel génétique aisé ; promotion de l'utilisation • Facilite l'évaluation • Enregistrement aisé d'informations • Aucune exposition aux ravageurs, aux maladies ni aux autres menaces (hormis pour les collections <i>in situ</i> et les jardins botaniques) • Conservation indéfinie du matériel génétique • Meilleur rapport coût-efficacité que la conservation <i>in situ</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bloque le processus d'évolution • Difficulté d'assurer un échantillonnage adéquat (variabilité intraspécifique) • Une totale intégrité génétique ne peut être assurée du fait des erreurs humaines et de la pression de sélection au moment de la régénération • Seul un nombre limité d'accessions peut être conservé dans les banques de gènes <i>in situ</i> • Exposition aux catastrophes naturelles dans le cas des banques de gènes <i>in situ</i> • Variation somaclonale <i>in vitro</i>

Il convient de noter que la conservation *ex situ* de certaines ESAPC représente un défi majeur pour les responsables des banques de gènes, tant du point de vue technique qu'en termes de gestion. Souvent, les conditions de stockage définies essentiellement pour les principales espèces cultivées ne sont pas adaptées à certains de leurs parents sauvages, dont la conservation *ex situ* n'a guère fait l'objet de recherche. Certaines ESAPC peuvent présenter des problèmes de dormance ou, simplement, il peut être difficile de les faire germer, tandis que d'autres espèces peuvent avoir des semences récalcitrantes. En fait, le comportement au stockage des semences peut varier d'une espèce à l'autre, voire au sein d'une même espèce, et des semences de différentes provenances peuvent ne pas s'adapter aux conditions locales, dans le cas des collections *in situ*. Par exemple, parmi les espèces de *Coffea*, on observe différents comportements au stockage, allant du plus orthodoxe au plus récalcitrant. Lorsque la conservation *in vitro* ou la cryoconservation d'ESAPC spécifiques est envisagée, les protocoles requis ne sont pas toujours disponibles. Certaines ESAPC peuvent être plus faciles à stocker *ex situ* que les espèces cultivées (c'est le cas par exemple d'espèces séminifères de *Musa*). L'accès au matériel génétique des banques de gènes peut également être restreint par des politiques gouvernementales régissant l'échange du matériel génétique, par des droits de propriété, des réglementations relatives à l'accès et au partage des bénéfices ou encore par des réglementations phytosanitaires. De plus, les frais de maintenance d'une banque de gènes doivent être pris en considération, car cela peut être prohibitif dans de nombreux pays et le manque de financement à long terme peut alors mettre les collections en péril.

Qu'entendons-nous par stratégie complémentaire de conservation des ESAPC ?

Le concept de stratégie complémentaire de conservation des ESAPC implique la réalisation conjointe de différentes actions de conservation dont l'ensemble permet une utilisation durable optimale, aujourd'hui et demain, de la diversité génétique présente dans un pool génique cible (Dulloo *et al.*, 2005). Les stratégies complémentaires de conservation sont également appelées « stratégies intégrées » ou « stratégies holistiques », le principe étant que l'intégralité des options de conservation disponibles doit être envisagée et qu'une combinaison appropriée de ces options doit être appliquée au cas par cas (Falk et Holsinger, 1991 ; Given, 1994). Les deux principales approches en matière de conservation (*ex situ* et *in situ*) sont importantes pour la conservation et l'utilisation de la diversité génétique. D'autres actions menées en parallèle, telles que la réintroduction *inter situs* (voir plus loin), la migration assistée ou la colonisation assistée (voir le Chapitre 14) peuvent également être justifiées.

L'objectif ultime de la conservation du matériel génétique est son utilisation. Par conséquent, toute stratégie de conservation doit inclure des mécanismes garantissant également aux parties prenantes l'accès au matériel génétique. Une stratégie de conservation doit intégrer d'autres points essentiels, concernant notamment les cadres politiques et juridiques, l'enregistrement d'informations, les infrastructures et les réseaux ainsi que les aspects socio-économiques. Puisque les besoins des utilisateurs et les techniques de conservation sont susceptibles d'évoluer au fil du temps, une stratégie complémentaire de conservation doit être suffisamment flexible pour permettre la prise en compte de ces changements. Dulloo *et al.* (2005) ont proposé un cadre de référence pour l'élaboration d'une stratégie complémentaire de conservation en prenant comme exemple le cocotier. Le processus consiste tout d'abord à définir les options disponibles pour la conservation de l'espèce cible, en tenant compte de la faisabilité de sa conservation *in situ*, du comportement au stockage de ses semences, en déterminant si l'espèce peut ou non être conservée sous forme de semences, s'il existe des protocoles de conservation *in vitro* ou de cryoconservation, ou si l'espèce ne peut être conservée que sous forme de spécimens vivants dans des banques de gènes *in situ* ou des jardins botaniques, et enfin si des options telles que la translocation ou les réintroductions *inter situs* doivent être envisagées.

Le choix des actions complémentaires de conservation doit également tenir compte de l'utilisation que l'on envisage pour le matériel génétique conservé, des infrastructures, des ressources humaines, de l'espace disponible, de l'accessibilité, etc. Néanmoins, il ne faut pas perdre de vue que la conservation des ESAPC ne vise pas toujours à les rendre disponibles pour une utilisation immédiate. En fonction de ces éléments, de l'état de la connaissance et des options disponibles à ce jour, on peut élaborer un cadre pour une stratégie complémentaire de conservation. Ainsi, celle-ci peut être considérée comme une construction logique et pas uniquement comme un ensemble de méthodes de conservation appropriées. Le cadre peut être envisagé comme une série d'étapes (voir la Figure 12.1) et à chaque étape, des informations sont réunies, des mesures spécifiques et/ou des décisions sont prises. Il convient de consulter l'ensemble des parties prenantes pour élaborer la stratégie complémentaire de conservation (voir les Chapitres 4 et 5 pour une analyse détaillée de la façon d'impliquer ces dernières). Cela peut s'effectuer en établissant un réseau de parties prenantes modéré par un organisme chef de file. Le rôle de ce réseau ou comité serait ensuite de définir les objectifs principaux et les objectifs secondaires de la stratégie complémentaire de conservation. Ceux-ci peuvent notamment consister à constituer une collection de secours de la population *in situ*, à mettre en œuvre un programme de réintroduction/récupération, à mener des travaux de recherche, à utiliser l'espèce cible dans des programmes d'évaluation/de sélection, à sensibiliser le public à l'importance des ESAPC (voir le

Chapitre 16) ou à instruire /informer le public (voir le Chapitre 15). Pour chaque objectif particulier, les options disponibles pour la stratégie complémentaire de conservation doivent ensuite être examinées en termes de faisabilité, d'infrastructures nécessaires, de ressources humaines et de surface, de coûts, d'accessibilité et de risques associés. Les avantages et les inconvénients de chacune des options disponibles doivent être comparés afin de choisir la stratégie complémentaire de conservation à appliquer pour chaque objectif particulier.

L'étape suivante du processus consiste à vérifier qu'un cadre politique et réglementaire adapté est en place, afin de mettre en œuvre les options retenues pour la stratégie complémentaire de conservation. Cela implique une analyse et éventuellement des modifications de certains aspects juridiques relatifs à l'échange de matériel génétique et au partage des bénéfices. Il faut également tenir compte des sources de financement. Une fois ces questions résolues, un plan d'action stratégique peut être élaboré et mis en œuvre (étapes 6 et 7 de la Figure 12.1). À chaque étape, le réseau de parties prenantes doit être consulté avant de prendre les décisions nécessaires et d'assigner les responsabilités aux différents acteurs concernés.

