

Collecte de données de référence : étude écogéographique

Pour pouvoir prendre des décisions de conservation éclairées, il est essentiel de maîtriser les bases de la taxonomie, de la diversité génétique, de la répartition géographique, de l'adaptation écologique et de l'ethnobotanique d'un groupe de plantes, ainsi que la géographie, l'écologie, le climat et les communautés humaines de la région cible (Guarino et al., 2005).

Objectifs

Avant d'entreprendre toute action de conservation axée sur un taxon cible, il faut collecter suffisamment d'informations sur celui-ci afin de prendre des décisions éclairées et de définir des priorités adaptées en vue d'élaborer une stratégie de conservation dans une orientation pratique. L'Encadré 8.2 présente les différents types d'informations à collecter sur le taxon. Celles-ci proviennent de la littérature, des spécimens d'herbier, des banques de gènes, des jardins botaniques, des arboretums et des stations météorologiques, ainsi que d'enquêtes sur le terrain ; elles permettent de constituer une base de connaissances.

Une étude écogéographique est un processus consistant à collecter et synthétiser des informations écologiques, géographiques et taxonomiques. Les résultats ... peuvent être utilisés pour appuyer l'élaboration des stratégies de conservation et la définition des priorités (Maxted et al., 1995).

Le processus de collecte de ces informations, parfois appelé *enquête* ou *étude écogéographique* (CIRP, 1985 ; Maxted et al., 1995 ; Dulloo et al., 2008), constitue la première étape cruciale de l'élaboration de toute stratégie de conservation *in situ* ou *ex situ*. Une enquête écogéographique vise à déterminer : (i) la répartition d'un taxon particulier dans des régions ou écosystèmes donné(e)s ; (ii) les tendances de la diversité infraspécifique ; et (iii) les liens entre la survie et la fréquence des variants et les conditions écologiques associées. Le terme « enquête écogéographique » s'applique à différents processus de collecte d'informations sur la taxonomie, la répartition géographique, les caractéristiques écologiques, la diversité génétique et l'ethnobiologie des

espèces cibles, ainsi que la géographie, le climat et le contexte humain des régions étudiées (Guarino *et al.*, 2002)¹. Les informations écogéographiques peuvent être utilisées pour localiser du matériel génétique important et les populations correspondantes peuvent être suivies pour guider le choix d'échantillons représentatifs à des fins de conservation et d'utilisation (CIRP, 1985). Bien qu'initialement conçue et appliquée dans le contexte de la conservation de pools de gènes d'espèces sauvages (ESAPC, notamment), l'approche de l'étude écogéographique peut être modifiée et transposée aux plantes cultivées (Guarino *et al.*, 2005).

La réalisation d'une étude écogéographique intégrale nécessite des ressources considérables et peut prendre plusieurs années, notamment dans le cas d'espèces à large répartition géographique. Bien qu'une étude intégrale soit vivement recommandée - en particulier pour les ESAPC d'importance majeure - elle est rarement possible, si bien que des études bien plus réduites sont souvent entreprises. Des exemples d'études écogéographiques sont présentés dans l'Encadré 8.1 :

Encadré 8.1 Exemples d'études écogéographiques

Coffea (Dulloo *et al.*, 1999 ; Maxted *et al.*, 1999) : dans les Mascareignes, une étude écogéographique utilisant des spécimens d'herbier a été réalisée sur les espèces sauvages du genre *Coffea* et complétée par des enquêtes approfondies sur le terrain. Cela a permis de déterminer la répartition géographique et écologique des différentes espèces de *Coffea* dans les Mascareignes, principalement sur l'île Maurice. Les foyers de diversité génétique (« points chauds ») ont été cartographiés et l'état de conservation des espèces locales du genre *Coffea* a été évalué conformément aux critères de l'UICN.

Vicia (Maxted, 1995 ; Bennett et Maxted, 1997)

Corchurus (Edmonds, 1990)

Medicago (Bennet *et al.*, 2006)

Phaseolus (Nabhan, 1990)

Lens (Ferguson et Robertson, 1996)

Leucaena (Hughes, 1998)

Légumineuses annuelles (Ehrman et Cocks, 1990)

Solanum d'Amérique du Sud (Smith et Peralta, 2002)

Trifolium (Bennett et Bullitta, 2003) : analyse écogéographique de six espèces de *Trifolium* observées en Sardaigne, avec pour objectif de concevoir les futures missions de collecte et de créer d'importantes réserves *in situ* en Sardaigne.

African Vigna (Maxted *et al.*, 2004)

Publiée par *Bioversity International*, la revue « *Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene-pools* » couvre une partie des principales ESAPC.

Enquêtes écogéographiques réalisées dans le cadre du Projet ESAPC du PNUE/FEM

Au cours du Projet ESAPC, des études écogéographiques ont été réalisées sur les espèces suivantes :

Arménie

Une recherche documentaire a été réalisée pour 99 espèces, dont 79 ont également fait l'objet d'études sur le terrain (Tableau 8.1).

Tableau 8.1 Liste des espèces ayant fait l'objet d'une étude écogéographique en Arménie

Triticum araraticum, *T. boeoticum*, *T. urartu*, **Aegilops crassa*, *A. tauschii*, *A. cylindrica*, *A. triuncialis*, *A. biuncialis*, *A. triaristata*, *A. columnaris*, *Amblyopyrum muticum*, *Hordeum spontaneum*, *H. glaucum*, *H. murinum*, *H. geniculatum*, *H. marinum*, *H. violaceum*, *H. bulbosum*, **H. hrasdanicum*, *Secale vavilovii*, *S. montanum*, **Cicer anatolicum*, **Lens ervoides*, *L. orientalis*, **Pisum arvense*, *P. elatius*, *Vavilovia formosa*, *Vicia villosa*, **V. ervilia*, *V. cappadocica*, *Lathyrus pratensis*, *L. tuberosus*, *Onobrychis transcaucasica*, *O. altissima*, *O. hajastana*, *O. cadmea*, *O. oxytropoides*, *Medicago sativa*, *M. lupulina*, **Trifolium sebastianii*, *T. hybridum*, *T. pratense*, *T. repens*, *Beta macrorrhiza*, *B. corolliflora*, *B. lomatogona*, **Spinacia tetrandra*, *Asparagus officinalis*, *A. verticillatus*, *A. persicus*, *Rumex acetosa*, *R. crispus*, *R. tuberosus*, **R. scutatus*, *R. obtusifolius*, *Chaerophyllum aureum*, *C. bulbosum*, *Daucus carota*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum trachyloma*, *Allium atroviolaceum*, *A. rotundum*, *A. victorialis*, *Cucumis melo*, *Malva neglecta*, *Lactuca serriola*, *Malus orientalis*, *Pyrus caucasica*, *P. syriaca*, *P. takhtajanii*, *P. salicifolia*, *P. zangezura*, *P. tamamschjanae*, *P. medvedevii*, *P. pseudosyriaca*, *Sorbus hajastana*, *S. aucuparia*, *S. takhtajanii*, *S. subfusca*, *S. roopiana*, *S. persica*, *Crataegus orientalis*, *Crataegus pontica*, *Ficus carica*, *Armeniaca vulgaris*, *Amygdalus nairica*, *A. fenzliana*, *Cerasus avium*, *Prunus spinosa*, *P. divaricata*, *Diospyros lotus*, *Rubus idaeus*, *R. cartalinicus*, *R. armeniacus*, **Ribes armenum*, **R. biebersteinii*, *Punica granatum*, *Cornus mas*, *Juglans regia*.

* Espèces ayant fait l'objet d'une recherche documentaire uniquement.

Bolivie

Les chercheurs des partenaires institutionnels nationaux ont participé au Projet ESAPC en Bolivie et collecté des données écogéographiques en se rendant sur les aires de répartition des espèces dans différentes régions. Entre 2006 et 2009, ils ont collecté des données de terrain sur 149 espèces (sur 201) identifiées en 2005, appartenant à 14 genres (*Anacardium*, *Ananas* et *Pseudoananas*, *Annona*, *Arachis*, *Bactris*, *Chenopodium*, *Cyphomandra*, *Ipomoea*, *Manihot*, *Phaseolus*, *Rubus*, *Solanum*, *Theobroma* et une forme ségréguée de *Vasconcellea x Carica*). Les 14 genres ont été hiérarchisés à partir d'un groupe initial de 52 genres préalablement identifiés, à l'aide de critères tels que l'utilisation potentielle et le degré d'avancement des connaissances économiques, sociales et culturelles, notamment pour les taxons inclus dans

le Traité international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA). Ces espèces sont énumérées en Annexe I.

Les chercheurs ont également collecté des spécimens qui ont ensuite été incorporés aux collections des Herbiers de Bolivie (BOLV, USZ, et LPB) et des accessions ont été ajoutées aux banques de gènes locales. Ces efforts contribuent à élargir les connaissances sur les ESAPC et à garantir la disponibilité d'informations clés pour les processus décisionnels qui sous-tendent la recherche, la production, la planification publique, la conservation et l'utilisation des ESAPC, ainsi que l'élaboration des politiques et normes applicables à l'étude, la conservation et l'utilisation de la biodiversité.

Sri Lanka

Les espèces suivantes ont fait l'objet d'une étude écogéographique : *Oryza nivara*, *Vigna aridicola*, *V. trilobata*, *V. stipulacea*, *V. dalzelliana*, *V. marina*, *V. radiata* var. *sublobata*, *Musa acuminata*, *M. balbisiana*, *Piper churya*, *P. longum*, *P. siriboa*, *P. walkeri*, *P. trineuron*, *P. zeylanicum*, *Cinnamomum dubium*, *C. ovalifolium*, *C. litseaefolium*, *C. capparum-coronde*, *C. citriodorum*, *C. sinharajaense* et *C. rivulorum*.

Ouzbékistan

Les espèces suivantes ont fait l'objet d'une étude écogéographique : *Malus sieversii* (pommier), *Allium pskemense* (oignon), *Amygdalus communis*, *A. bucharica*, *A. spinosissima*, *A. petunnikovii* (amandier), *Pistacia vera* (pistachier), *Juglans regia* (noyer), *Hordeum spontaneum* et *H. bulbosum* (orge).

Il est à noter que les études effectuées dans le cadre du Projet ESAPC du PNUE/FEM constituent probablement l'ensemble le plus vaste d'évaluations écogéographiques jamais entrepris, et représentent à ce titre une contribution majeure dans le domaine.

Éléments constitutifs de la base de connaissances

La base de connaissances constituée dans le cadre d'une étude écogéographique regroupe un large panel d'informations sur les espèces cibles, leur répartition, leur habitat, leur utilisation, leur présence dans des aires protégées et leur disponibilité dans des collections de matériel génétique (voir l'Encadré 8.2). Le degré de précision de ces informations dépend en grande partie des connaissances déjà disponibles sur l'espèce, de sa rareté ou de son abondance, de ses utilisations économiques et de sa répartition. Il n'existe pas d'ensemble de données « idéal » à cet égard et il faut faire preuve, en pratique, de beaucoup de pragmatisme.

Encadré 8.2 Éléments nécessaires pour constituer une base de connaissances

- Collecte d'informations sur les principales espèces sauvages d'intérêt économique du pays ou de la région, concernant :
 - leur identité exacte ;
 - leur répartition ;
 - leur mode de reproduction ;
 - leur mode de sélection ;
 - leur démographie ; et
 - leur statut de conservation.

- Collecte d'informations sur :
 - leur utilisation (savoirs traditionnels, notamment) ;
 - la nature et l'ampleur du commerce de ces espèces ;
 - la mesure dans laquelle elles sont collectées dans la nature (le cas échéant) et les conséquences de ces pratiques sur la viabilité des populations sauvages ;
 - leur mode de culture et de multiplication.

- Identification des espèces présentes dans des aires protégées et de l'importance des peuplements.

- Collecte d'informations sur l'existence de matériel génétique disponible et d'un stock authentifié utilisable pour la culture.

- Synthèse des données écogéographiques collectées sur chaque espèce.

Source : Heywood et Dulloo, 2005

Les principales phases d'une étude écogéographique sont présentées dans l'Encadré 8.3.

Le Portail d'information sur les banques de gènes de plantes cultivées (*Crop Genebank Knowledge Base*) contient un module de formation utile sur les enquêtes écogéographiques, reprenant les étapes de l'Encadré 8.3. Ce module est téléchargeable sur :

http://croptgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php?option=com_content&view=article&id=378&Itemid=538 (consulté le 27 octobre 2010).

Encadré 8.3 Phases d'une étude ou enquête écotogographique

Phase I – Conception du projet

- Comité de projet ;
- Identification des taxonomistes ;
- Choix taxonomique adopté pour le taxon cible ;
- Délimitation de la région cible ;
- Identification des collections existantes ;
- Conception et réalisation de la structure de la base de données écotogographiques.

Phase II – Collecte et analyse des données

- Établissement de la liste du matériel génétique conservé ;
- Étude des sources de données taxonomiques, écologiques et géographiques ;
- Collecte de données écotogographiques ;
- Vérification des données ;
- Analyse des données taxonomiques, écologiques et écotogographiques.

Phase III – Présentation des résultats

- Synthèse des données ;
- Base de données écotogographiques, synthèse des données écotogographiques et rapport ;
- Identification des priorités de conservation.

Source : Maxted et al., 1995 ; Maxted et Kell, 1998

Recherche et compilation d'informations

Une grande partie de l'information peut être recherchée dans des documents relatifs à la stratégie nationale de conservation des ESAPC/ressources phytogénétiques, s'il en existe une ; les informations doivent néanmoins être compilées. Les stratégies et plans d'action nationaux relatifs à la biodiversité ainsi que différents rapports nationaux soumis à la Convention sur la diversité biologique (CDB) contiennent également des informations utiles ; c'est aussi le cas des rapports nationaux contribuant au *Rapport sur l'État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* (FAO, 1998) et du deuxième rapport adopté lors de la 12^e session régulière de la Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture, en octobre 2009.

Les données peuvent également être collectées à partir de diverses autres sources (voir également le Chapitre 6) :

- littérature (flores classiques, monographies, listes et études phytosociologiques, notamment) ;
- herbiers ;
- jardins botaniques et arboretums ;
- données passeport provenant des banques de gènes ;
- ensembles de données des services météorologiques nationaux ou locaux (précipitations annuelles et mensuelles, températures mensuelles minimales et maximales) ;
- enquête pédologique nationale et ensembles de données associés ;
- bases de données et systèmes d'information internationaux, régionaux et nationaux sur la biodiversité.

Informations taxonomiques

Même si cela peut sembler évident, l'identification exacte des taxons étudiés ou sélectionnés en vue de leur conservation est essentielle. C'est beaucoup plus difficile qu'il n'y paraît, car le degré de précision de l'identification des taxons végétaux dans la littérature scientifique est très variable et souvent très limité. Alors qu'elle est fondamentale dans le contexte de la recherche, l'exactitude de l'identification scientifique est rarement vérifiée. On peut citer de nombreux cas où des plantes de référence ont été mal identifiées ; les conséquences de cette négligence peuvent être lourdes et très coûteuses.

Les difficultés rencontrées pour garantir l'exactitude de l'identification taxonomique s'expliquent notamment par le fait que la taxonomie et la classification sont des domaines très spécialisés et qu'à quelques exceptions près (flores et faunes destinées aux étudiants et guides simplifiés destinés aux amateurs, notamment), les ouvrages taxonomiques faisant autorité ne sont traditionnellement pas faciles à utiliser. Les flores, monographies, révisions et listes peuvent être très rébarbatives pour le non-spécialiste car elles sont très techniques et prennent souvent en compte les besoins des taxonomistes plutôt que les intérêts des utilisateurs moins avertis. Certains guides d'identification ne sont pas rédigés clairement et négligent des informations essentielles (illustration de l'espèce, par exemple). La prise en compte des besoins des utilisateurs (y compris des taxonomistes) est une tendance relativement récente, de sorte que certains éléments (clés, par exemple) sont absents de nombreux ouvrages classiques. Même lorsqu'ils sont inclus, ces éléments sont souvent très techniques et difficiles à comprendre pour un utilisateur inexpérimenté (Heywood, 2004).

Il existe un cas particulier dans lequel les outils taxonomiques tels que les flores sont essentiels à la conservation, à savoir l'établissement de

listes d'espèces menacées (Listes rouges ou guides). Les flores sont une ressource essentielle pour l'élaboration des Listes rouges et sont, comme les spécimens d'herbier, utilisées à cet effet en tant que sources de données, notamment dans les pays en développement. Les flores servent à estimer et à calculer l'aire de répartition des taxons concernés ainsi que leur degré de rareté (Golding et Smith, 2001). Malheureusement, les flores n'ont pas été conçues à cet effet et l'extraction et l'interprétation correcte des données qu'elles contiennent peuvent être très difficiles sans l'aide d'un taxonomiste professionnel.

Il faut également souligner le fait que, malgré le rôle essentiel des espèces en tant qu'unités élémentaires de la classification et de la diversité biologiques, il n'y a pas de consensus universel sur la façon de les définir. Les espèces nommées et incluses dans les études sur la biodiversité ne sont comparables que par leur désignation, et non du point de vue de leur degré de différenciation évolutive, génétique, écologique ou morphologique. Dans la majorité des cas, il est probable qu'un concept taxonomique conventionnel, c'est-à-dire basé principalement sur une différenciation morphologique (voir Bisby 1995 : Encadré 2.1–4), soit employé pour identifier les espèces cibles. D'un point de vue pratique, la ou les flore(s) classique(s) du pays doi(ven)t être utilisée(s) pour identifier les espèces et la nomenclature qui y est adoptée doit être suivie, à moins que d'autres sources ne permettent de déterminer le nom correct des espèces (si celui-ci est différent). S'il existe une révision récente du genre ou groupe des espèces considérées, celle-ci doit être utilisée.

De plus, il faut tenir compte du fait que les concepts relatifs aux espèces varient d'un groupe à l'autre et que l'utilisation des catégories d'espèces varie souvent d'un(e) pays ou région à l'autre (Gentry, 1990 ; Heywood, 1991), ce qui rend la comparaison difficile.

Dans certaines flores, les espèces peuvent être considérées au sens large, incluant des espèces cataloguées comme distinctes dans d'autres flores. De même, certaines flores traitent un taxon particulier comme une espèce, tandis que d'autres considèrent ce même taxon comme une sous-espèce, voire comme une variété. En fait, les variants infra-spécifiques (sous-espèces, écotypes ou chimiotypes, notamment) ou les populations individuelles, plutôt que les espèces, peuvent être le principal objet de l'étude de l'agrobiodiversité (Yanchuk, 1997). Dans de nombreux travaux sur l'agrobiodiversité et la conservation (Listes rouges, par exemple), une tendance répandue veut que la plupart des espèces soient traitées comme si elles étaient uniformes, alors que nombre d'entre elles présentent en réalité une importante variabilité reconnue d'un point de vue taxonomique et écogénétique. La planification de la conservation est nettement plus efficace lorsqu'on tient compte des variants distinctifs, car leur comportement

et leur différenciation génétique sous-jacente varient de l'un à l'autre et doivent être traités de façon adaptée. Cela vaut notamment dans le cas des ESAPC, où le principal objet d'étude peut être des allèles particuliers dans une population d'une espèce donnée.

Bien que les espèces sauvages rares et en danger les mieux connues posent sans doute peu de problèmes d'identification, il faut être prudent concernant les espèces répandues présentes dans plusieurs pays, car une même espèce peut être incluse sous des noms différents dans la flore de chaque pays. En l'absence de nomenclature établie, il faut solliciter l'avis d'un taxonomiste. Il en va de même au niveau générique : comme exemple on peut citer les genres *Triticum* et *Aegilops*, couramment traités comme étant distincts l'un de l'autre, bien que certains taxonomistes incluent *Aegilops* dans le genre *Triticum*. C'est une question de point de vue taxonomique, de sorte que ces deux interprétations sont également valables. La conséquence de ces divergences est qu'un même taxon d'ESAPC peut figurer dans la littérature taxonomique sous une variété de noms ou synonymes différents.

Le problème de la synonymie, à savoir l'existence d'appellations différentes pour un même taxon (espèce, genre, etc.), dans la littérature et les herbiers, peut être insurmontable pour le non-spécialiste. Une plante peut avoir plusieurs noms pour les raisons suivantes :

- elle a été décrite indépendamment à plusieurs reprises par différents taxonomistes ;
- un taxon (espèce, par exemple) s'avère ultérieurement être identique à une espèce déjà décrite ; ou
- un taxon (espèce, par exemple) est traité par différents spécialistes comme appartenant à un rang (sous-espèce ou variété, par exemple) ou genre différent.

Par conséquent, il est essentiel que ceux qui utilisent la littérature taxonomique pour compiler des études écogéographiques soient conscients de ces écueils.

Sources d'informations taxonomiques

La littérature taxonomique est très abondante car ses origines remontent à plusieurs siècles ; aussi peut-elle rebuter l'utilisateur non professionnel. Le Chapitre 2 de *Global Biodiversity Assessment* (Heywood, 1995), consacré à la caractérisation de la biodiversité (Bisby, 1995), est une source d'informations utile. Comme nous l'avons fait remarquer au Chapitre 6, depuis quelques années, une grande partie de l'information taxonomique est stockée sous forme numérique dans des bases de données et des systèmes d'information. Les bases de données et les flores électroniques sont de plus en plus

Encadré 8.4 Conseils pratiques pour comprendre la taxonomie et la nomenclature

Dans une flore ou sur un spécimen d'herbier, une espèce peut avoir un nom différent de celui que vous utilisez, ou auquel vous êtes habitué. Cela ne signifie pas pour autant qu'il s'agit d'une espèce distincte : il peut simplement s'agir d'un synonyme.

Rappelez-vous que les noms donnés aux espèces dans la littérature (articles des revues scientifiques, inventaires, études phytosociologiques ou écologiques, etc.) sont parfois incorrects et doivent être vérifiés.

Si vous ne trouvez pas une espèce dans une flore ou dans un manuel donné(e), envisagez la possibilité que cette espèce soit « déguisée » sous un nom (synonyme) ou genre différent.

Si vous ne parvenez pas à identifier un spécimen, préparez un échantillon d'herbier à présenter à un taxonomiste qui l'identifiera. Assurez-vous que l'échantillon présente des fleurs et des fruits, si possible.

En cas de doute, demandez l'aide ou l'avis d'un taxonomiste.

nombreuses et doivent être consultées lorsqu'elles existent. Elles vont des grandes initiatives internationales telles que la Taxonomie des Plantes du Réseau d'information sur les ressources génétiques (GRIN) (<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/index.pl>), TROPICOS (<http://www.tropicos.org/>) et Species 2000 (<http://www.sp2000.org/>), à des bases de données nationales, locales ou spécialisées.

Les informations taxonomiques et autres sur la biodiversité (collections d'histoire naturelle, fonds documentaires, bases de données, etc.) ne sont pas réparties de façon homogène dans le monde. D'après les estimations du Système mondial d'information sur la biodiversité (SMIB), au moins trois quarts des données sur la biodiversité sont stockés dans les pays développés. Cependant, la majeure partie des données potentiellement nécessaires ne peut être transférée parce que celles-ci n'ont pas été numérisées et/ou les capacités requises pour gérer des informations numériques font défaut. Le SMIB a été créé en réponse à ce problème et pour faciliter l'accès à l'information sur la biodiversité (voir l'Encadré 8.5). Le SMIB est un réseau mondial de fournisseurs de données dont l'objectif est de mettre en place les infrastructures requises pour le partage d'informations sur la biodiversité et de promouvoir le développement de ce type de contenus sur Internet en collaborant avec d'autres initiatives et en assurant la coordination à l'échelon mondial. Le SMIB entend devenir le premier guichet d'information sur la biodiversité.

Encadré 8.5 En quoi consiste le Système mondial d'information sur la biodiversité (SMIB) ?

Le SMIB offre un accès libre et gratuit à des données informatisées sur la biodiversité. C'est une initiative internationale lancée et financée par les gouvernements, dont l'objectif premier est de permettre l'accès à des données relatives à la biodiversité à des fins de recherche scientifique, de conservation et de développement durable.

Le SMIB fournit trois produits et services de base :

- Une infrastructure d'information – répertoire Internet d'un réseau mondial de bases de données interopérables contenant des données essentielles sur la biodiversité (informations sur des spécimens de muséums, observations sur le terrain de plantes et d'animaux à l'état sauvage et résultats d'expériences) permettant aux propriétaires de données dans le monde entier d'accéder à celles-ci et de les partager.
- Des outils, normes et protocoles élaborés par les utilisateurs – instruments grâce auxquels les fournisseurs de données peuvent formater et partager leurs données.
- Un renforcement des capacités – formation, accès à des experts et à des programmes de mentorat au niveau international, permettant aux institutions nationales et régionales de s'intégrer dans un réseau virtuel de systèmes d'information sur la biodiversité.

Source : « About GBIF » <http://www.gbif.org/index.php?id=269>

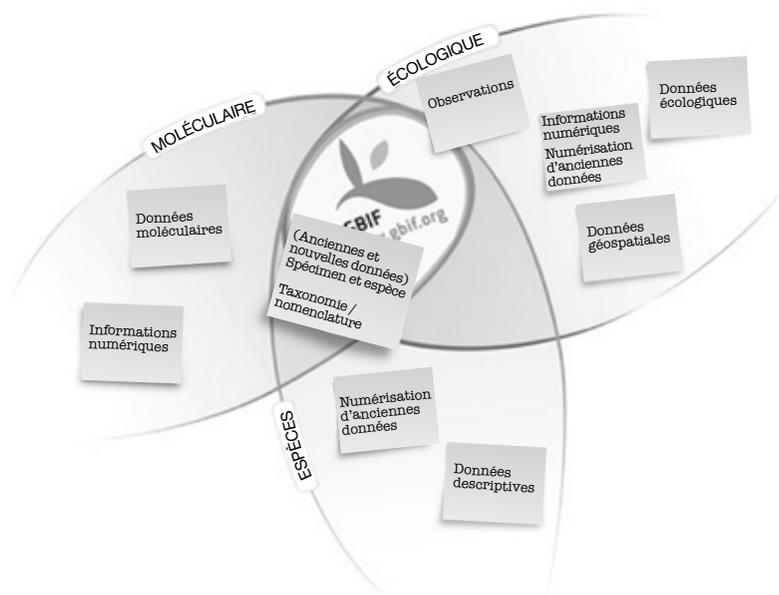


Figure 8.1 Présentation du SMIB

Les spécimens d'herbier sont une autre source d'informations utile (Pearce et Bytebier, 2002) ; ils ont été utilisés dans de nombreuses études écogéographiques pour déterminer la répartition des taxons. Maxted (1995), par exemple, a consulté les spécimens de 18 grands herbiers internationaux dans le cadre de son étude consacrée au sous-genre *Eu-Vicia* du genre *Vicia*. L'étude des pommes de terre sauvages américaines (Bamberg *et al.*, 2003) reposait elle-même sur une étude des spécimens d'herbier disponibles, pour mieux déterminer l'emplacement et la répartition de l'espèce et identifier ses sites de collecte potentiels ; des informations ont également été obtenues auprès de botanistes locaux.