Options de conservation *ex situ*

Cette section présente quelques directives techniques pour la création d'une collection *ex situ* et décrit brièvement les différentes options de conservation *ex situ*. Pour un aperçu général des méthodes complémentaires de conservation *ex situ*, voir Guerrant *et al.* (2004), Thormann *et al.* (2006) et Engels *et al.* (2008).

Lignes directrices pour la collecte de semences

La collecte de graines ou autres propagules est évidemment la première étape de la constitution d'une collection *ex situ*. Elle doit être soigneusement planifiée et préparée afin de maximiser la diversité génétique de la population. Cette section n'a pas pour objet de donner un aperçu détaillé de la collecte. Il existe un certain nombre d'excellents guides techniques consacrés à la planification et à la préparation de la collecte pour la conservation *ex situ* (Guarino *et al.*, 1995 ; Schmidt, 2000 ; Smith *et al.*, 2003 ; Guerrant *et al.*, 2004 ; ENSCONET (*European Native Seed Conservation Network* - Réseau pour la conservation des graines de plantes indigènes de l'Europe, 2009). Puisque les graines sont le matériel le plus facile et le plus susceptible d'être collecté et conservé, la plupart de ces guides leur sont principalement consacrés. Cependant, Guarino *et al.* (1995) formulent également des recommandations pour la collecte du matériel génétique à multiplication végétative (voir leurs chapitres 21 et 22). Ils présentent également des recommandations concernant la collecte de matériel *in vitro* et de pollen

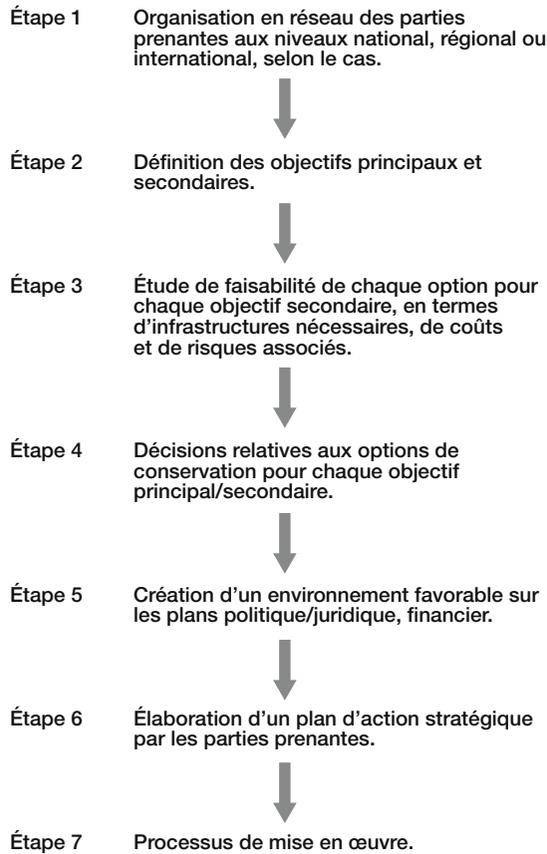


Figure 12.1 Cadre de référence pour l'élaboration d'une stratégie complémentaire de conservation

(voir leurs chapitres 24 et 25). De plus, de nombreuses informations sont accessibles et téléchargeables sur Internet. Par exemple, d'excellents manuels de terrain et synthèses sur la collecte des semences peuvent être téléchargés sur le site du Projet de la génothèque du millénaire (*Millennium Seed Bank Project*)¹. Un documentaire de Ken Street sur la collecte de pois-chiches sauvages peut être visionné sur : <http://www.seedhunter.com/> ; il offre un excellent aperçu des réalités pratiques que recouvre la collecte à des fins de conservation de la biodiversité.

Il peut être souhaitable de cibler les sites de collecte qui recèlent le plus grand nombre d'espèces et la plus grande diversité génétique. L'utilisation d'outils de prévision (tels que FloraMap, DIVA-GIS [Hijmans *et al.*, 2001]) basés sur des systèmes d'information géographique (SIG) peut permettre d'identifier ces sites de collecte potentiels (voir le Chapitre 8). Guarino *et al.* (2001) ont présenté une analyse générale de l'application des modèles

de répartition d'espèces à la conservation et à l'utilisation des ressources phytogénétiques. De nombreuses méthodes basées sur les SIG utilisent les variables climatiques comme principaux facteurs expliquant la répartition géographique et peuvent être utilisées pour identifier les sites présentant une importante diversité d'espèces. Par exemple, Hijmans et Spooner (2001) ont utilisé le logiciel DIVA-GIS pour décrire la répartition géographique des espèces sauvages apparentées à la pomme de terre et ont identifié le Pérou comme pays abritant un grand nombre de celles-ci, notamment des espèces sauvages rares. Leur étude a également permis d'identifier les zones présentant une grande richesse spécifique, ce qui a facilité les projets de réserves de conservation *in situ* destinés à protéger ces espèces. Un autre exemple intéressant est l'étude de Jarvis *et al.* (2005), dans laquelle un SIG a été utilisé pour optimiser une mission de collecte d'une espèce sauvage rare de piment (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) au Paraguay. Cette espèce a été observée sur cinq des sept sites d'implantation potentiels identifiés par le SIG et n'a pas été observée sur quatre des cinq sites où le SIG prédisait leur absence. Ces approches permettent d'effectuer la collecte du matériel génétique de façon bien plus systématique et efficace.

Le site GapAnalysis, <http://gisweb.ciat.cgiar.org/GapAnalysis/>, développé par Bioversity International, l'Institut international de recherches sur le riz (IRRI) et le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) est un outil utile pour permettre aux récolteurs de cibler les zones qui présentent les caractéristiques voulues et les taxons qui sont sous-représentés dans les collections *ex situ*. Une méthodologie détaillée pour effectuer une analyse des lacunes (*gap analysis*) dans les collections d'ESAPC est présentée sur : <http://gisweb.ciat.cgiar.org/GapAnalysis/?p=139>.

Par ailleurs, Maxted *et al.* (2008) utilisent une méthode basée sur l'analyse des lacunes pour identifier les zones à conserver, tenant compte des caractéristiques écogéographiques du taxon cible, ainsi que des éléments de la diversité représentés grâce aux actions de conservation *in situ* et *ex situ* existantes. Cette méthodologie est appliquée à titre d'exemple à l'espèce africaine *Vigna*.

Dans le cadre de ce manuel, certaines des activités clés à mettre en œuvre lors de la collecte des échantillons consistent notamment à :

- Réunir des informations sur l'espèce à collecter, de façon à élaborer la stratégie de conservation *ex situ*. Ces informations doivent comprendre des données sur le comportement au stockage des semences, la phénologie (floraison et fructification) et le mode de reproduction de l'espèce, ainsi que des informations écogéographiques (nomenclature botanique, synonymes, sites historiquement occupés et ensemble de données le plus complet possible constitué à partir des herbiers locaux et régionaux). Ces points sont abordés de façon plus détaillée au Chapitre 8.

- Établir des liens avec les parties prenantes et les organiser en réseau.
- Effectuer une analyse des lacunes pour identifier les populations où doivent être effectuées des collectes en priorité, en raison des menaces qui pèsent sur ces populations, mais aussi pour identifier les zones riches en diversité.
- Obtenir l'autorisation de collecte nécessaire. La collecte doit être effectuée dans le respect des lois et réglementations nationales et internationales.
- Concevoir une stratégie d'échantillonnage de façon à ce que les échantillons collectés soient les plus représentatifs possible de la diversité génétique (nombre de plants à échantillonner, notamment). Selon ENSCONET (2009), il est recommandé d'effectuer la collecte parmi cinq populations dans toute l'aire de répartition de l'espèce et, dans la mesure du possible, sur au moins 50 plants (de préférence 200 plants) par population, ces chiffres étant fournis uniquement à titre indicatif. Le nombre effectif de plants à collecter peut dépendre des conditions locales et le récolteur doit faire appel à son bon sens, de façon à ce que le maximum de diversité génétique puisse être collecté sans mettre en danger la population. Un autre aspect à prendre en compte concerne l'utilisation qui sera faite du matériel (échantillon de secours pour le long terme ou matériel qui servira à une réintroduction, par exemple). Voir également les lignes directrices de l'UICN relatives à la collecte des plantes dans la nature.
- Collecter les graines et autres matériels sur le terrain, y compris un spécimen qui sera conservé en herbier pour vérifier l'identité taxonomique des plantes observées. Cette étape est importante car très souvent, des graines d'espèces inconnues sont collectées et restent pendant très longtemps dans les collections sans pouvoir être identifiées. Leur valeur et leur utilité sont dans ce cas très limitées (voir Miller et Nyberg, 1995).

Les recommandations relatives à la manipulation des graines sur le terrain sont notamment les suivantes :

- Si possible, les graines doivent être extraites des fruits et prélavées.
- Pour être transportées en toute sécurité, les semences doivent être placées dans un sac en papier, une enveloppe ou un sac en toile.
- S'il est prévu que le transport jusqu'à la banque de gènes dure longtemps, il est recommandé de sécher les graines sur du gel de silice ou tout autre déshydratant adapté, dans des récipients en plastique.
- Éviter d'exposer les graines à la lumière directe du soleil et à un taux d'humidité élevé (notamment la nuit).

Pour plus de détails, voir Smith, 1995 ; Schmidt, 2000 (voir les sections 3 à 5) ; Smith *et al.*, 2003 (voir la section 1) ; et ENSCONET, 2009.

Méthodes de conservation *ex situ*

L'Encadré 12.2 récapitule les différentes méthodes de conservation *ex situ* existantes.

Encadré 12.2 Méthodes de conservation *ex situ*

Banques de semences : Cette méthode consiste à sécher les graines jusqu'à atteindre un faible taux d'humidité (généralement entre 3 et 7 %) puis à les stocker dans des récipients étanches à basse température (4°C pour une conservation à court terme et -20°C pour une conservation à long terme, FAO et IPGRI, 1994). Seuls les taxons ayant des semences orthodoxes capables de supporter un séchage pour atteindre une faible teneur en humidité et de résister aux basses températures peuvent être conservés dans des banques de semences.

Banques de gènes *in situ* : Cette méthode consiste à cultiver des plantes vivantes dans un champ ou, très souvent, en pots, sous abri ou en serre. Les banques de gènes *in situ* facilitent l'accès au matériel végétal en vue de sa caractérisation, de son évaluation et de son utilisation ultérieure, mais sont souvent difficiles et coûteuses à entretenir, nécessitent beaucoup de temps et de main-d'œuvre, sont vulnérables face aux conditions climatiques, risquent de se mêler aux plantes voisines, de s'hybrider et ne permettent de conserver qu'une quantité limitée de matériel génétique faute d'espace suffisant.

Jardins botaniques : Cette méthode consiste à maintenir un nombre (généralement) limité de plantes vivantes dans les collections et les espaces des jardins et à cultiver de nombreux échantillons sur des parcelles ou en serre à titre de collections de conservation ou de collections temporaires destinées à des expériences de réintroduction. De nombreux jardins botaniques se consacrent essentiellement à la culture de plantes d'origine sauvage (ESAPC, notamment). Ils assurent également une fonction importante en termes de sensibilisation et d'information du public.

Culture tissulaire : Cette méthode consiste à maintenir des explants dans un environnement stérile, à l'abri des organismes pathogènes, dans un milieu nutritif synthétique. Il existe différentes méthodes de conservation *in vitro* : (1) la conservation en croissance ralentie, dans des conditions environnementales et/ou de milieu de culture limitantes ; (2) la technique des

semences artificielles, qui vise à utiliser des embryons somatiques comme des semences véritables en les encapsulant dans un gel d'alginate, puis à les stocker après une déshydratation partielle et à les semer directement en pleine terre.

Cryoconservation : Cette méthode consiste à stocker divers tissus vivants (suspensions de cellules, cals, méristèmes apicaux, embryons et même semences entières) à des températures extrêmement basses (généralement à -196°C dans de l'azote liquide), auxquelles le métabolisme cellulaire est interrompu. Le matériel végétal doit pouvoir survivre aux procédés de congélation (avant le stockage) et de décongélation (après le stockage). Il existe de nombreuses techniques de cryoconservation, notamment la congélation lente contrôlée, la vitrification, l'encapsulation-déshydratation, l'encapsulation-vitrification, la conservation de bourgeons dormants, la préculture-déshydratation et la congélation sous forme de gouttelettes (*droplet-freezing*).

Stockage du pollen : Le pollen peut être stocké de la même façon que celle décrite ci-dessus pour les semences. Le stockage du pollen est une méthode de conservation des ressources génétiques qui convient aux essences pérennes d'arbres fruitiers ou forestiers. La viabilité du pollen est relativement courte lorsqu'il est conservé dans des conditions de stockage classiques (déshydratation partielle suivie d'un stockage à des températures inférieures à 0°C) et son utilité à des fins de conservation du matériel génétique est donc limitée.

Les banques de semences

Très peu de banques de semences sont dédiées aux espèces sauvages telles que les ESAPC (Heywood, 2009). La première a été créée en 1966 : il s'agit de la banque de semences de l'université polytechnique de Madrid (*Banco de Germoplasma Vegetal de la Universidad Politécnica de Madrid*, BGV-UPM, anciennement ETSIA-UPM), consacrée aux espèces espagnoles indigènes et créée par feu le Pr C. Gomez Campo ; elle contient aujourd'hui des échantillons de 350 espèces et sous-espèces menacées d'Espagne, soit près d'un quart de la flore menacée du pays. Une exception encore plus notable est la génothèque du millénaire (*Millennium Seed Bank*, MSB) des Jardins botaniques royaux de Wakehurst Place, à Kew (Royaume-Uni), dont l'objectif était d'abriter, d'ici 2010, 10 % des plantes à graines du monde, principalement en provenance des zones arides. Récemment, la MSB a célébré la réalisation de cet objectif avec la collecte en Chine de *Musa itinerans*, une espèce sauvage apparentée au bananier et susceptible de fournir le matériel génétique nécessaire à la sélection de nouvelles variétés résistantes aux maladies. Le Centre national pour la préservation des ressources génétiques

(*National Centre for Genetic Resources Preservation, NCGRP*) du Département de l'Agriculture des États-Unis, installé à Fort Collins (Colorado), a également pour objectif la préservation systématique d'une collection nationale de ressources génétiques comprenant de nombreuses ESAPC.

La représentation des ESAPC dans les banques de semences agricoles est très inégale et les accessions sont souvent très limitées et collectées de façon accessoire plutôt que selon une stratégie organisée. Le second Rapport sur l'État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde (FAO, 2010) indique que les espèces sauvages représentent 10 % du matériel génétique conservé dans le monde, les plantes fourragères et industrielles constituant une part relativement élevée des ESAPC. Cependant, Maxted et Kell (2009) soulignent que les ESAPC représentent entre 2 et 6 % seulement des collections *ex situ* des banques de gènes dans le monde et que seuls 6 % environ de l'ensemble des ESAPC ont des accessions conservées *ex situ*. L'écart entre ces chiffres peut également être lié à la façon dont on définit les ESAPC.