Les étiquettes des spécimens d'herbier sont souvent insuffisantes ou incomplètes, voire difficiles à interpréter ou à déchiffrer ; l'emplacement géographique peut être incomplet, auquel cas les localités indiquées ne peuvent être retrouvées. De même, les données écologiques sont souvent mal consignées, voire absentes ; cela vaut notamment pour les spécimens les plus anciens. Par ailleurs, il ne faut pas oublier que rien ne garantit que les spécimens d'herbier soient correctement identifiés ; et même s'ils le sont, le nom qu'ils portent n'est pas nécessairement correct selon les critères de la recherche actuelle. En cas de doute concernant l'exactitude de l'identification, il faut demander l'aide d'un professionnel.

Bien que les données des herbiers et des flores soient des sources utiles d'informations écogéographiques, dans le cas des taxons qui n'ont pas été collectés en nombre important, la recherche documentaire doit être complétée par une enquête sur le terrain. Les données de terrain sont de fait recommandées dans la plupart des cas, pour pouvoir disposer d'informations sur l'écologie, la démographie, la diversité génétique, le mode de sélection, etc.

L'utilisation des *noms courants* pour identifier les taxons nécessite une extrême prudence. De nombreux taxons possèdent plusieurs noms vernaculaires qui sont souvent spécifiques localement mais ne le sont pas à l'échelle d'une région plus large. Ils sont souvent associés de façon imprécise aux noms scientifiques (Kanashiro *et al.*, 2002).

Données sur la répartition

Il est important de déterminer la répartition géographique totale de l'ESAPC ciblée. Les informations relatives à la répartition, comme les données taxonomiques, peuvent être obtenues à partir de diverses sources : flores et monographies ; études géobotaniques et phytosociologiques et études de la végétation, qui contiennent souvent des listes d'espèces établies dans certaines zones particulières ; étiquettes d'herbier ; bases de données sur la biodiversité ; etc. Là encore, il ne faut pas perdre de vue que des ESAPC peuvent figurer dans la littérature et les données répertoriées des spécimens

d'herbier sous différents synonymes. De plus, les ESAPC peuvent être polymorphes et contenir une ou plusieurs sous-espèce(s) ou variété(s) nommées et distinctes.

Divers outils et méthodes ont été développés pour prédire la répartition géographique des espèces. Une étude récente (Elith *et al.*, 2006) compare la performance de 16 méthodes telles que GARP, Domain, Bioclim et Maxent, employées sur plus de 226 espèces de six régions du monde (voir également : Lobo, 2008). Ces méthodes nécessitent de recourir à un Système d'information géographique (SIG) (Encadré 8.6) et on peut utiliser à cet effet des progiciels commerciaux tels que ArcGIS (ArcInfo, ArcEditor, ArcView) d'ESRI, MapInfo, ERDAS ER Mapper et IDRISI Taiga GIS. En outre, certains logiciels SIG ont été spécifiquement conçus pour l'étude des ressources génétiques ; c'est le cas de FloraMap,² développé et couramment utilisé par le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT), bien qu'il soit aujourd'hui quelque peu obsolète et ait été remplacé par MAXENT. Un autre progiciel est DIVA-GIS, développé par le Centre international de la pomme de terre (CIP) en collaboration avec l'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI) (aujourd'hui *Bioversity International*) et avec l'aide du Programme sur les ressources génétiques à l'échelle du Système (SGRP). Ce logiciel est disponible gratuitement sur <http://diva-gis.org/> (Hijmans *et al.*, 2001) (Figure 8.2). Il est important de bien réfléchir au moment de choisir un logiciel SIG et le matériel utilisé pour faire fonctionner ces programmes, car les erreurs peuvent coûter cher. Peterson (2001) a élaboré des modèles de niches écologiques en utilisant un algorithme appliqué à des données géographiques pour prédire la répartition de certaines espèces.

Le Système de gestion des herbiers et de la recherche en botanique (*Botanical Research and Herbarium Management System*, BRAHMS) (<http://dps.plants.ox.ac.uk/bol/>) est une source utile d'informations sur la gestion des collections, les travaux taxonomiques, les études botaniques et l'analyse de la diversité. Une présentation PowerPoint sur la cartographie de la répartition de cinq espèces du genre *Passiflora* dans les pays andins est disponible à l'adresse : <http://www.slideshare.net/CIAT/study-of-the-genetic-diversity-of-the-genus-passiflora-and-its-distribution-in-colombia>.

L'équipe d'analyse des lacunes³ dirigée par Andy Jarvis au GCRAI/IRRI/CIAT s'efforce de concevoir une approche qui permettra aux récolteurs (et aux autres acteurs de la conservation *ex situ* et *in situ*) de déterminer dans quelles régions du monde certains caractères et taxons sont encore sous-représentés parmi les collections cibles des banques de gènes gérées par les centres du GCRAI.

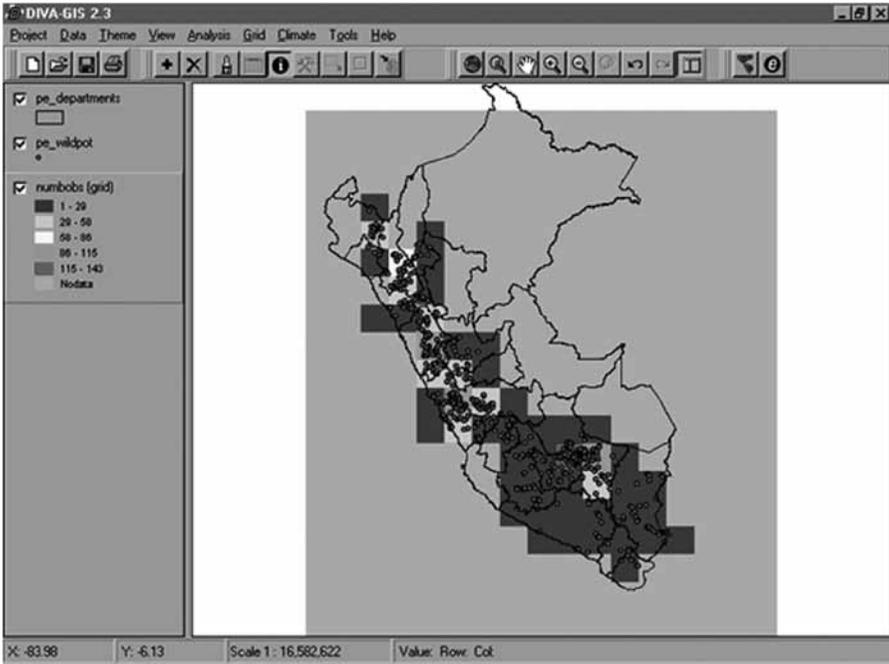


Figure 8.2 Logiciel DIVA-GIS – Fenêtres « Créer un tableau », « Options de sortie » et « Carte principale » ; cette dernière met en évidence la richesse des espèces sauvages de pomme de terre au Pérou (Hijmans et al., 2001).

Les techniques de modélisation des niches bioclimatiques, utilisées pour prédire la répartition des espèces dans les études sur le changement climatique, sont présentées au Chapitre 14.

Variabilité génétique

La variabilité génétique est au cœur de la conservation des ESAPC. Elle est observée à différents niveaux dans les populations de chaque espèce ; dans le cas des ESAPC, certains allèles particuliers peuvent être utilisés comme sources de caractères utiles à des fins de sélection végétale. Pour pouvoir assurer le degré souhaité de variabilité génétique dans le cadre de la conservation d'une ESAPC, il faut habituellement connaître en détail la structure et la distribution de la variabilité génétique au sein de l'espèce et de ses populations. Cette contrainte détermine en grande partie l'emplacement des réserves et les modalités de la stratégie de conservation et du plan de gestion. En outre, meilleure est la représentativité de la variabilité génétique, et plus l'espèce a de chances de continuer à évoluer et à générer de nouvelles variations, ce qui favorise sa pérennité et sa survie à long terme ; l'espèce a également plus de chances de s'adapter aux défis posés par le changement climatique.

Encadré 8.6 Système d'information géographique (SIG)

En un mot, un SIG est l'ensemble constitué de matériel informatique et d'outils logiciels utilisé pour saisir, éditer, stocker, transformer et afficher des données spatiales (géographiquement référencées). Les données saisies peuvent provenir de cartes, de clichés aériens, d'images satellitaires, d'enquêtes et d'autres sources et être présentées sous forme de cartes, de rapports et de plans.

Généralement, un SIG permet d'utiliser des cartes associées à des bases de données. Ces cartes peuvent être constituées par la superposition de plusieurs « couches », contenant chacune des données sur un type d'information particulier. Chacune de ces informations est associée à une représentation graphique sur une carte. Les couches de données sont organisées d'une façon particulière à des fins d'étude et d'analyse statistique. Le SIG organise des données géographiques en une série de couches et de tableaux thématiques.

Le géoréférencement est le processus consistant à attribuer à des documents cartographiques numérisés des coordonnées géographiques susceptibles d'être utilisées par des logiciels tels que des SIG. Le Projet BioGeomancer (<http://www.biogeomancer.org/understanding.html>) fournit des outils d'amélioration des résultats destinés aux organisations qui ont de grandes quantités de données à géoréférencer : en automatisant le géoréférencement de données brutes ; en s'appuyant sur les géoréférences existantes ; en accédant à des répertoires cartographiques et toponymiques ; en générant des positionnements géographiques et symboles d'erreurs répondant à des normes reconnues, exploitables par un logiciel ; et en fournissant des outils de validation des résultats.

Le projet BioGeomancer est le fruit d'une collaboration à l'échelle mondiale entre des naturalistes et des experts en géolocalisation. L'objectif essentiel du projet est d'optimiser la qualité et la quantité des données sur la biodiversité qui peuvent être cartographiées pour faciliter la recherche scientifique, la planification, la conservation et la gestion. Le projet encourage la discussion et a pour objectif la gestion de données géospatiales et leur normalisation ainsi que le développement d'outils logiciels pour s'acquitter de sa mission.

Le consortium BioGeomancer développe actuellement un didacticiel en ligne, des services sur Internet et des applications bureautiques qui assureront un géoréférencement pour les récolteurs, les conservateurs et les utilisateurs des spécimens d'histoire naturelle, notamment des outils logiciels permettant de traiter en langage naturel les données d'archives collectées dans de nombreux formats différents.

Tableau 8.2 Technologies courantes basées sur l'utilisation de marqueurs génétiques et principales caractéristiques de celles-ci

	<u>Abondance</u>	<u>Degré de polymorphisme</u>	<u>Spécificité de locus</u>	<u>Co-dominance d'allèles</u>	<u>Reproductibilité</u>	<u>Quantité de travail requise</u>
Allozymes	Faible	Faible	Oui	Oui	Élevée	Faible
RFLP	Élevée	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Élevée
Mini-satellites	Moyenne	Élevé	Non/Oui	Non/Oui	Élevée	Élevée
Séquençage par PCR	Faible	Faible	Oui	Oui	Élevée	Élevée
RAPD	Élevée	Moyen	Non	Non	Faible	Faible
Micro-satellites	Élevée	Élevé	Oui	Oui	Élevée	Faible
ISSR	Moyenne à élevée	Moyen	Non	Non	Moyenne à élevée	Faible
SSCP	Faible	Faible	Oui	Oui	Moyenne	Faible à moyenne
CAPS	Faible	Faible à moyen	Oui	Oui	Élevée	Faible à moyenne
SCAR	Faible	Moyen	Oui	Oui/Non	Élevée	Faible
AFLP	Élevée	Moyen	Non	Non/Oui	Élevée	Moyenne

Autrefois, la variabilité génétique était souvent déduite à partir de la différenciation morphologique. Au cours des dernières décennies, des techniques biochimiques et moléculaires ont été mises au point, qu'il s'agisse d'analyses iso-enzymatiques ou de techniques basées sur l'étude de l'ADN : séquençage, réaction de polymérisation en chaîne (*Polymerase Chain Reaction*, PCR), cartographie basée sur le polymorphisme de longueur des fragments d'amplification (*Amplification Fragment Length Polymorphism*, AFLP) ou sur le polymorphisme de longueur des fragments de restriction (*Restriction Fragment Length Polymorphism*, RFLP), l'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (*Random Amplified Polymorphic DNA*, RAPD), le polymorphisme de microsatellites ou de séquences répétées en tandem (*Simple Sequence Repeat*, SSR). L'avantage de l'utilisation de marqueurs moléculaires pour étudier la diversité génétique est que ceux-ci ne sont pas influencés par les facteurs environnementaux et rendent compte des similitudes génétiques, même si l'on ne dispose pas au préalable d'informations généalogiques (Kuleung *et al.*, 2006). Les marqueurs moléculaires ne donnent pas tous les mêmes résultats, et chacun a ses caractéristiques propres. Par conséquent, il n'existe pas d'approche moléculaire universelle et il est préférable d'utiliser

Tableau 8.2 Cont.

	<u>Contraintes techniques</u>	<u>Coûts d'exploitation</u>	<u>Coûts de développement</u>	<u>Quantité d'ADN nécessaire</u>	Potentiel d'automatisation
Allozymes	Faibles	Faibles	Faibles	-	Non
RFLP	Élevées	Élevés	Moyens à élevés	Élevée	Non
Mini-satellites	Élevées	Élevés	Moyens à élevés	Élevée	Non
Séquençage par PCR	Élevées	Élevés	Élevés	Faible	Oui
<u>RAPD</u>	Faibles	Faibles	Faibles	Faible	Oui
Micro-satellites	Faibles à moyennes	Faibles à moyens	Élevés	Faible	Oui
ISSR	Faibles à moyennes	Faibles à moyens	Faibles	Faible	Oui
SSCP	Moyennes	Faibles à moyens	Élevés	Faible	Non
CAPS	Faibles à moyennes	Faibles à moyens	Élevés	Faible	Oui
SCAR	Faibles	Faibles	Élevés	Faible	Oui
AFLP	Moyennes	Moyens	Faibles	Moyenne	Oui

ISSR = amplification inter-microsatellites (Intern-Simple Sequence Repeat) ; SCAR = région amplifiée de séquence caractérisée ; CAPS = séquence polymorphe clivée après amplification (Cleaved Amplified Polymorphic Sequence) ; SSCP = polymorphisme de conformation simple brin (Single-Strand Conformational Polymorphism)

Source : Centre for Genetic Resources, université de Wageningen, Pays-Bas. <http://www.cgn.wur.nl/UK/CGN+Plant+Genetic+Resources/Research/Molecular+markers/-+Overview+marker+technology/>; dernière consultation le 20 décembre 2009

plusieurs techniques pour déterminer laquelle est la plus adaptée à une espèce particulière ou aux différents aspects de la conservation et de la gestion des ESAPC.

Une comparaison des différentes approches de criblage moléculaire est présentée dans le Tableau 8.2 ; il convient toutefois de noter que ce domaine évolue rapidement et il est recommandé de solliciter l'aide de spécialistes avant d'entreprendre un criblage. De plus amples détails sur ces techniques

et leur utilisation sont donnés dans des ouvrages tels que Barnes et Breen (2009), de Vicente et Fulton (2004), de Vicente *et al.* (2004) ou encore la synthèse de Karp (2002).

Encadré 8.7 Structure génétique d'une population de *Malus sieversii*, pommier sauvage apparenté au pommier domestique, au Xinjiang, en Chine, déterminée à l'aide de marqueurs SSR

Un ensemble de 109 accessions de *Malus sieversii*, provenant de quatre populations géographiques, a été étudié à l'aide de marqueurs SSR. La localisation des quatre populations était la suivante : Kuerdening, canton de Mohu'er, district de Gongliu ; Jiaowutuohai, district de Xinyuan ; Daxigou, district de Huocheng, préfecture d'Ili ; et monts Baerluke, district de Yumin, préfecture de Tacheng, Région autonome du Xinjiang, Chine. L'objectif de cette étude consistait à déterminer la structure génétique et la diversité de ces populations écogéographiques à l'aide de huit paires d'amorces SSR de pommier. L'analyse a permis de détecter 16 bandes en moyenne dans les quatre populations. La proportion de bandes polymorphes dans la population de Gongliu (89,06 %) est la plus élevée parmi les quatre populations. L'indice de diversité génétique de Nei calculé pour l'ensemble des loci est de 0,257. Un total de 128 loci polymorphes a été détecté et le pourcentage de loci polymorphes (P) est de 100 %, 88,28 %, 84,83 %, 87,50 % et 87,12 %, au niveau de l'espèce et au niveau des populations de Gongliu, Xinyuan, Huocheng et Yumin, respectivement. L'indice de diversité génétique de Nei ($H = 0,2619$) et l'indice d'information de Shannon ($I = 0,4082$) sont plus élevés au niveau de l'espèce qu'au niveau des populations. L'indice de diversité génétique de Nei et l'indice d'information de Shannon dans les quatre populations s'échelonnent dans l'ordre suivant : Gongliu > Huocheng > Xinyuan > Yumin. Les populations de Gongliu et de Xinyuan ont la plus forte identité génétique et la plus courte distance génétique. Le flux de gènes entre populations a été évalué à 7,265 à partir du coefficient de différenciation génétique entre populations ($GST = 0,064$). L'analyse par la méthode de groupement de paires non pondérées en moyenne arithmétique (*Unweighted Pair Group Method Using Arithmetic Average*, UPGMA) montre que les relations génétiques sont les plus étroites entre les populations de Gongliu et de Xinyuan, tandis que la population de Yumin se distingue le plus nettement des trois autres populations. L'analyse UPGMA indique que les quatre populations géographiques sont relativement indépendantes. Néanmoins, un faible échange de gènes entre les populations existe. Compte tenu de la structure génétique de sa population et de sa plus grande diversité, la population de Gongliu devrait être prioritaire pour la conservation *in situ* des populations de *Malus sieversii*.

Source : Zhang *et al.*, 2007

Encadré 8.8 Évaluation de la variabilité génétique de *Coffea*

Les profils de variabilité génétique intra- et inter-populations ont été étudiés pour 14 populations de trois espèces de *Coffea* sauvages endémiques de l'île Maurice par la technique moléculaire RAPD, afin d'analyser les lacunes dans la conservation de la biodiversité par des mesures actives. L'échantillonnage de sites situés sur l'île Maurice avait pour principal objectif de déterminer les relations génétiques intra- et inter-sites, ainsi que d'évaluer l'efficacité du réseau d'aires protégées de l'île Maurice pour la conservation de la diversité génétique de *Coffea* dans ce pays. Deux autres populations de *Coffea mauritiana* situées sur l'île voisine de La Réunion ont également été échantillonnées. Une analyse typologique des données confirme la classification taxonomique de ces taxons en trois groupes correspondant aux espèces *C. macrocarpa*, *C. mauritiana* et *C. myrtifolia* et montre en outre que les accessions de la Montagne des Créoles présentent un caractère distinct et constituent une entité séparée. Les résultats indiquent qu'il existe autant de variation inter- qu'intra-populations (coefficient de Wright $F = 0,522$). Sur les 85 bandes polymorphes, 25 sont spécifiques d'un des quatre groupes et 60 (75 %) sont variables parmi les quatre groupes. Presque tous les individus d'une même population sont rassemblés dans un même groupe. La diversité génétique totale pour l'ensemble des accessions étudiées est de 0,216. Les paramètres génétiques de la population, déterminés pour les différents groupes, indiquent que la variation intra-groupe est plus élevée que la variation inter-groupes. L'indice de diversité génétique (H_j) à l'intérieur de chacun des groupes « *macrocarpa* », « *mauritiana* », « MDC » et « *myrtifolia* » est de 0,168, 0,169, 0,159 et 0,117, respectivement. À l'intérieur du groupe « *mauritiana* », on observe une distinction nette entre les accessions de *C. mauritiana* de l'île Maurice et celles de La Réunion. En outre, le groupe « *mauritiana* » comprenait deux échantillons de la population de Mondrain, précédemment déterminés comme *C. macrocarpa*. Dans le groupe « *macrocarpa* », les populations de *C. macrocarpa* se répartissent en deux groupes principaux. Bassin Blanc et le morphotype différent de la population de Mondrain constituent un groupe distinct, tandis que le reste des populations de *C. macrocarpa* est rassemblé dans un deuxième groupe. Dans le groupe « *myrtifolia* », on constate une séparation nette entre les populations de *C. myrtifolia* de l'ouest et de l'est de l'île, ce qui concorde avec la répartition géographique des populations.

Source : Dulloo, 1998

On trouvera un exemple d'étude de la diversité génétique de l'ESAPC *Malus sieversii* dans l'Encadré 8.7 tandis que l'Encadré 8.8 présente l'évaluation de la variabilité génétiquement significative de *Coffea*. Dans le cas de *Malus*

orientalis (Volk *et al.*, 2009), des données génotypiques (sept marqueurs microsatellites) et des données sur la résistance aux maladies ont été collectées pour 776 arbres en Arménie, en Géorgie, en Turquie et en Russie. Un total de 106 allèles a été identifié pour les arbres de Géorgie et d'Arménie et la diversité génétique moyenne s'échelonne de 0,47 à 0,85 par locus. Il s'avère que la différenciation génétique entre les sites d'échantillonnage est plus grande que celle observée entre les deux pays.

Bien que l'on ait coutume de dire que la conservation génétique doit permettre de capturer le maximum de variabilité génétique d'une espèce (voir par exemple Hawkes, 1987), cet objectif louable ne doit pas être poursuivi si cela suppose de laisser s'éteindre un grand nombre d'autres espèces. L'ampleur des efforts à consacrer à l'échantillonnage génétique d'une ESAPC particulière dépendra du niveau de priorité accordé à cette espèce, des fonds et autres ressources disponibles et de la difficulté de l'évaluation de la variabilité génétique. Évidemment, même s'il est possible d'étudier en détail la variabilité génétique d'une ESAPC, cela ne signifie pas nécessairement qu'il est possible ou faisable de conserver l'intégralité de cette diversité dans des réserves génétiques ; ce type d'étude constitue néanmoins une aide pour la sélection des populations à conserver.

Par ailleurs, il faut reconnaître que pour de nombreuses espèces – peut-être la majorité d'entre elles – il y a peu de chances que l'on dispose dans un avenir proche de données génétiques détaillées, du simple fait des coûts et du travail que cela implique. Comme le font remarquer Gole *et al.* (2002) au sujet de la conservation du pool de gènes de *Coffea arabica*, l'étude de la répartition et de la structure génétique de ses populations « est l'une des principales pierres d'achoppement de la recherche caféière en Éthiopie, car elle implique des coûts considérables et nécessite des équipements de laboratoire de pointe et du personnel hautement qualifié, que l'Éthiopie n'a pas les moyens de financer. » Dans ce cas, il faut avoir recours à des informations de substitution (Dulloo *et al.*, 2008 ; voir également l'Encadré 8.8), en utilisant par exemple la différenciation morphologique comme indicateur de différences génétiques sous-jacentes ou encore le zonage écovénétique, basé sur l'hypothèse selon laquelle la variabilité écologique est le reflet de la variabilité génétique (Theilade *et al.*, 2000).

Combien d'individus et de populations ?

Combien d'individus et de populations d'une espèce cible faut-il conserver pour assurer la viabilité de celle-ci ? C'est l'une des questions les plus délicates de la biologie de la conservation des espèces. Comme le font remarquer Heywood et Dulloo (2005), « Le nombre d'individus nécessaires au maintien de la diversité génétique dans les populations a donné lieu à de nombreux travaux et il existe une abondante littérature sur des sujets tels que l'analyse de viabilité des populations (AVP), la taille de la population

minimale viable (PMV), la taille de la population minimale effective et, dans le cas des métapopulations, la taille de la métapopulation minimale viable (*minimum viable metapopulation*, MVM) et l'habitat approprié et disponible minimal (*minimum available suitable habitat*, MASH) (Hanski *et al.*, 1996). L'habitat disponible minimal est un concept relativement nouveau qui présente un potentiel important pour la restauration d'espèces ainsi que pour disposer d'échantillons représentatifs de la diversité allélique ou de l'hétérozygotie. De même, il faut déterminer le nombre de populations à inclure dans une réserve ou un réseau de réserves, de façon à ce que le maximum de la variabilité génétique de l'ESAPC soit représenté ; ce nombre dépend de la répartition de l'espèce et de ses populations et de la distribution de la variabilité entre les différentes populations – deux paramètres dont l'évaluation peut nécessiter des efforts considérables (voir Dulloo *et al.*, 2008, pp. 31–32, pour une analyse et une explication de ce point). Cependant, dans le cas de la conservation *in situ*, on recommande en règle générale un minimum de cinq populations par réserve génétique (Dulloo *et al.*, 2008 ; Brown et Briggs, 1991). Bien souvent, il n'est pas possible, pour des raisons pratiques, politiques ou économiques de se fixer pour objectif une représentation de l'intégralité de la variabilité génétique.

Encadré 8.9 Concepts de viabilité des populations et métapopulations

L'analyse de viabilité des populations (AVP) est une approche consistant à estimer la probabilité qu'une population de taille déterminée se maintienne pendant une durée déterminée. C'est une analyse globale des nombreux facteurs environnementaux et démographiques qui affectent la survie d'une population (généralement petite) (Morris et Doak, 2002).

La population minimale viable (PMV), concept introduit par Soulé (1986) dans le domaine de l'étude biologique des populations, désigne la plus petite taille de population qui se maintiendra pendant une durée déterminée avec une probabilité déterminée.

L'habitat disponible minimal (MASH) est le nombre (approximativement 15–20) de parcelles suffisamment reliées entre elles nécessaire pour assurer la survie à long terme d'une métapopulation (Hanski *et al.*, 1996 ; Hanski, 1999).

La taille de la métapopulation minimale viable (MVM) est une estimation du nombre minimal de populations locales interactives nécessaire à la survie à long terme d'une métapopulation (Hanski *et al.* 1996).

Source : Heywood et Dulloo, 2005

Données écologiques

Identifier les conditions écologiques dans lesquelles se développe l'espèce cible est l'un des principaux objectifs de l'étude écogéographique. Bien qu'une partie des informations puisse être obtenue grâce à la littérature et aux données des étiquettes de spécimens d'herbier, dans la plupart des cas il est nécessaire d'effectuer une enquête sur le terrain. Il n'existe pas de critères convenus en matière de collecte de données écologiques, mais certains d'entre eux sont néanmoins recommandés :

- Types d'habitats – Bien qu'il n'existe aucun inventaire mondial des types d'habitats reconnus, de nombreux pays ont élaboré leur propre classification, utilisée dans les documents officiels. La Directive de l'Union européenne concernant la conservation des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvages (Directive Habitats) énumère 218 types d'habitats en Annexe 1 (voir la liste et l'analyse des questions associées présentées par Evans, 2006) ;
- État de l'habitat ;
- Régimes de perturbations ;
- Menaces pesant sur l'habitat ;
- Topographie ;
- Répartition altitudinale ;
- Types de sols ;
- Pente et aspect ;
- Utilisation des sols et/ou pratiques agricoles.

Pour certaines espèces, il existe peut-être déjà une caractérisation phytosociologique ; à défaut, celle-ci peut être effectuée sur le terrain.

Il faut également mentionner la liste des descripteurs établie par *Bioversity International* en vue de fournir un modèle standard applicable à la collecte, au stockage, à la recherche et à l'échange des savoirs sur les plantes acquis par les agriculteurs (*Bioversity* et *The Christensen Fund*, 2009). Pour l'application d'approches participatives à la collecte de données, voir le Chapitre 5 de ce manuel ainsi que Hamilton et Hamilton (2006) et Cunningham (2001).