Plus de 200 jardins botaniques dans le monde possèdent également des banques de semences (Laliberté, 1997 ; BGCI, 1998), allant d'un nombre limité d'accessions stockées dans un congélateur domestique ou commercial à des installations de grande envergure construites sur mesure, telles que la Banque de matériel génétique de l'Agence pour l'environnement d'Andalousie (*Banco de Germoplasma Vegetal Andaluz de la Consejería andaluza de Medio Ambiente*), implantée au Jardin botanique de Cordoue (Espagne) ; elle contient plus de 7 000 accessions ou propagules (semences, essentiellement) de plus de 1 500 espèces de plantes d'Andalousie différentes et d'environ 500 autres espèces endémiques d'Espagne. Le complexe du Centre de formation Fletcher Jones pour la préservation de la biodiversité (*Fletcher Jones Education Centre for the Preservation of Biodiversity*) à Rancho Santa Ana (Californie) comprend des installations d'entreposage frigorifique des semences, des chambres de culture à atmosphère contrôlée qui facilitent les études et la recherche universitaire sur la germination, des équipements de traitement des semences et un vaste laboratoire.

Il existe une abondante littérature scientifique présentant l'état de l'art actuel en matière de conservation *ex situ* des semences. Les principales sources d'informations sont notamment : Engels et Wood (1999) ; Hawkes *et al.* (2000) ; Engels et Visser (2003) ; Smith *et al.* (2003) ; Rao *et al.* (2006a) ; Thormann *et al.* (2006) ; et Engels *et al.* (2008). Un module interactif d'auto-apprentissage pour la manutention des semences dans les banques de gènes a été mis au point par *Bioversity International* afin d'aider les techniciens à traiter et à préparer les semences en vue de leur conservation (http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/flash/seed_handling_elearning_module/index.htm). Par ailleurs, les fiches techniques de la MSB

(<http://www.kew.org/science-research-data/kew-in-depth/msbp/publications-data-resources/technical-resources/technical-information-sheets/index.htm>) contiennent des informations utiles pour la conservation *ex situ* des ESAPC.

Les banques de gènes *in situ*

Pour de nombreuses espèces qui ne produisent pas de graines (à propagation clonale) ou dont les semences sont sensibles à la déshydratation ou aux basses températures (cacaoyer, hévéa, palmier à huile, caféier, bananier et cocotier, par exemple) les banques de gènes *in situ* sont la meilleure méthode de conservation. Par exemple, à Madagascar, les espèces sauvages apparentées au caféier sont conservées dans une vaste banque de gènes *in situ* située à Kianjavato et dont l'origine remonte au début des années 1960 ; en 2009, la collection contenait 171 accessions (Dulloo *et al.*, 2009). L'un des avantages des banques de gènes *in situ* est que le matériel peut être facilement caractérisé et évalué. Par exemple, un projet sur des arbres fruitiers tropicaux aux Philippines a conduit à la création de collections *in situ* d'espèces sauvages apparentées à quatre arbres fruitiers tropicaux : le durion (*Durio zibethinus* Murray), le mangoustan (*Garcinia mangostana* L.), le jacquier (*Artocarpus heterophyllus* L.) et le noyer de pili (*Canarium ovatum* Engl.). Le matériel génétique collecté a été caractérisé et évalué et deux nouvelles variétés commerciales (une variété de jacquier officiellement appelée *Baybay Sweet* et une accession de mangoustan appelée *UPLB Sweet*) ont ainsi été autorisées et déposées auprès du Conseil national de l'industrie semencière des Philippines (*National Seed Industry Council*, NSIC) et sont actuellement commercialisées.

Les principales sources d'informations concernant la gestion des collections *in situ* comprennent notamment Engelmann, 1999 ; Hawkes *et al.*, 2000 ; Reed *et al.*, 2004 ; et Thormann *et al.*, 2006.

Collections de plantes vivantes des jardins botaniques

Historiquement, les jardins botaniques ont joué un rôle central dans la collecte et l'échange de semences et autres propagules avec leurs homologues (Heywood, 2009). La contribution des jardins botaniques tels que ceux de Bogor, d'Howrah (Calcutta), de Pamplémousses (Île Maurice) et de Singapour à l'introduction et au développement des cultures de plantations (théier, palmier à huile, hévéa, café et diverses épices, par exemple) est pleinement reconnue (Heywood, 1991). Les jardins botaniques sont désormais bien plus impliqués dans la conservation des ressources phytogénétiques - en particulier pour les espèces non-cultivées, médicinales et sauvages - mettant l'accent sur les espèces rares et en danger (Du Puy et Wyse Jackson, 1995 ; Maunder *et al.*, 2004). Par exemple, le Jardin botanique royal (*Royal Botanic Garden*) d'Édimbourg (Royaume-Uni) a mis sur pied en 1991 un programme international de conservation des conifères (*International Conifer Conservation*

Programme), a participé à des activités visant à évaluer l'état de conservation des conifères en danger et a élaboré pour l'UICN un Plan d'action pour les conifères (*Conifer Action Plan*). Le Jardin botanique d'Édimbourg a également mené des activités de recherche appliquée sur les conifères et constitué un réseau de sites *in situ* et *ex situ* en vue de protéger les espèces menacées.

Le rôle des jardins botaniques dans la conservation a souvent donné lieu à de vives polémiques. Étant donné qu'ils disposent d'un espace restreint, le nombre d'accessions de chaque espèce est limité et par conséquent, la valeur des jardins botaniques pour la conservation de la diversité génétique est souvent remise en question. Il a cependant été démontré que pour les espèces rares, les collections des jardins botaniques permettent de conserver une plus grande diversité génétique que dans des populations sauvages et peuvent être utilisées pour accroître la diversité génétique de ces dernières. Comme exemple, on peut citer *Brighamia insignis* A. Gray, une espèce endémique de Hawaï qui n'est représentée que par 20 individus à l'état sauvage alors qu'elle est abondamment cultivée dans les jardins botaniques. Par une analyse isoenzymatique, Gemmill *et al.* (1998) ont pu démontrer que les collections du Jardin botanique tropical national (*National Tropical Botanic Garden*, NTBG) de Hawaï étaient représentatives de la diversité observée à l'état sauvage et pouvaient par conséquent servir de réservoirs pour accroître les populations naturelles. Les jardins botaniques possèdent également un savoir-faire considérable en matière d'horticulture, qui peut être mis à profit dans la reproduction d'espèces rares, en vue de leur réintroduction dans le milieu naturel. Un exemple d'utilisation des jardins botaniques à des fins de conservation *ex situ* au Sri Lanka est présenté dans l'Encadré 12.3.

Culture tissulaire

Les problèmes associés aux banques de gènes *in situ* décrits ci-dessus ont fortement stimulé la recherche visant à mettre au point d'autres solutions techniques, notamment les techniques de culture *in vitro* ou de culture tissulaire dans le cas des semences récalcitrantes et des espèces à multiplication végétative (voir l'Encadré 12.2). Pour la conservation par culture tissulaire il est nécessaire en premier lieu de disposer d'un personnel qualifié et de laboratoires suffisamment équipés (voir Reed *et al.*, 2004, pour les besoins en équipement d'un laboratoire de culture tissulaire végétale). Comme exemples de conservation *in vitro* d'espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées, on peut citer la Collection mondiale du matériel génétique de l'espèce *Musa* (*Global Musa Germplasm Collection*), gérée par le Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP)/Bioversity et hébergée par l'université de Leuven (*Katholieke Universiteit Leuven*, KULeuven, Belgique). La collection contient près de 1 200 accessions, ce qui en fait le seul lieu de conservation centralisant une grande partie du pool de gènes connu. Les espèces sauvages de *Musa* représentent environ 15 % de la collection (INIBAP, 2006). Autres exemples de collections basées sur la culture tissulaire

et contenant des ESAPC : la collection du CIAT dédiée au manioc, la collection du Centre international de la pomme de terre (CIP) au Pérou et la collection du Centre national pour la préservation des ressources génétiques (*National Centre for Genetic Resources Preservation, NCGRP*) dépendant du Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA) dédiée aux pommiers sauvages.