Méthodologies à suivre pour les enquêtes de terrain

La quantité de travail qui peut être accomplie sur le terrain dépend de l'espèce cible et des conditions locales. En résumé, il faut déterminer la latitude, la longitude et l'altitude de chaque site à l'aide d'un Système de positionnement mondial (*Global Positioning System*, GPS) et consigner sur des fiches les descripteurs du site (région géographique, nom de la route ou du village, proximité par rapport aux principaux points de repère)

ainsi que ses caractéristiques physiques (type d'habitat, pente, aspect et emplacement précis des plants de l'espèce cible sur le site, le cas échéant). Les étapes à suivre pour préparer ce travail sur le terrain sont indiquées par Hawkes *et al.* (2000) ; il faut cependant noter que si les recommandations formulées concernent des approches *ex situ*, elles sont souvent applicables aux enquêtes menées à des fins de conservation *in situ*. Une formation devra être dispensée (voir le Chapitre 15), bien que peu de centres ou universités proposent des cursus adaptés.

Analyse des données et présentation des résultats

Les données collectées lors des études écogéographiques peuvent être analysées de différentes façons (analyse discriminante ou analyse en composantes principales, par exemple). Pour la visualisation, l'analyse et la gestion des données spatiales, un progiciel intégrant un SIG (ArcInfo, WorldMap ou DIVA, par exemple) peut être utilisé.

L'un des principaux produits d'une étude écogéographique est la synthèse des données écogéographiques, qui est un résumé formel des informations taxonomiques, géographiques et écologiques disponibles sur le taxon cible, collectées à partir des Herbiers et des enquêtes sur le terrain (Maxted *et al.*, 1995). La synthèse des données écogéographiques est organisée par espèce et contient les informations suivantes : nom de taxon admis, auteur(s), dates de publication, synonymes, description morphologique, répartition, phénologie, altitude, écologie et remarques relatives à la conservation. Par exemple, Dulloo *et al.* (1999) ont publié une étude écogéographique sur le genre *Coffea* dans les Mascareignes contenant une synthèse des données écogéographiques (Encadré 8.10).

Encadré 8.10 Exemple de synthèse des données écotogéographiques

C. mauritiana Lam., Encycl. 1: 550 (1783) ; DV Prodr. 4 : 499 (1830) ; Bojer, H.M. : Baker, F.M.S. : 152 ; Cordem., F.R. : 506 ; R.E. Vaughan. Maur. Inst. Bull. 1 : 44 (1937) ; A. Chevalier, Rev. Bot. Appl. 18 : 830 (1938) ; Rivals, Et. Veg. Nat. Réunion : 174 (1960).

Synonymes : *C. sylvestris* Willd. ex. Roemer et Schultes, Syst. Vég. 5 : 201 (1819). Type La Réunion. *C. nossikumbaensis* A.Chev., Rev. Bot. Appl. 18 : 830 (1938). Type Nossi Kumba. *C. campaniensis* Leroy. Journ. Agr. Trop. Bot. Appl. 9 : 530 (1962) Type Mauritius. *Geniostoma reticulatum* Cordem., F.R. : 464 Type La Réunion.

Description morphologique : Arbuste ou petit arbre, atteignant environ 6 m de hauteur, avec des ramifications verticillées. Feuilles glabres, coriaces, obovales à elliptiques, acuminées, cunéiformes et décurrentes, de 4–10 cm de longueur par 2–6 cm de largeur, avec 6 à 8 paires de nervures secondaires. Pétiole : 3–10 mm de longueur. Stipule deltoïde, de 2–8 mm de longueur. Inflorescence axillaire et érigée. Fruit ovoïde à oblong, de 18–20 mm de longueur, de couleur vert jaunâtre virant au mauve à maturité.

Répartition : Endémique à l'île Maurice et La Réunion. Sur l'île Maurice, *C. mauritiana* n'est présente qu'à Plaine Champagne, Mt Cocotte, Pétrin et Les Mares. L'espèce a été historiquement observée dans trois autres localités, à savoir : Montagne du Pouce, Nouvelle Découverte et Mon-Goût. Cette espèce est plus répandue sur l'île de La Réunion.

Phénologie : Bourgeons, d'août à novembre ; fleurs, de novembre à décembre ; fruits, d'avril à août.

Altitude : 270–1500 m. À La Réunion, *C. mauritiana* présente une répartition altitudinale large : elle est présente de 270 m (à Mare Longue) à environ 1500 m au-dessus du niveau de la mer (à Bebour). Sur l'île Maurice, la répartition altitudinale de l'espèce est très étroite (700–760 m).

Écologie : forêt ombrophile humide subalpine de moyenne à haute altitude. Sur l'île Maurice, *C. mauritiana* est très localisée et est présente sur le plateau montagneux situé dans les zones surhumides (pluviométrie : 2 500 – 5 000 mm par an) (Vaughan et Wiehe, 1937) de Mt. Cocotte et Plaine Champagne. Plaine Champagne, située dans une zone de cuirasses de nappe (*ground water laterite*) constituées de dalles hautement ferrugineuses (Parish et Feillafe, 1965), permet la survie d'une canopée ouverte formée de bosquets nains d'espèces locales excédant rarement 5 m de hauteur. La zone présente une composition floristique riche, composée principalement de *Sideroxylon cinereum* et

S. puberulum (Sapotacées), *Aphloia theiformis* (Flacourtiacées), *Olea lancea* (Oléacées), *Gaertnera* spp. (Rubiacees), *Nuxia verticillata* (Loganiacées), *Antirhea borbonica* (Rubiacees) et *Syzygium glomeratum* (Myrtacées). Du fait de la pluviométrie élevée de la zone, le sol est recouvert d'un épais tapis de bryophytes, associé à de nombreuses fougères et orchidées épiphytes ou terricoles. L'habitat est fortement envahi par *Psidium cattleianum* (Myrtacées), qui est l'espèce dominante dans la zone.

L'habitat à Mt. Cocotte a été décrit comme une forêt oro-néphéophile à bryophytes (Vaughan et Wiehe, 1937 ; Lorence, 1978). Il se caractérise par une pluviométrie très élevée (souvent supérieure à 5 000 mm) et est souvent enveloppé de nuages et de brouillards nocturnes (Vaughan et Wiehe, 1937). La communauté végétale de Mt. Cocotte est une formation rélictuelle issue de la végétation locale originelle et constituée d'espèces telles que *Nuxia verticillata* (Loganiacées), *Tambourissa* spp., *Monimia ovalifolia* (Monimiacées), *Syzygium mammillatum*, *Eugenia* spp. (Myrtacées) et *Casearia mauritiana* (Flacourtiacées). La végétation est peu stratifiée. L'ensemble de la zone est aujourd'hui très dégradé et fortement envahi par des plantes exotiques telles que *Psidium cattleianum* (Myrtacées), *Homalanthus populifolius* (Euphorbiacées) et *Rubus alceifolius* (Rosacées).

Remarques relatives à la conservation. Statut UICN : CR (B 1,2) sur l'île Maurice ; VU (C 2a) à La Réunion. Le statut de conservation UICN de *C. mauritiana* sur l'île Maurice est ici classifié comme « En danger critique d'extinction » (CR), conformément aux critères B 1,2. La zone d'occupation est inférieure à 1 km² et on considère qu'il n'existe qu'une population importante, à P. Champagne. Les autres sites (Mt Cocotte, Les Mares et Pétrin) se caractérisent tous par la présence d'individus très dispersés et à ce titre ne constituent pas des populations. Le site est fortement envahi par des plantes exotiques, principalement *Psidium cattleianum* (goyavier de Chine) et il n'y a aucun signe de régénération de *C. mauritiana*. D'après les estimations, la population compte de 350 à 400 plants sur ce site, concentrés sur une superficie d'environ quatre à cinq hectares. De plus, la zone attire de nombreux visiteurs, qui viennent récolter les goyaves - l'une des occupations favorites des Mauriciens, qui risque de nuire à la flore menacée de l'île. Sur les autres sites (Les Mares et Pétrin, en particulier) seuls de rares spécimens ont été observés. Aux Mares, il n'y a qu'un plant qui se développe sous une ligne à haute tension en bordure de route. La majeure partie de cette zone a été convertie en plantations où sont cultivées des essences forestières exotiques telles que *Pinus elliotii* et *Eucalyptus* spp. À Mt. Cocotte, il n'y a qu'une petite population stérile de *C. mauritiana* (15 individus). Celle-ci se développe dans une Zone de gestion des ressources génétiques (*Conservation Management Area*), parcelle de forêt gérée de façon active dont sont exclues les espèces exotiques (Dulloo et al, 1996) ; malheureusement, la population de *C. mauritiana* ne se régénère

pas. Ces trois dernières années, trois des plants qui se développaient sur le site sont morts.

À La Réunion, *C. mauritiana* est plus répandue que sur l'île Maurice. Au cours de cette étude, seuls quelques sites ont été visités et l'espèce a été observée ponctuellement dans ces zones. Par conséquent, il est difficile d'évaluer son état de conservation global sur l'ensemble de l'île. Cependant, une discussion avec des chercheurs de l'université de La Réunion suggère que le statut UICN de *C. mauritiana* peut être considéré comme « Vulnérable » (T. Pailler, communication personnelle).

Source : d'après Dulloo et al., 1999

Encadré 8.11 Outils analytiques utilisés pour évaluer l'état de conservation des ESAPC et en assurer le suivi dans chaque pays

Arménie : DIVA-GIS et d'autres logiciels SIG ont été utilisés pour l'inscription sur la Liste rouge et le suivi.

Bolivie : DIVA-GIS, ArcView et ArcGIS ont été utilisés pour identifier les sites de collecte d'espèces appartenant à 13 genres dans les différents départements de Bolivie, à l'intérieur et en-dehors des aires protégées, et à l'intérieur et en dehors des terres communautaires. En 2007 et 2008, les modèles de prédiction Bioclim, Domain et Maxent ont été utilisés pour déterminer la répartition potentielle des ESAPC, et Maxent pour déterminer l'effet du changement climatique sur la répartition des espèces prioritaires choisies. L'outil Gisweb a également été développé pour visualiser différents types de cartes à l'aide des fonctionnalités de Google Maps. Ces cartes intègrent notamment les cours d'eau principaux et secondaires et les informations sur les ESAPC accessibles *via* le portail national. GISWEB permet d'accéder à des cartes satellitaires sur lesquelles on peut effectuer un zoom avant pour afficher plus de détails (Bellot et Cortez, 2010 ; Bellot et Justiniano, 2010).

Madagascar : L'analyse des données a été effectuée à l'aide de Domain, FloraMap, ArcGIS et d'autres logiciels SIG. Le Comité de gestion de l'information (*Information Management Committee*, IMC) teste actuellement l'application de DIVA-GIS à l'analyse de données.

Sri Lanka : DIVA-GIS a été utilisé pour cartographier la répartition actuelle et FloraMap pour prédire la répartition potentielle des ESAPC.

Ouzbékistan : DIVA-GIS et MapSource ont été utilisés pour générer des cartes de répartition par espèce.

Résultats obtenus dans chaque pays

Arménie

Recherche documentaire

La première étape a consisté à collecter les informations disponibles sur la taxonomie, l'occurrence et la répartition, les caractéristiques biologiques, l'état de conservation et les utilisations des 104 ESAPC cibles. Ce travail a été effectué au moyen de recherches bibliographiques et en examinant les données passeport des Herbiers de l'Institut de botanique de l'Académie nationale des Sciences, du Laboratoire de recherche sur les ressources phytogénétiques de l'université agricole d'État d'Arménie et du Département de botanique de l'université d'État d'Erevan, ainsi que les archives des collections (*ex situ*) de la banque de gènes de l'université agricole d'État d'Arménie. Les sources bibliographiques consultées comprennent notamment : Takhtajan, *Flora of Armenia* ; Grossheim, *Flora of the Caucasus* ; la Liste rouge des espèces menacées d'Arménie ; Gabrielyan et Zohary (2004), *Wild relatives of food crops native to Armenia and Nakhichevan* ; Czerepanov, *Vascular Plants of Russia and Adjacent States* ; la base de données du Réseau d'information sur les ressources génétiques (GRIN)/ Ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA) ; et d'autres sources sur le même thème. Des experts ont été consultés le cas échéant.

Enquêtes de terrain

Des enquêtes de terrain approfondies ont été menées dans les régions administratives (*marzer*) d'Arménie et dans la ville d'Erevan (Tableau 8.3) durant deux années consécutives (2006 et 2007), de la fin du printemps à l'automne. Dans la mesure du possible, ces enquêtes ont été menées pendant la période de floraison ou de fructification, les espèces étant alors plus faciles à identifier. De légers ajustements ont été opérés en fonction de chaque espèce et de l'altitude des différentes régions. Par exemple, les sites à des altitudes relativement élevées (1500–2000 m) ont été visités plus tard (juillet-août) que ceux des régions de basse altitude.

L'équipe en charge de ces enquêtes de terrain était constituée d'experts - notamment de taxonomistes - de l'Institut de botanique, de l'université agricole d'État d'Arménie et de l'équipe locale du Projet ESAPC. Bien que la majorité des enquêtes sur le terrain ait été organisée (et financée) par le Projet ESAPC du PNUE/FEM, quelques déplacements ont également bénéficié du soutien d'autres projets alors en cours à l'Institut de botanique et à l'université agricole d'État d'Arménie (Tableau 8.3).