Encadré 12.3 Initiatives de conservation *ex situ* dans les jardins botaniques du Sri Lanka

Parmi les Jardins botaniques nationaux (*National Botanic Gardens, NBG*) figurent les Jardins botaniques royaux (*Royal Botanic Gardens, RBG*) de Peradeniya, Hakgala, Gampaha (Henerathgoda), Sitawake (Awissawella) et Mirijjawila (district de Hambantota), qui couvrent l'ensemble des grandes zones climatiques. Les jardins de plantes médicinales de Ganewatte (23 ha), dans la Province du nord-ouest, et le « Complexe pour la biodiversité » (*Biodiversity Complex*) de Gampola sont également rattachés au NBG. Le RBG de Peradeniya s'étend sur 59 ha, sur lesquels sont cultivées plus de 4 000 espèces. Il est chargé de la conservation *ex situ* et a été le pionnier de la floriculture au Sri Lanka. Cependant, seule une partie des espèces actuellement présentes dans les jardins botaniques sont des espèces endémiques du Sri Lanka mais, pour des raisons historiques, le rôle de ces institutions en tant que réservoirs de la biodiversité indigène n'est pas suffisamment reconnu. Récemment, cette tendance s'est quelque peu inversée : le RBG abrite désormais 1 471 spécimens d'espèces locales, tandis que l'herbier des jardins botaniques de Hakgala, de création plus récente, compte environ 2 000 espèces locales. L'un des principaux objectifs du NBG est de concevoir des technologies permettant l'exploitation de plantes moins connues et sous-utilisées ainsi que de développer les cultures ornementales et d'agrément. Plusieurs jardins de plantes médicinales se situent dans la zone humide du Sri Lanka (à Navinna et Meegoda, par exemple). Le Jardin ayurvédique de Navinna abrite quelque 200 espèces de plantes médicinales, représentées par plus de 1 500 spécimens.

Source : 4e Rapport national du Sri Lanka à la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique, 2009

Cryoconservation

La cryoconservation est l'une des méthodes de conservation à long terme les plus prometteuses. L'un de ses principaux avantages est son exigence très réduite en espace par rapport à la conservation *in vitro* et aux banques de gènes *in situ*. C'est également la méthode de conservation à long terme la plus rentable, car elle ne nécessite que très peu de maintenance (Dulloo *et al.*, 2009). Le travail se limite essentiellement à recharger les

conteneurs en azote liquide, car la cryoconservation évite d'avoir à réaliser des cultures successives comme dans le cas de la conservation *in vitro*. Néanmoins, comme pour les techniques de culture *in vitro*, les protocoles de cryoconservation doivent être adaptés à chaque espèce – un facteur qui limite l'application de cette technique à un large panel d'ESAPC. À ce jour, on ne peut affirmer qu'il existe véritablement une cryocollection dédiée aux ESAPC. Kew a élaboré des protocoles de cryoconservation pour certaines plantes sauvages, en particulier des fougères, des mousses, des orchidées, des arbustes et des plantes herbacées (voir : <http://www.kew.org/science-research-data/kew-in-depth/msbp/publications-data-resources/technical-resources/index.htm>).

La recherche sur la cryoconservation a beaucoup progressé et des protocoles de cryoconservation sont aujourd'hui disponibles pour plus de 200 espèces végétales (Engelmann et Takagi, 2000 ; Engelmann, 2004). Des travaux de recherche sur les ESAPC menés en Australie ont permis d'élaborer des protocoles de cryoconservation pour le papayer (*Carica papaya*) et une espèce sauvage apparentée *Vasconcellea pubescens* (Ashmore *et al.*, 2007), ainsi que pour certaines espèces d'agrumes (Hamilton *et al.*, 2005, 2008). Pour un aperçu des différentes techniques de cryoconservation, voir également Engelmann (2000), Thormann *et al.* (2006) et Reed (2008). Ce dernier ouvrage contient un guide pratique de la cryoconservation des plantes et fournit des instructions, étape par étape, pour appliquer la technique de la cryoconservation à la conservation de plantes d'intérêt majeur.

Stockage du pollen

Le pollen est un autre matériel végétal qui peut être stocké et utilisé comme moyen de conservation des ressources génétiques, notamment dans le cas des essences pérennes d'arbres fruitiers et forestiers, et peut présenter un grand intérêt pour les ESAPC. Le stockage du pollen est, en particulier, couramment utilisé par les sélectionneurs pour produire des haploïdes dans le cadre des programmes de sélection, pour faire la soudure entre les périodes de floraison des plants mâles et femelles et pour améliorer la nouaison dans les vergers (Towill, 1985 ; Alexander et Ganeshan, 1993). Par exemple, le pollen du caféier est principalement utilisé à des fins de sélection végétale, car il faut parfois effectuer des croisements entre des arbres qui ne fleurissent pas en même temps ou qui sont physiquement très éloignés les uns des autres (Walyaro et van der Vossen, 1977). La collecte et le stockage du pollen pourraient permettre d'obtenir un échantillon plus représentatif de la diversité génétique des populations sauvages (Panella *et al.*, 2009). Pour cette seule raison, le pollen peut constituer un moyen efficace de conservation, mais aussi d'utilisation des ESAPC dans le cadre des activités de sélection.

Le pollen est également utilisé pour répartir et échanger le matériel génétique entre plusieurs sites, puisque la transmission des ravageurs et

des maladies par le pollen est rare (hormis pour certaines maladies virales) et soumise à des obligations de quarantaine moins strictes. Les autres utilisations du pollen sont la conservation des gènes nucléaires du matériel génétique, l'étude de la physiologie, de la biochimie et de la fertilité et les études de biotechnologie sur l'expression génique, la transformation et la fécondation *in vitro* (Towill et Walters, 2000).

Le stockage du pollen présente également plusieurs inconvénients. De nombreuses espèces produisent des quantités de pollen insuffisantes pour assurer l'efficacité de la collecte et du traitement. Du fait de sa viabilité limitée, le pollen doit être renouvelé à intervalles réguliers. C'est pourquoi la conservation du pollen n'est effectuée qu'en complément d'autres approches : des semences ou des clones doivent également être conservé(e)s pour produire du pollen. Les cultures successives s'accompagnent d'un risque d'anomalies génétiques dans les populations (perte d'allèles consécutive à une dérive génétique ou ségrégation de complexes adaptatifs, par exemple). Seul le matériel issu du parent mâle est conservé et régénéré, et pour utiliser ce matériel génétique, un plant femelle receveur doit toujours être disponible pour la fécondation.

Utilisation de collections *ex situ* pour la récupération et la réintroduction de populations d'ESAPC

Les populations sauvages d'ESAPC sont souvent si appauvries génétiquement qu'elles sont menacées d'extinction, du fait de la dégradation des habitats ou d'autres menaces. La conservation *in situ* de ces populations nécessiterait de concevoir un plan de récupération et des mesures actives afin de reconstituer ces populations. Il est essentiel que la population sauvage possède une base génétique solide pour garantir sa survie à long terme, compte tenu de l'évolution rapide des conditions environnementales (changement climatique, notamment).