Tableau 8.3 Enquêtes écogéographiques et régions administratives (*marzer*) étudiées en Arménie

Date	Régions administratives (<i>marzer</i>)	Étude organisée par	Expédition
01.06.2006	Marz d'Ararat	Projet ESAPC-Arménie et université agricole d'État d'Arménie	Omaro_1_2006
03.06.2006	Ville d'Erevan et marz de Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie	Erebouni_1_2006
12.06.2006	Marzer de Chirak et Aragatsotn	Projet ESAPC-Arménie	Talin_1_2006
20.06.2006	Marz de Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie	Abovian_1_2006
06.07.2006	Ville d'Erevan et marzer de Kotaïk, Ararat, Aragatsotn et Tavouch	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O_6_2006
15.07.2006	Marzer d'Ararat, Vaïots Dzor et Guegharkounik	Projet ESAPC-Arménie	Eghegnadzor_1_2006
02.08.2006	Marzer de Vaïots dzor, Kotaïk, Lori et Tavouch	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O_5_2006
03.08.2006	Marz d'Ararat	Projet ESAPC-Arménie	Khosrov_1_2006
10.08.2006	Marz de Siounik	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O_4_2006
17.08.2006	Marzer de Tavouch, Lori et Aragatsotn	Projet ESAPC-Arménie	Dilijan_1_2006
20.08.2006	Marz d'Ararat	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O_3_2006
27.08.2006	Marz d'Aragatsotn	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O_2_2006
29.09.2006	Marzer d'Aragatsotn et Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie	AknaLich_1_2006
08.10.2006	Marz de Siounik	Projet ESAPC-Arménie	ShikahoghZ_1_2006
01.06.2007	Marzer d'Aragatsotn et Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O3_Ivan_2007
10.06.2007	Marzer de Vaïots dzor et Siounik	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O2_Ivan_2007
16.06.2007	Marzer d'Aragatsotn, Chirak et Lori	Projet ESAPC-Arménie	Stepanavan_1_2007

Date	Régions administratives (marzer)	Étude organisée par	Expédition
04.07.2007	Marz de Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie	Erebouni_2_2007
14.07.2007	Marzer d'Ararat, Vaïots Dzor et Siounik	Projet ESAPC-Arménie	Siounik_1_2007
21.07.2007	Marzer de Kotaïk, Siounik, Vaïots Dzor et Lori	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O_7_2007
24.07.2007	Ville d'Erevan et marz de Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie	erebouni_1_2007
28.07.2007	Marz de Guegharkounik	Projet ESAPC-Arménie	Sevan_1_2007
29.07.2007	Marz de Tavouch	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O1_Ivan_2007
28.08.2007	Ville d'Erevan et marz de Kotaïk	Projet ESAPC-Arménie	Garni_1_2007
30.08.2007	Marz d'Aragatsotn	Projet ESAPC-Arménie	Bjurakan_1_2007
07.09.2007	Marz de Siounik	Projet ESAPC-Arménie et Institut de botanique	O4_Ivan_2007
23.09.2007	Marzer de Tavouch et Guegharkounik	Projet ESAPC-Arménie	Shamshadin_1_2007

Les données collectées au cours des enquêtes sur le terrain comprenaient :

- latitude, longitude et altitude (enregistrées à l'aide d'un GPS) ;
- description du site (entité administrative et village le plus proche, notamment) ;
- caractéristiques pédologiques ;
- état de conservation de la zone ;
- densité moyenne (nombre de plants par aire unitaire) ;
- superficie approximative occupée par chaque sous-population et/ou communauté végétale ;
- phénologie des populations (période d'éclosion des bourgeons, de floraison, etc.) ;
- menaces actuelles et potentielles pesant sur les populations.

Des questionnaires spéciaux ont été élaborés pour collecter les données, qui ont ensuite été saisies dans une base de données. Lorsque l'espèce n'a pu être identifiée avec suffisamment d'exactitude, un spécimen a été prélevé pour pouvoir l'identifier à l'Herbier. Dans la mesure du possible, des semences ont été collectées (sommités) pour pouvoir être conservées *ex situ* dans la banque de gènes de l'université agricole d'État d'Arménie à titre de

mesure de conservation complémentaire. La collecte a été effectuée de façon à refléter le maximum de diversité génétique des populations sans mettre en danger les populations naturelles, conformément aux Lignes directrices techniques de l'UICN en matière de gestion des populations *ex situ* (UICN, 2002). Les données collectées ont été saisies dans une base de données (Microsoft Access).

Synthèse des résultats de la recherche documentaire

Il convient de noter que la liste initiale de 104 espèces a été réduite à 99 : il a été décidé que deux espèces devaient en être exclues, car leur présence naturelle en Arménie était discutable (*Aegilops umbellulata* et *Cicer minutum*) ; *Crysopsis sebastianii* a été exclu car c'est un synonyme de *Trifolium sebastianii*, déjà inclus dans le projet ; et *Vitis vinifera* a été exclu de la liste car un vaste projet financé par une autre agence internationale lui était déjà consacré.

Les informations collectées ont été utilisées pour esquisser une répartition préliminaire des espèces et définir le calendrier et les grands axes des études de terrain.

Synthèse des résultats des enquêtes de terrain

Les études de terrain ont couvert la quasi-totalité des régions administratives (*marzer*) d'Arménie, à l'exception du *marz* d'Armavir. Au total, 571 populations représentant 79 espèces ont été étudiées sur le terrain et les données ainsi obtenues ont été consignées. Les 20 autres espèces n'ont pas été localisées, pour différentes raisons : on pense que l'une d'entre elles (*Aegilops crassa*) n'existe plus à l'état sauvage en Arménie ; les autres sont rares et n'ont pu être localisées sur le terrain, soit en raison d'un manque de temps, soit parce que leurs données passeport n'étaient pas suffisamment détaillées pour planifier un travail de terrain apte à couvrir leurs sites d'implantation.

Comme l'ont permis de déterminer les enquêtes sur le terrain, les principales menaces pesant sur les populations comprennent le pâturage incontrôlé et la fauche, l'urbanisation (notamment dans le cas des populations à proximité de la ville d'Erevan), la privatisation des terres lorsqu'elle s'accompagne de la construction de bâtiments ou d'activités agricoles, la construction de routes, l'industrie extractive dans le sud de l'Arménie, le changement climatique (notamment l'aridité croissante) et la collecte sauvage des légumes-feuilles au printemps et des fruits/baies sauvages. Les résultats obtenus pour certaines espèces sont présentés dans les Tableaux 8.4 à 8.7.

Tableau 8.4 *Triticum araraticum*

	Réserve d'État d'Erebouni (données de suivi)	Arménie (données issues de l'enquête de terrain)
Taille de la population :	1 832 000	65 900 000
Surface couverte :	20,9 ha	3 200 ha
Menaces :	Pâturage illicite, dépôt de substances chimiques	Développement agricole, utilisation des sols
Tendance générale :	Stable	En déclin

Tableau 8.5 *Triticum boeoticum*

	Réserve d'État d'Erebouni (données de suivi)	Arménie (données issues de l'enquête de terrain)
Taille de la population :	42 354 000	6 853 000 000
Surface couverte :	52,3 ha	14 400 ha
Menaces :	Pâturage illicite, dépôt de substances chimiques	Développement agricole, utilisation des sols
Tendance générale :	Stable	En déclin

Tableau 8.6 *Triticum urartu*

	Réserve d'État d'Erebouni (données de suivi)	Arménie (données issues de l'enquête de terrain)
Taille de la population :	837 000	837 000
Surface couverte :	5,2 ha	5,2 ha
Menaces :	Pâturage illicite, dépôt de substances chimiques	Pâturage illicite, dépôt de substances chimiques
Tendance générale :	En déclin	En déclin

Tableau 8.7 *Aegilops tauschii*

	Réserve d'état d'Erebouni (données de suivi)	Arménie (données issues de l'enquête sur le terrain)
Taille de la population :	837 000	5 647 000 000
Surface couverte :	5,2 ha	6 240 000 ha
Menaces :	Pâturage illicite, dépôt de substances chimiques	Développement agricole, utilisation des sols
Tendance générale :	En déclin	En déclin

Bolivie

Types de données consignées

De début 2006 à mi-2009, les chercheurs des partenaires institutionnels du projet ont entrepris des évaluations sur le terrain et collecté des données écogéographiques après avoir identifié les zones cibles à l'aide de cartes présentant la répartition potentielle des ESAPC. Les données ont été collectées au moyen de fiches de terrain élaborées par chaque institution participante, en tenant compte des domaines/descripteurs de la base de données du Système d'information national sur les espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées (*National Information System of Crop Wild Relatives*, NISCWR), qui sont répartis en sept catégories (taxons, sites, contacts, sources, accessions, spécimens et populations). Ces données sont incluses dans la base de données du NISCWR, accessible au public par le biais des portails national et international www.cropwildrelatives.org et www.cwrbolivia.gob.bo.

De 2006 à 2009, les chercheurs des institutions partenaires ont classé méthodiquement les informations obtenues au cours de la recherche documentaire et les données de terrain collectées sur un total de 201 espèces de 14 genres (*Anacardium*, *Ananas* et *Pseudoananas*, *Annona*, *Arachis*, *Bactris*, *Capsicum*, *Chenopodium*, *Cyphomandra*, *Euterpe*, *Ipomoea*, *Manihot*, *Phaseolus*, *Rubus*, *Solanum*, *Theobroma* et *Vasconcellea* (*Carica*)). Les données consignées sur les espèces de ces 14 genres conformément aux sept catégories de descripteurs/domaines du NISCWR sont récapitulées dans le Tableau 8.8.

Tableau 8.8 Types de données consignées pour chaque genre à l'issue de la recherche documentaire et des études de terrain sur la période 2006–2009, en Bolivie

Type de données	Genres et espèces pour lesquels des données ont été consignées															
	Anacardium	Ananas et Pseudosanas	Annona	Arachis	Bactris	Capsicum	Chenopodium	Cyphomandra	Euterpe	Ipomoea	Manihot	Phaseolus	Rubus	Solanum	Theobroma	Vasconcellea
6.5 Source (action, endroit)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.6 Échantillon																
6.7 Donation (nombre de spécimens, entité, date de donation, accord de donation, accord relatif au transfert de matériel, commentaires)																
6.8 Biologie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.9 Action (dates, intervenants, collection, identification de la collection)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.10 Échantillon (archivage de l'identification, justificatif, distribution)																
7. Populations																
7.1 Identification	✓															
7.2 Date	✓															
7.3 Intervenant	✓															
7.4 Méthodologie	✓															
7.5 Caractérisation (abondance, densité du couvert, menaces)	✓		✓										✓			

Les deux tableaux suivants présentent les données collectées sur les populations des taxons d'ESAPC prioritaires :

Tableau 8.9 Nombre de populations de 14 espèces sauvages du genre *Arachis* étudiées dans chaque zone biogéographique de Bolivie dans le cadre de travaux de thèse (2007-2009) couplés aux enquêtes sur le terrain et au corpus documentaire du Projet ESAPC

Genre	Province biogéographique	Espèce	Populations recensées	Populations étudiées	% des populations étudié
<i>Arachis</i>	Chaco Boreal – département occidental	<i>Arachis batizocoi</i>	23	5	13,0
		<i>Arachis duranensis</i>	51	5	7,8
	Département du Cerrado / Chiquitano	<i>Arachis cardenasii</i>	51	20	39,2
		<i>Arachis cruziana*</i>	18	10	55,5
		<i>Arachis chiquitana*</i>	4	2	50,0
		<i>Arachis glandulifera</i>	45	11	24,4
		<i>Arachis herzogii*</i>	16	11	68,8
		<i>Arachis kempff-mercadoi*</i>	45	5	11,1
		<i>Arachis krapovickasii*</i>	6	2	33,3
		<i>Arachis magna</i>	26	8	30,7
		<i>Arachis sp*</i>	5	5	100,0
	Département du Beni / Llanos de Moxos	<i>Arachis benensis*</i>	5	2	40,0
		<i>Arachis trinitensis*</i>	4	3	75,0
		<i>Arachis willamsii*</i>	7	4	57,0
Total			306	90	29 %

Source : Ramos Canaviri, 2009

Tableau 8.10 Nombre annuel de localités visitées dans le cadre des enquêtes écogéographiques

Genre 2006-2009	Nombre annuel de localités visitées				Nombre total de localités
	2006	2007	2008	2009	
<i>Anacardium</i>	0	2	0	0	2
<i>Ananas-Pseudoananas</i>	5	5	2	0	12
<i>Annona</i>	32	53	30	0	115
<i>Arachis</i>	0	108	0	0	108
<i>Bactris</i>	0	0	0	0	0
<i>Cyphomandra</i>	0	12	1	0	13
<i>Chenopodium</i>	0	0	12	0	12
<i>Euterpe</i>	1	0	0	0	1
<i>Ipomoea</i>	10	27	31	0	68
<i>Manihot</i>	13	46	36	0	95
<i>Phaseolus</i>	0	0	22	0	22
<i>Theobroma</i>	20	16	21	0	57
<i>Rubus</i>	0	58	9	0	67
<i>Solanum</i>	6	20	9	5	40
<i>Vasconcellea</i>	0	26	11	0	37
Nombre total de localités	87	373	184	5	
Nombre total de localités sur la période 2006-2009					649

Source : vice-ministère de l'Environnement, de la biodiversité et du changement climatique, de la gestion et du développement forestiers (VMABCCGDF) – Bioversity International, 2010. Rapport technique des partenaires institutionnels du Projet ESAPC pour la période 2006-2008 et Inventaire des spécimens collectés par les partenaires institutionnels du Projet ESAPC sur la période 2006-2009

Sri Lanka

Des enquêtes écogéographiques ont été menées dans l'ensemble du pays, à l'exception de la Province du Nord. Au total, 1 121 sites, positionnés par GPS, ont été identifiés comme abritant des espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées prioritaires, à la lumière de l'enquête de terrain, des données

passport, des spécimens d'herbier et d'une analyse bibliographique. Le nombre total de positionnements GPS est indiqué sur la carte jointe (Figure 8.3) et présenté séparément pour chaque genre.