Les collections *ex situ* peuvent être utilisées principalement de deux façons différentes dans le cadre des programmes de récupération :

1. Pour réintroduire une espèce qui a disparu de son site d'origine. Bien que l'espèce ait pu s'éteindre sur l'un des sites qu'elle occupait, si par le passé des accessions ont été collectées sur ce même site et conservées dans des banques de gènes ou des jardins botaniques, ces accessions peuvent fournir le matériel nécessaire à la restauration de l'espèce. Cependant, la réintroduction dans le milieu naturel de matériel conservé *ex situ* peut être une opération complexe et doit

être entreprise avec une extrême prudence. Il faut s'assurer que le matériel ou les accessions introduit(es) est/sont réellement originaires du site, que les plants sont exempts de maladies, que leur diversité génétique est suffisante pour garantir la survie de l'espèce, etc. Pour aider les spécialistes de la conservation à étudier les conséquences de la réintroduction et à prendre en compte tous les facteurs importants, le Groupe de spécialistes de la réintroduction de la Commission de la survie des espèces (CSE) de l'UICN a élaboré des lignes directrices relatives aux réintroductions (Commission de sauvegarde des espèces (*Species Survival Commission*, SCC) de l'UICN, 1995). Celles-ci s'appliquent à la fois aux espèces animales et végétales et sont par conséquent assez générales. Les Lignes directrices techniques de l'UICN en matière de gestion des populations *ex situ* à des fins de conservation (UICN, 2002) soulignent également l'intérêt croissant de la conservation *ex situ* pour la conservation *in situ* des écosystèmes et des habitats. Le manuel sur la réintroduction des plantes dans le milieu naturel à l'attention des jardins botaniques (*A handbook for botanic gardens on the reintroduction of plants to the wild*, Akeroyd et Wyse Jackson, 1995) publié par BGCi contient des lignes directrices spécifiques aux espèces végétales, formule à l'attention des responsables de jardins botaniques des recommandations concernant la réintroduction dans la nature de matériel végétal issu des jardins botaniques et étudie les enjeux de la réintroduction ainsi que les difficultés rencontrées durant ce processus.

2. Les collections *ex situ* peuvent être utilisées dans une démarche de plantation d'enrichissement ou pour un renforcement ou une complémentation si la population est menacée ou ne se régénère pas dans son milieu naturel. Du matériel végétal neuf peut être obtenu à partir des collections *ex situ* et planté pour renforcer la population sur le site. Là encore, ces pratiques nécessitent certaines précautions, de façon à ne pas perturber ni menacer l'intégrité génétique de la population naturelle. Dans le cadre des programmes de récupération, il est important de tenir compte de la provenance du matériel végétal et de préserver la variabilité génétique du matériel utilisé pour la réintroduction (UICN/SCC 1995 ; UICN, 2002 ; Guarrant *et al.*, 2004 ; Kell *et al.*, 2008).

Dans les deux cas, il faut veiller à ce que le matériel introduit provienne du site cible ou d'un site aussi proche que possible de celui-ci, pour garantir l'intégrité génétique de la population. Par ailleurs, il est très probable que le matériel collecté sur le site soit adapté aux conditions locales, augmentant ainsi les chances de réussite de la réintroduction. Cependant, il arrive souvent que ce type de matériel ne soit pas disponible. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser un matériel végétal provenant de sites présentant les mêmes caractéristiques écogéographiques que le site cible.

D'un point de vue pratique, lorsqu'il est nécessaire de se servir de collections *ex situ* pour des interventions *in situ*, les étapes suivantes doivent être suivies et intégrées au plan de récupération :

1. **Évaluation du site** – un examen soigneux du site doit être effectué, en consignnant les informations relatives non seulement à l'état de la population cible (taille de la population de l'espèce cible, profil de distribution sur le site, plantes concurrentes, associées, espèces pollinisatrices, agents de dispersion et prédateurs, notamment), mais également aux éventuelles menaces affectant la population. Ces dernières doivent être maîtrisées avant toute réintroduction de l'espèce. L'évaluation du site doit permettre de définir la stratégie de repiquage à adopter en termes de densité ; mode de repiquage ; méthode de revégétalisation nécessaire - voir ci-dessous, etc.).
2. **Méthode de revégétalisation** – Il existe un certain nombre de méthodes de revégétalisation utilisables pour réintroduire l'espèce dans son milieu naturel : semis direct, repiquage en utilisant des jeunes plants à racines nues ou en pots ou repiquage avec cultures de couverture.
3. **Identification du matériel source** – La source du matériel issu d'une collection *ex situ* doit être choisie avec grand soin. Il faut sélectionner les accessions provenant du même site, ou d'un site aussi proche que possible du site cible.
4. **Échantillonnage garantissant la diversité génétique** – Il faut prélever des échantillons des accessions de la banque de gènes pour qu'ils soient les plus représentatifs de la diversité génétique des accessions. Il est recommandé d'échantillonner les semences à partir du plus grand nombre d'accessions possible.
5. **Propagation du matériel** – La multiplication du matériel végétal (semences ou boutures) doit s'effectuer en pépinière en tenant compte de la dormance et des difficultés de germination. Un même nombre de plants doit être cultivé à partir de chaque accession pour obtenir le nombre de plants nécessaire au repiquage. Il est important d'étiqueter clairement tous les plants en précisant leur nom scientifique, leur nom courant, et leur numéro d'accession à des fins de suivi à long terme.
6. **Préparation du site et repiquage** – Le succès de la réintroduction suppose une préparation adéquate du site. Comme nous l'avons mentionné plus haut, en présence de facteurs de compétition (plantes exotiques concurrentes, prédateurs) susceptibles d'affecter la régénération des plants, il faut lutter contre les espèces concurrentes ou les prédateurs avant le repiquage. Les méthodes à employer vont

du simple arrachage des plantes concurrentes à des traitements plus sophistiqués utilisant des agents de lutte chimiques ou biologiques, selon la nature du problème.

7. **Traitement post-repiquage** – Une fois repiquées, les plantules doivent être suivies et des mesures doivent être prises pour assurer leur survie. Celles-ci peuvent comprendre le paillage et la lutte contre les plantes adventices, effectuée soit manuellement soit à l'aide d'herbicides. Si les plantules meurent, elles doivent être remplacées en utilisant des plantes de pépinière. Il est important de continuer à maintenir les plantes de pépinière correspondant aux accessions *ex situ* pour pouvoir remplacer les plants repiqués dans le milieu naturel.

Conservation *inter situs* et autres approches de conservation

Outre les stratégies de conservation *in situ* et *ex situ*, un certain nombre d'autres approches ont été développées récemment, dont certaines rendent floue la distinction entre conservation *ex situ* et conservation *in situ*. Pour les essences forestières, par exemple, on a introduit le concept de « banque de gènes forestière » (Shaanker *et al.*, 2002) : il s'agit d'emplacements *in situ* qui font office de banque de gènes provenant de populations aussi diverses que possible, de façon à maximiser la représentativité des gènes présents dans la banque. D'autres stratégies consistent à maintenir des populations *ex situ* en simulant les écosystèmes dans lesquels ces populations sont naturellement présentes.

Le terme conservation *inter situs*² est employé pour désigner la réintroduction d'une espèce dans une zone située en-dehors de son aire de répartition actuelle, mais qui était occupée dans un passé récent par cette espèce³ (Burney et Burney, 2009). Ce concept diffère de la « migration assistée » présentée au Chapitre 14 et a été appliqué avec succès, semble-t-il, pour sauver des plantes rares à Hawaï. Cette approche comporte des risques considérables et ne doit être appliquée que dans les cas d'extrême urgence.

Sources d'informations complémentaires

Akeroyd, J. et Wyse Jackson, P. (1995) A Handbook for Botanic Gardens on Reintroduction of Plants to the Wild, Association internationale des Jardins Botaniques et de la conservation de la diversité biologique (Botanic Gardens Conservation International, BGCI), p. 31.

ENSCONET (2009) ENSCONET Seed Collecting Manual for Wild Species. ISBN : 978-84-692-3926-1.

Engels, J. M. M., Maggioni L., Maxted N. et Dulloo, M. E. (2008) « Complementing *in situ* conservation with *ex situ* measures », in J. Iriondo, N. Maxted et M. E. Dulloo (éd.) *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, Chapitre 6, pp. 169–181, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni.

Guarino, L., Ramanatha Rao, V. et Reid, R. (1995) « Collecting plant genetic diversity : technical guidelines », CAB International, Wallingford, Royaume-Uni.

Notes

- 1 <http://www.kew.org/msbp/scitech/publications/03-Collecting%20techniques.pdf>; <http://www.kew.org/msbp/scitech/publications/fieldmanual.pdf>
- 2 Couramment utilisé sous la forme « *inter situ* », bien que grammaticalement incorrecte.
- 3 Cet usage diffère de celui de Blixt (1994), qui applique ce terme au maintien des espèces domestiquées dans les champs des agriculteurs – une pratique plus couramment appelée « conservation à la ferme ».

Bibliographie

- Akeroyd, J. et Wyse Jackson, P. (1995) *A Handbook for Botanic Gardens on Reintroduction of Plants to the Wild*, Association internationale des Jardins Botaniques et de la conservation de la diversité biologique (*Botanic Gardens Conservation International, BGCI*), Richmond, Royaume-Uni
- Alexander, M. P. et Ganeshan, S. (1993) « Pollen storage », in K. L. Chadha et J. E. Adams (éd.) *Advances in Horticulture, vol 1, Fruit Crops : Part I*, Malhotra Publishing House, New Delhi, Inde
- Ashmore S. E., Drew, R. A. et Azimi-Tabrizi, M. (2007) « Vitrification-based shoot tip cryopreservation of *Carica papaya* and a wild relative *Vasconcellea pubescens* », *Australian Journal of Botany*, vol 55, pp. 541–547
- BGCI (1998) *Seed Banks*, Association internationale des Jardins Botaniques et de la conservation de la diversité biologique (*BGCI*), <http://www.bgci.org/resources/seedbanks> (consulté le 30 mai 2010)
- Blixt, S. (1994) « Conservation methods and potential utilization of plant genetic resources in nature conservation », in F. Begemann et K. Hammer (éd) *Integration of Conservation Strategies of Plant Genetic Resources in Europe*, Institut Leibniz pour la sélection végétale et la recherche sur les plantes cultivées (*Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, IPK*) et ADI, Gatersleben
- Burney, D. A. et Burney, L. P. (2009) « *Inter situ* conservation : Opening a « third front » in the battle to save rare Hawaiian plants », *BGjournal*, vol 6, pp. 17–19
- Dulloo, M. E., Ramanatha Rao, V., Engelmann, F. et Engels J. (2005) « Complementary conservation of coconuts », in P. Batugal, V. R. Rao et J. Oliver (éd) *Coconut Genetic Resources*, pp. 75–90, Institut international des ressources phylogénétiques – Asie, Pacifique-Océanie (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI-APO*), Serdang, Malaisie

- Dulloo, M. E., Ebert, A. W., Dussert, S., Gotor, E., Astorg, C., Vasquez, N., Rakotomalala, J. J., Rabemiarafar, A., Eira, M., Bellachew, B., Omondi, C., Engelmann, F., Anthony, F., Watts, J., Qamar, Z. et Snook, L. (2009) « Cost efficiency of cryopreservation as a long-term conservation method for coffee genetic resources », *Crop Science*, vol 49, pp. 2123–2138, doi:10.2135/cropsci2008.12.0736
- Du Puy B. et Wyse Jackson P. (1995) « Botanic gardens offer key component to biodiversity conservation in the Mediterranean », *Diversity*, vol 11, no 1 et 2, pp. 47–50
- Engelmann, F. (éd.) (1999) *Management of Field and In Vitro Germplasm Collection*, Compte rendu de réunion de consultation, 15–20 janvier 1996, Centre international d'agriculture tropicale (CIAT), Cali, Colombie, Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie
- Engelmann, F. (2000) « Importance of cryopreservation for the conservation of plant genetic resources », in F. Engelmann et H. Tagaki (éd.) *Cryopreservation of Tropical Plant Germplasm : Current Research Progress and Application*, Centre japonais de la recherche internationale pour les sciences agricoles (*Japan International Research Center for Agricultural Sciences*), Tsukuba, Japon/Institut international des ressources phylogénétiques (*IPGRI*), Rome, Italie
- Engelmann, F. (2004) « Plant cryopreservation : Progress and prospects », *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, vol 40, pp. 427–433
- Engelmann, F. et Takagi, H. (éd.) (2000) *Cryopreservation of Tropical Plant Germplasm : Current Research Progress and Applications*, Centre japonais de la recherche internationale pour les sciences agricoles (*Japan International Research Center for Agricultural Sciences*), Tsukuba, Japon/Institut international des ressources phylogénétiques (*IPGRI*), Rome, Italie
- Engels, J. M. M. et Visser, L. (éd.) (2003) *A Guide to Effective Management of Germplasm Collections*, International Plant Genetic Resources Institute Handbooks for Genebanks No 6, Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie
- Engels, J. M. M. et Wood, D. (1999) « Conservation of agrobiodiversity », in D. Wood et J. M. Lenné (éd.) *Agrobiodiversity : Characterization, Utilization and Management*, pp. 355–385, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Engels, J. M. M., Maggioni, L., Maxted, N. et Dulloo, M. E. (2008) « Complementing *in situ* conservation with *ex situ* measures », in J. Iriondo, N. Maxted et M.E. Dulloo (éd.) *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, Chapitre 6, pp. 169–181, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- ENSCONET (2009) *ENSCONET Seed Collecting Manual for Wild Species*, Réseau pour la conservation des graines de plantes indigènes de l'Europe (*European Native Seed Conservation Network, ENSCONET*), ISBN : 978-84-692-3926-1
- Falk, D. A. et Holsinger, K. E. (éd.) (1991) *Genetics and Conservation of Rare Plants*, Oxford University Press, New York et Oxford
- FAO (2010) *Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*), Rome, Italie

- FAO et IPGRI (1994) *Genebank Standards*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*)/Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie
- Gemmill, C. E. C., Ranker, T. A., Ragone, D., Pearlman, S. P. et Wood, K. R. (1998) « Conservation genetics of the endangered endemic Hawai'ian genus *Brighamia* (Campanulaceae) », *American Journal of Botany*, vol 85, no 4, pp. 528–539
- Given, D. R. (1994) *Principles and Practice of Plant Conservation*, Timber Press, Portland, Oregon, États-Unis
- Guarino, L., Ramanatha Rao, V. et Reid, R. (1995) *Collecting Plant Genetic Diversity Technical Guidelines*, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Guarino L., Jarvis A., Hijmans R. J. et Maxted N. (2001) « Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources », in J. Engels, V. Ramanatha Rao, A. H. D. Brown et M. T. Jackson (éd.) *Managing Plant Genetic Diversity*, pp. 387–404, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Guerrant Jr., E.O., Havens, K. et Maunder, M. (éd.) (2004) *Ex Situ Plant Conservation. Supporting Species Survival in the Wild*, Island Press, Washington, District of Columbia
- Hajjar, R. et Hodgkin, T. (2007) « The use of wild relatives in crop improvement : A survey of developments over the last 20 years », *Euphytica*, vol 156, pp. 1–13
- Hamilton, K. N., Ashmore, S. E. et Drew, R. A. (2005) « Investigations on desiccation and freezing tolerance of *Citrus australasica* seed for *ex situ* conservation », in S. W. Adkins, P. J. Ainsley, S. M. Bellairs, D. J. Coates et L. C. Bell (éd.) *Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Native Seed Biology*, pp. 157–161, Centre australien pour la recherche et le développement des ressources minières (*Australian Centre for Minerals Extension and Research (ACMER)*), Brisbane, Queensland, Australie
- Hamilton, K. N. (2008) « Protocol 19.7.2 – Cryopreservation of wild Australian citrus seed », in H. W. Pritchard et J. Nadarajan « Cryopreservation of orthodox (desiccation tolerant) seeds », in B. M. Reed (éd.) *Plant Cryopreservation : A Practical Guide*, Springer, Berlin, Allemagne
- Hawkes J. G., Maxted N. et Ford-Lloyd, B. V. (2000) *The Ex Situ Conservation of Plant Genetic Resources*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas
- Heywood V. H. (1991) « Developing a strategy for germplasm conservation in botanic gardens », in V. H. Heywood et P.S. Wyse Jackson (éd) *Tropical Botanic Gardens – Their Role In Conservation and Development*, pp. 11–23, Academic Press, Londres, Royaume-Uni
- Heywood, V. H. (2009) « Botanic gardens and genetic conservation », *Sibbaldia guest essay, Sibbaldia, The Journal of Botanic Garden Horticulture*, no 7, pp. 5–17
- Hijmans, R. J. et Spooner, D. M. (2001) « Geographic distribution of wild potatoes species », *American Journal of Botany*, vol 88, no 11, pp. 2101–2112
- Hijmans, R. J., Guarino, L., Cruz, M. et Rojas, E. (2001) « Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data:1 DIVA-GIS », *Plant Genetic Resources Newsletter*, vol 127, pp. 15–19