Figure 8.3 Carte représentant les sites d'étude écogéographique des ESAPC cibles au Sri Lanka

Tableau 8.11 Synthèse des positionnements GPS identifiés au Sri Lanka

Genre	PP+HS+Lit.*	Études de terrain	Total
<i>Oryza</i>	111	180	291
<i>Musa</i>	30	3	33
<i>Vigna</i>	129	56	185
<i>Piper</i>	241	100	341
<i>Cinnamomum</i>	182	89	271
Total	693	428	1 121

*PP=Données *passport*, HS=Étiquettes des spécimens d'herbier, Lit=Données de la littérature

Les coordonnées géographiques obtenues pour les unités de peuplement ont été saisies dans les logiciels FloraMap, Garmin Mapsource et DIVA-GIS afin d'élaborer des cartes de répartition et de prédiction permettant d'identifier les zones restant à étudier ainsi que les lacunes des enquêtes écogéographiques.

Deux études de types différents ont été réalisées dans le cadre du projet : d'une part, une analyse bibliographique pour pouvoir disposer d'informations de référence sur les ESAPC et d'autre part, une enquête sur le terrain afin de déterminer l'état actuel des sites où les ESAPC ont été observées dans le passé et d'identifier de nouveaux sites potentiels. L'enquête de terrain a été menée dans différentes parties de l'île, tel qu'indiqué dans le Tableau 8.11 et la Figure 8.3. Les descripteurs écogéographiques ont été définis pour chacune des ESAPC prioritaires potentielles à l'aide des informations disponibles et collectées.

L'étude écogéographique a été réalisée pour les espèces sauvages prioritaires du Sri Lanka entre août 2005 et décembre 2007, dans des zones ciblées. Les données relatives aux habitats et les données taxonomiques ont été consignées sur une fiche d'enquête de terrain, et des spécimens d'herbier ont été préparés. Des photographies ont été prises pour conserver des informations importantes sur les habitats et certaines caractéristiques des plantes. Un GPS paramétré avec le système géodésique WGS 84 a été utilisé pour préciser les sites d'observation d'ESAPC. Étant donné que les spécimens d'herbier n'étaient généralement pas assortis de coordonnées géographiques, chacun d'entre eux a été examiné manuellement et s'est vu attribuer des coordonnées approximatives à l'aide d'informations fournies sur un site Internet. Les coordonnées géographiques provenant de l'enquête de terrain, les données passeport et les étiquettes des spécimens d'herbier ont été saisies dans les logiciels Garmin MapSource et DIVA-GIS afin d'élaborer des cartes de répartition pour chaque espèce. La répartition des ESAPC au Sri Lanka est indiquée sur les cartes. Les données GPS ont été analysées avec la fonction de modélisation de la répartition de FloraMap et la fonction de modélisation bioclimatique Bioclim de DIVA-GIS afin de cartographier les zones où la présence des espèces sauvages cibles pouvait être attendue. Le statut de conservation de chaque espèce a été déterminé selon les catégories de la Liste rouge à partir des résultats de l'étude écogéographique.

Ouzbékistan

Synthèse des résultats de la recherche documentaire

Études écogéographiques réalisées pour six ESAPC prioritaires (voir les Figures 8.4 à 8.9) :

- *Malus* – pommier ;
- *Amygdalus* – amandier ;
- *Juglans* – noyer ;
- *Pistachia* – pistachier ;
- *Allium* – oignon ;
- *Hordeum* – orge.

Des enquêtes de terrain ont été menées par l'Herbier du Centre de recherche en production végétale (*Scientific Plant Production Centre, SPC*) « *Botanica* », de l'Académie nationale des sciences d'Ouzbékistan ; l'Institut R. Shreder de recherche en horticulture, viticulture et œnologie (*R. Shreder Scientific Research Institute of Gardening, Viticulture and Winemaking*) ; l'Institut ouzbek de recherche scientifiques sur les cultures végétales (*Uzbek Scientific Research Institute of Plant Industry, UZRIPI*) ; et le Centre national de recherche en horticulture ornementale et sylviculture (*Republican Scientific Production Centre of Decorative Gardening and Forestry*).

Les enquêtes ont été menées sur une période de quatre ans, à différents stades de développement végétal, afin de couvrir les aires de répartition actuelles. Une méthodologie spécifique, conçue au début du projet par les experts participants, a été suivie. Avant d'entreprendre les enquêtes sur le terrain, les données de la littérature et les spécimens d'herbier ont été étudiés.

Les enquêtes de terrain ont été réalisées en délimitant des parcelles pilotes au sein de différentes populations d'espèces prioritaires. Les données suivantes ont été collectées :

- composition des communautés végétales comportant des populations d'ESAPC ;
- état de conservation des populations ;
- menaces pesant sur les populations ;
- type de croissance des espèces prioritaires ;
- conditions physiques et géographiques de la zone où ont été délimitées les parcelles pilotes ;
- longitude, latitude ;
- noms locaux des plantes ;
- données biométriques ;
- caractéristiques pédologiques ;
- degré d'érosion du sol.

Au total, 30 ensembles de données ont été utilisés pour définir l'état de conservation et la répartition actuels des espèces cibles. Toutes les données ont été incluses dans la base de données (en russe et en anglais). Celle-ci sera bientôt accessible en ligne. Les principales menaces identifiées pour les espèces étudiées sont le pâturage, la collecte sauvage des fruits et l'exploitation forestière.

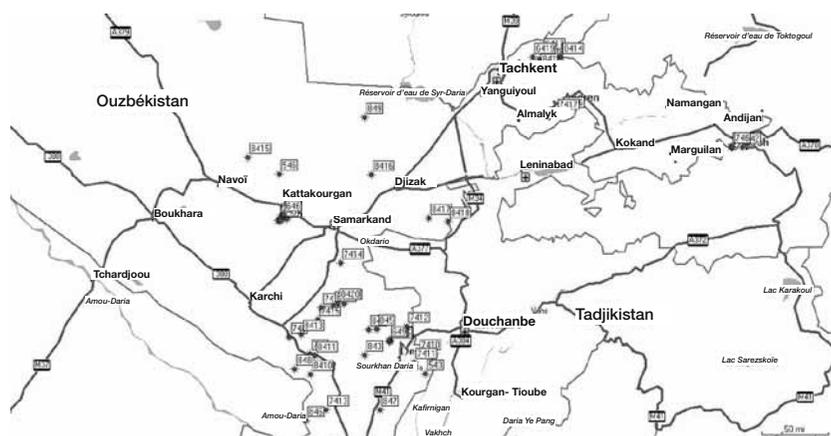


Figure 8.4 Répartition du pistachier sauvage en Ouzbékistan

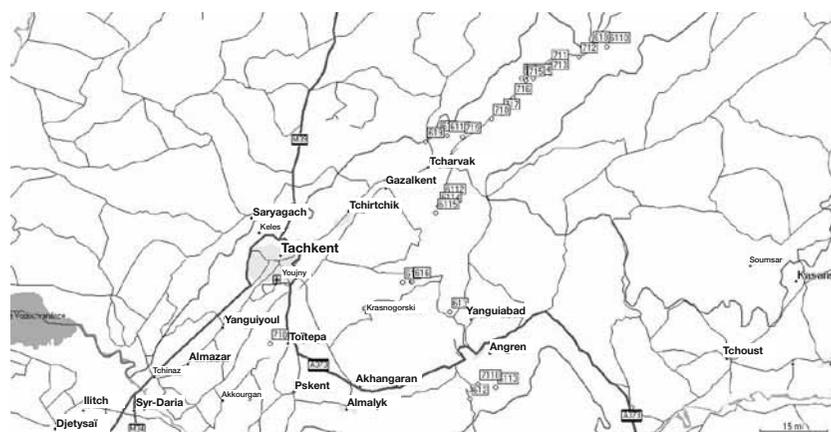


Figure 8.5 Répartition de l'oignon sauvage en Ouzbékistan

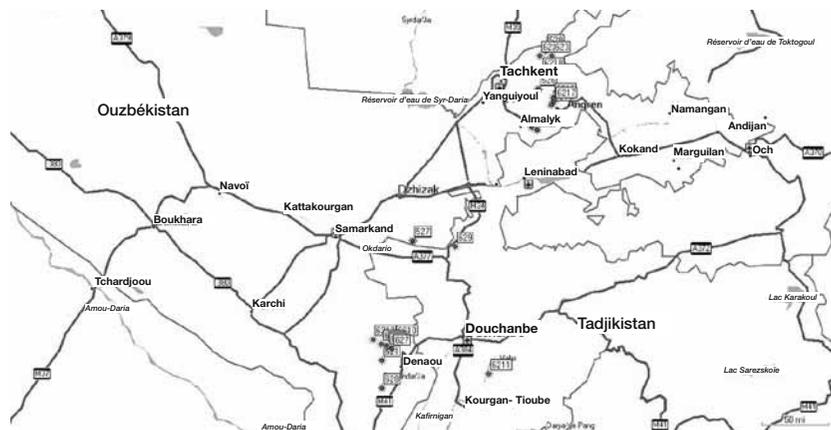


Figure 8.6 Répartition de l'amandier sauvage en Ouzbékistan

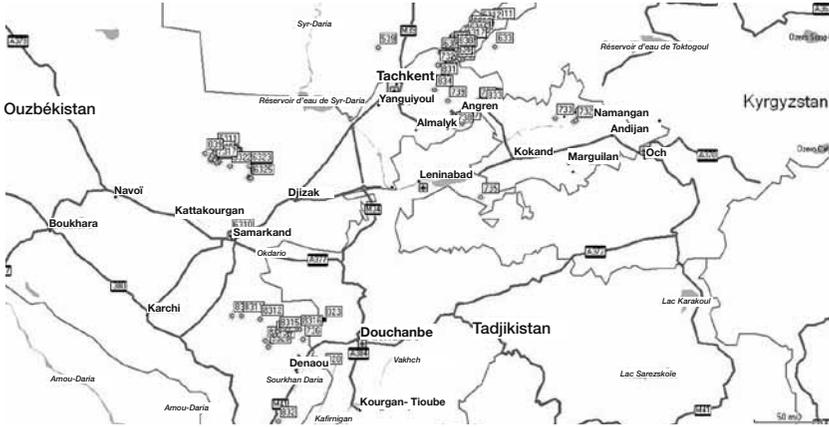


Figure 8.7 Répartition du noyer sauvage en Ouzbékistan



Figure 8.8 Répartition du pommier sauvage en Ouzbékistan

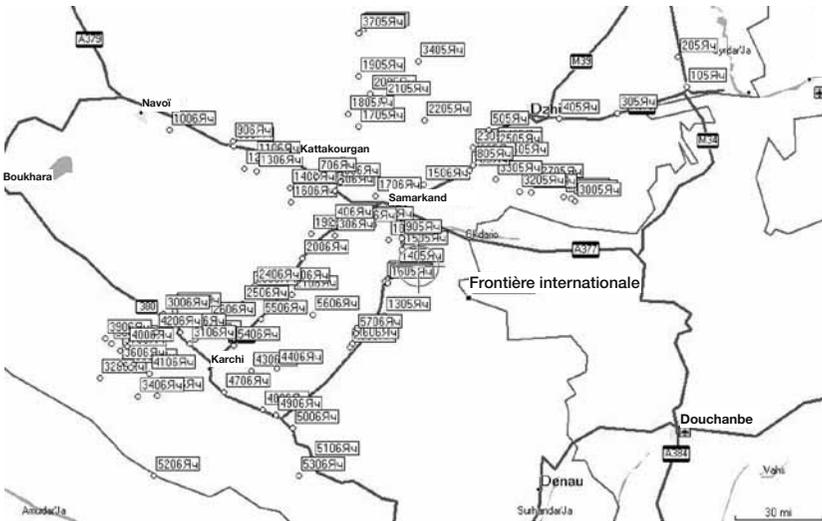


Figure 8.9 Répartition de l'orge sauvage en Ouzbékistan

Difficultés techniques rencontrées

En Arménie, il est important de noter que les informations sur la répartition obtenues à partir des données passeport des spécimens d'herbier ont été traitées avec une grande prudence. Certaines données étaient très anciennes et il n'a pas été facile de traiter ces informations obsolètes (anciens noms de lieux et de sous-ensembles administratifs, notamment). De plus, seules quelques descriptions d'emplacements étaient assorties de coordonnées géographiques. La cartographie des aires de répartition potentielles a donc été un processus complexe. Un botaniste a tout d'abord reporté des points sur la carte à l'aide des informations fournies dans les données passeport, ce qui lui a permis de déduire les sites de collecte possibles ; les cartes ont ensuite été géoréférencées par un expert en SIG.

En Bolivie, les difficultés techniques suivantes ont été rencontrées :

- Bien que l'Unité mondiale de coordination du Projet de *Bioversity* ait fourni des guides méthodologiques pour la réalisation des études écogéographiques, les cinq pays partenaires du Projet ne s'étaient pas entendus sur la définition et la portée du concept « d'étude écogéographique ».
- En raison de cette absence d'accord préalable entre les pays partenaires et *Bioversity* concernant les descripteurs (champs) du Système d'information sur les ressources génétiques des ESAPC (CWR-GRIS), définis par *Bioversity* comme format standard pour les systèmes d'information nationaux (*National information systems on CWR, NISCWR*), les données de terrain ont été initialement collectées à l'aide de fiches non-standard basées sur des descripteurs définis par les partenaires institutionnels boliviens. Les Herbiers ont souligné la nécessité de collecter des spécimens et les banques de gènes, des données sur les accessions.
- Le lien entre les volets 2 (systèmes d'information) et 3 (actions de conservation *in situ*) du Projet ESAPC n'étant pas clairement défini, les participants ne sont pas parvenus à établir un lien entre les données à inclure dans la base de données des NISCWR et celles dédiées à la conservation et au suivi.
- Il n'a pas été possible de collecter toutes les données ni de réaliser toutes les évaluations de terrain nécessaires, en raison des différences entre les cycles biologiques des espèces, des distances à parcourir et des coûts de transport. Pour collecter des données sur les populations, par exemple, davantage de déplacements sur le terrain et de fonds auraient été nécessaires ; par conséquent, seules des données relatives à deux

espèces prioritaires ont été utilisées. Elles ont été collectées dans le cadre de travaux de thèse financés par le Projet.