- INIBAP (2006) *Global Conservation Strategy for Musa (Banana and Plantain)*, Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (*International Network for the Improvement of Banana and Plantain, INIBAP*), <http://bananas.biodiversityinternational.org/es/publications-mainmenu-36/strategy-papers-mainmenu-51.html>, consulté le 23 mars 2010
- IUCN (2002) *Lignes Directrices Techniques de l'UICN en Matière de Gestion des Populations Ex Situ a des Fins de Conservation*, approuvées lors de la 14^e réunion du Comité du Programme du Conseil de l'UICN, Gland, Suisse, 10 décembre 2002, Union internationale pour la conservation de la nature (*International Union for the Conservation of Nature, IUCN*), <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/Rep-2002-017-Fr.pdf>
- IUCN/SSC (1995) *Lignes Directrices Techniques de l'UICN relatives aux réintroductions*, Groupe de spécialistes de la réintroduction de la Commission de la survie des espèces de l'UICN (*Species survival commission, SSC*), approuvées lors de la 14^e réunion du Comité du Programme du Conseil de l'UICN, Gland, Suisse, mai 1995. Union internationale pour la conservation de la nature (*International Union for the Conservation of Nature, IUCN*), Gland, Suisse, http://iucnssc.org/policy_guidelines.php, <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/PP-005-Fr.pdf>
- Jarvis A, Williams, K., Williams, D., Guarino, L., Caballero, P. J. et Mottram, G. (2005) « Use of GIS in optimizing a collecting mission for a rare wild pepper (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) in Paraguay », *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol 52, no 6, pp. 671–682
- Kell, S. P., Laguna, L., Iriondo, J. et Dulloo, M. E. (2008) « Population and habitat recovery techniques for the *in situ* conservation of genetic diversity », in J. Iriondo, N. Maxted et M. E. Dulloo (éd.), *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, Chapitre 5, pp. 124–168, CABI Publishing, Wallingford, Royaume-Uni
- Laliberté, B. (1997) « Botanic garden seed banks/genebanks worldwide, their facilities, collections and network », *Botanic Gardens Conservation News*, vol 2, pp. 18–23
- Maunder M., Guerrant Jr, E. O., Havens, K. et Dixon, K. W. (2004) « Realizing the full potential of *ex situ* contributions to global plant conservation », in E. O. Guerrant Jr., K. Havens et M. Maunder (éd.) *Ex Situ Plant Conservation. Supporting Species Survival in the Wild*, Island Press, Washington, District of Columbia
- Maxted, N. et Kell, S. P. (2009) *Establishment of a Global Network for the In Situ Conservation of Crop Wild Relatives : Status and Needs*, Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (*FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture*), Rome, Italie
- Maxted, N., Ford-Lloyd, B. V. et Hawkes, J. G. (1997) « Complementary conservation strategies », in N. Maxted, B. V. Ford-Lloyd et J. G. Hawkes (éd.) *Plant Genetic Conservation : The In Situ Approach*, Chapman et Hall, Londres, Royaume-Uni
- Maxted, N., Dulloo, M. E., Ford-Lloyd, B. V., Iriondo, J. et Jarvis, A. (2008) « Gap analysis : A tool for complementary genetic conservation assessment », *Diversity and Distributions*, vol 14, no 6, pp. 1018–1030
- Miller, A. G. et Nyberg, J. A. (1995) « Collecting herbarium vouchers », in L. Guarino, V. Ramanatha Rao et R. Reid (éd) *Collecting Plant Genetic Diversity Technical Guidelines*, chapitre 27, pp. 561–573, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Panella L., Wheeler, L. et McClintock, M. E. (2009) « Long-term survival of cryopreserved sugarbeet pollen », *Journal of Sugar Beet Research*, vol 46, pp. 1–9

- Rao N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., Ghosh, K., Nowell, D. et Larinde, M. (2006) *Manual of Seed Handling in Genebanks*, Handbooks for Genebanks No 8, Bioversity International, Rome, Italie
- Reed, B. (éd.) (2008) *Plant Cryopreservation : A Practical Guide*, Springer, New York, États-Unis
- Reed, B., Engelmann F., Dulloo M. E. et Engels J. M. M. (2004) *Technical Guidelines on Management of Field and In Vitro Germplasm Collections*, Handbook for Genebanks No 7, Institut international des ressources phylogénétiques (IPGRI), Rome, Italie
- Schmidt, L. (2000) *Guide to Handling Tropical and Subtropical Forest Seed*, Centre Danida de semences forestières (Danida Forest Seed Centre), <http://curis.ku.dk/portal-life/en/publications/guide-to-handling-of-tropical-and-subtropical-forest-seed%2804448600-8813-11df-928f-000ea68e967b%29.html>
- Shaanker, Uma R., Ganeshiaiah, K. N., Nageswara Rao, M. et Ravikanth, G. (2002) « Forest gene banks – a new integrated approach for the conservation of forest tree genetic resources », in J. M. M. Engels, A. H. D. Brown et M. T. Jackson, (éd.) *Managing Plant Genetic Diversity*, pp. 229–235, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Sharrock, S. et Engels, J. (1996) « Complementary Conservation », Rapport annuel de l'INIBAP 1996, pp. 8–9, Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP), Montpellier.
- Smith, R. D. (1995) « Collecting and handling seeds in the field », in L. Guarino, V. Ramanatha Rao et R. Reid (éd.) *Collecting Plant Genetic Diversity Technical Guidelines*, chapitre 20, pp. 419–456, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Smith R. D., Dickie, J. B., Linington, S. H., Pritchard, H. W et Probert, R. J. (2003) *Seed Conservation : Turning Science into Practice*, Jardins Botaniques Royaux, Kew, Richmond, Royaume-Uni
- Thormann, I., Dulloo, M. E. et Engels, J. (2006) « Techniques for *ex situ* plant conservation », in R. J. Henry (éd.), *Plant Conservation Genetics*, pp. 7–36, Haworth Press, Australie
- Towill, L. E. (1985) « Low temperature and freeze-/vacuum-drying preservation of pollen », in K. K. Harthaa (éd.) *Cryopreservation of Plant Cells and Organs*, pp. 171–198, CRC Press, Boca Raton, Floride, États-Unis
- Towill, L. E. et Walters, C. (2000) « Cryopreservation of pollen », in F. Engelmann et H. Takagi (éd.) *Cryopreservation of Tropical Plant Germplasm – Current Research Progress and Applications*, pp. 115–129, Centre japonais de la recherche internationale pour les sciences agricoles (Japan International Research Center for Agricultural Sciences), Tsukuba//Institut international des ressources phylogénétiques (IPGRI), Rome, Italie
- Walyaro, D. J. et van der Vossen, H. A. M. (1977) « Pollen longevity and artificial crosspollination in *Coffea arabica* L. », *Euphytica*, vol 26, pp. 225–231