Au Sri Lanka, les difficultés techniques suivantes ont été rencontrées dans le cadre de l'étude écogéographique des ESAPC :

Saison – Certaines ESAPC sont annuelles ou saisonnières, de sorte que les équipes chargées de l'enquête devaient visiter les lieux au moment approprié pour l'observation de ces espèces. De plus, les financements ont tardé à arriver, ce qui a également affecté les études écogéographiques. Par exemple, certaines populations de l'espèce *O. rufipogon* se prêtent mieux à une observation *in situ* de décembre à mars. L'indisponibilité des fonds en début d'année a contraint à reporter à janvier et février l'étude des sites d'observation de *O. rufipogon*.

Populations constituées d'un seul plant ou d'un petit nombre de plants

– La variabilité intra-population ne peut être déterminée lorsque le nombre d'individus est trop faible. Par exemple, un seul individu ou un petit nombre d'individus a été observé dans la plupart des populations de cannellier ; l'estimation du taux de survie futur de cette espèce à l'état sauvage risque donc d'être plus délicate.

Préparation des spécimens d'herbier – À chaque ESAPC correspond une période de floraison particulière. Par conséquent, un même site devait être visité à plusieurs reprises pour prélever des spécimens d'herbier permettant une identification correcte. De plus, certains plants étant très hauts et dépourvus de branches basses, la collecte des spécimens d'herbier pourrait être problématique.

Répartition dans des zones spécifiques – Les études écogéographiques étaient axées sur plusieurs espèces afin de gagner du temps et d'économiser des ressources. Par conséquent, l'équipe chargée de l'étude a concentré ses efforts sur les zones/régions où elle avait le plus de chances d'observer un nombre maximal d'espèces. Cependant, certaines espèces étant présentes dans des régions ou zones très spécifiques, des visites supplémentaires ont dû y être effectuées ; seuls quelques emplacements ont été identifiés lors de ces visites.

Absence d'informations sur les enquêtes précédentes – Les informations relatives aux enquêtes précédentes n'ont pas été suffisamment consignées. Le logiciel DIVA-GIS est basé sur un système UGS84, tandis que les cartes utilisées dans le cadre du projet avaient été fournies par le Département de météorologie du Sri Lanka, qui emploie un système de coordonnées géographiques différent. L'équipe n'était pas en mesure de convertir seule ces formats et d'assurer la compatibilité des deux systèmes. Les lacunes

dans les enquêtes précédentes n'étant pas clairement identifiées, les études ont dû être intégralement refaites pour chaque espèce.

Erreur d'identification ou ancienneté des spécimens d'herbier – Certains spécimens d'herbier, identifiés de façon erronée, n'ont pu être observés lors des visites sur leurs anciens sites de collecte. Un autre problème était dû au fait que pour la plupart des ESAPC, l'Herbier national ne contenait pas de spécimen récent. Or les spécimens anciens sont difficiles à exploiter (fleurs abîmées, notamment).

Faiblesse du signal satellitaire – Les ESAPC ne sont pas toujours présentes dans des zones dégagées. La réception d'un signal satellitaire s'est avérée difficile en zone forestière, en présence d'une épaisse canopée à une grande hauteur. Dans ce cas, les coordonnées GPS ont été enregistrées au point le plus proche qui offrait une bonne réception du signal satellitaire.

Manque de sensibilisation – Les aires protégées du Sri Lanka sont riches en espèces sauvages apparentées aux cultures vivrières et en plantes vivrières sauvages. Avant d'entamer des études intensives, les autorités des aires protégées doivent être pleinement conscientes de l'importance des ESAPC dans ces zones.

Identification des facteurs de menace – Sur une courte période, il est difficile d'identifier les facteurs qui constituent une menace pour les populations sauvages. Par conséquent, il faut visiter à plusieurs reprises un même site afin d'identifier les menaces réelles qui pèsent sur les populations ; les savoirs locaux sont essentiels pour collecter davantage d'informations.

Élaboration des cartes – Les coordonnées GPS n'ont pas pu être reportées sur les cartes numériques fournies par le Service topographique (*Department of Survey*) du Sri Lanka. Des cartes de répartition prédictive ont été élaborées à l'aide des progiciels disponibles (DIVA-GIS et FloraMap). Cependant, ceux-ci ne contiennent que des fichiers de données climatiques mondiales, de portée trop large et non spécifique aux localités étudiées.

Les principales difficultés rencontrées en Ouzbékistan ont été les suivantes :

- aires de répartition des espèces prioritaires très vastes – la totalité des aires de répartition du pommier et de l'amandier n'ont pu être étudiées durant les 4 années du projet ;
- les aires de répartition de l'amandier et du pistachier se situent dans des régions très reculées ;

- le nombre d'études écogéographiques entreprises n'a pas permis de décrire intégralement la phénologie des populations ;
- certains territoires sur lesquels une enquête était prévue se situent en zone frontalière et ne sont pas accessibles.

Sources d'informations complémentaires

Biodiversity International propose une série de modules de formation sur son site Internet, notamment un module consacré aux enquêtes écogéographiques : http://www.biodiversityinternational.org/training/training_materials.html

http://croptgenbank.sgrp.cgiar.org/images/flash/ecogeographic_surveys/index.htm

Brown, A. H. D. et Briggs, J. D. (1991) « Sampling strategies for genetic variation in *ex situ* collections of endangered plant species », in D. A. Falk et K. E. Holsinger (éd.) *Genetics and Conservation of Rare Plants*, pp. 99–119, Oxford University Press, New York

Dulloo, M. E., Maxted, N., Newbury, H., Florens, D. et Ford-Lloyd, B. V. (1999) « Ecogeographic survey of the genus *Coffea* in the Mascarene Islands » *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol 131, pp. 263–284

Dulloo, M. E., Labokas, J., Iriondo, J. M., Maxted, N., Lane, A., Laguna, E., Jarvis, A. et Kell, S. P. (2008) « Genetic reserve location and design », in J. M. Iriondo, N. Maxted et M. E. Dulloo (éd.), *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, pp. 23–64, CAB International, Wallingford

Maxted, N., van Slageren, M. W. et Rihan, J. R. (1995) « Ecogeographic surveys », in L. Guarino, V. Ramanatha Rao et R. Reid (éd.), *Collecting Plant Genetic Diversity : Technical Guidelines*, pp. 255–287, CAB International, Wallingford

Notes

- 1 Bennett (1997) utilise dans ce contexte le terme « écogéographie », qu'il définit comme la collecte et la synthèse de données écologiques, géographiques et taxonomiques.
- 2 Jarvis *et al.* (2005)
- 3 <http://gisweb.ciat.cgiar.org/GapAnalysis/>

Bibliographie

- Bamberg, J. B., del Rio, A. H., Huaman, Z., Vega, S., Martin, M., Salas, A., Pavek, J., Kiru, S., Fernandez, C. et Spooner, D. M. (2003) « A decade of collecting and research on wild potatoes of the southwest USA », *American Journal of Potato Research*, vol 80, pp. 159–172
- Barnes, M. R. et Breen, G. (éd) (2009) *Genetic Variation*, Springer-Verlag, New York, New York
- Bellot, Y. et Cortez, M. (2010) *Manual de Mantenimiento*, Version 0.2 Système national d'information sur les parents sauvages des espèces cultivées – Unité de liaison (*Sistema Nacional de Información sobre Parientes Silvestres de Cultivos, SNIPSC – Unidad de Enlace*), Fondation des amis de la nature (*Fundación Amigos de la Naturaleza*)– Projet PNUJ/FEM « Conservation *in situ* des parents sauvages des espèces cultivées grâce à une meilleure gestion de l'information et à des applications sur le terrain »

- Bellot, Y. et Justiniano, R. (2010) *Manual de Usuario*, Version 0.2, Système national d'information sur les parents sauvages des espèces cultivées – Unité de liaison (*Sistema Nacional de Información sobre Parientes Silvestres de Cultivos*, SNIPSC – *Unidad de Enlace*), Fondation des amis de la nature (*Fundación Amigos de la Naturaleza*)– Projet PNUE/FEM « Conservation *in situ* des parents sauvages des espèces cultivées grâce à une meilleure gestion de l'information et à des applications sur le terrain »
- Bennett, S. J. (1997) « Ecogeographic assessment of Mediterranean environments for targeting legume collections », *International Grasslands Organization*, <http://www.internationalgrasslands.org/files/igc/publications/1997/1-01-023.pdf>
- Bennett, S. J. et Bullita, S. (2003) « Ecogeographical analysis of the distribution of six *Trifolium* species in Sardinia », *Biodiversity and Conservation*, vol 12, pp. 1455–1466
- Bennett, S. J. et Maxted, N. (1997) « An ecogeographic analysis of the *Vicia narbonensis* complex », *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol 44, pp. 411–428
- Bennett, S. J., Broughton, D. A. et Maxted, N. (2006) « Ecogeographical analysis of the perennial *Medicago* », *Cooperative Research Centre (CRC) Salinity Bulletin*, vol 1, pp. 1–62
- Bioversity et The Christensen Fund (2009) *Descriptors for Farmers' Knowledge of Plants*, Bioversity International, Rome, Italie et The Christensen Fund, Palo Alto, Californie, États-Unis
- Bisby, F. A. (1995) « Chapter 2 : Characterization of biodiversity », in V. H. Heywood (éd), *Global Biodiversity Assessment*, pp. 21–106, Cambridge University Press, Cambridge
- Brown, A. H. D. et Briggs, J. D. (1991) « Sampling strategies for genetic variation in *ex situ* collections of endangered plant species », in D. A. Falk et K. E. Holsinger (éd) *Genetics and Conservation of Rare Plants*, pp. . 99–119, Oxford University Press, New York
- Cunningham, A. B. (2001) *Applied Ethnobotany : Wild Plant Use and Conservation*, Earthscan, Londres, Royaume-Uni
- Dulloo, M. E. (1998) « Diversity and conservation of wild *Coffea* germplasm in the Mascarene Islands », thèse de doctorat Université de Birmingham, Royaume-Uni
- Dulloo, M. E., Kell, S. P. et Jones, C. G. (1996) « Impact and control of invasive alien species on small islands », *International Forestry Review*, vol 4, no 4, pp. 277–291
- Dulloo, M. E., Maxted, N., Newbury, H., Florens, D. et Ford-Lloyd, B. V. (1999) « Ecogeographic survey of the genus *Coffea* in the Mascarene Islands » *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol 131, pp. 263–284
- Dulloo, M. E., Labokas, J., Iriondo, J. M., Maxted, N., Lane, A., Laguna, E., Jarvis, A. et Kell, S. P. (2008) « Genetic reserve location and design », in J. M. Iriondo, N. Maxted et M. E. Dulloo (éd.), *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, pp. 23–64, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni
- Edmonds, J. M. (1990) *Herbarium Survey of African Corchorus L. Species*, Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools 4, Conseil international des ressources phytogénétiques, (IBPGR), Rome, Italie
- Ehrman, T. et Cocks, P. S. (1990) « Ecogeography of annual legumes in Syria : Distribution patterns », *Journal of Applied Ecology*, vol 27, pp. 578–591

- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, G., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S. et Zimmermann, N. E. (2006) « Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data », *Ecography*, vol 29, pp. 129–151
- Evans, D. (2006) « The habitats of the European Union Habitats Directive » *Proceedings of the Royal Irish Academy*, vol 106B, pp. 167–173
- FAO (1998) *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
- Ferguson, M. et Robertson, L. D. (1996) « Genetic diversity and taxonomic relationships within the genus *Lens* as revealed by allozyme polymorphism », *Euphytica*, vol 91, pp. 163–172
- Gabrielian, E. et Zohary, D. (2004) « Wild relatives of food crops native to Armenia and Nakhichevan », *Flora Mediterranea*, vol 14, pp. 5–80
- Gentry, A. H. (1990) « Herbarium taxonomy versus field knowledge », *Flora Malesiana Bulletin*, vol. spécial 1, pp. 31–35
- Golding, J. S. et Smith, P. P. (2001) « A 13-point flora strategy to meet conservation challenges », *Taxon*, vol 50, pp. 475–477
- Gole, T. W. G., Denich, M., Teketay, D. et Vlek, P. L. G. (2002) « Human impacts on the *Coffea arabica* gene pool in Ethiopia and the need for its *in-situ* conservation », Chapitre 22, in V. Ramanatha Rao, A. D. H. Brown, et M. T. Jackson (éd.), *Managing Plant Genetic Diversity*, Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI), Rome, Italie
- 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
- Guarino, L., Maxted, N. et Chiwona, E. A. (2005) *Ecogeography of Crops*, Bulletin technique de l'IPGRI No. 9, Institut international des ressources phytogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie
- Hamilton, A. et Hamilton, P. (2006) *Plant Conservation : An Ecosystem Approach* Earthscan, Londres, Royaume-Uni
- Hanski, I. (1999) *Metapopulation Ecology*, Oxford University Press, Oxford
- Hanski, I., Moilanen, A. et Gyllenberg, M. (1996) « Minimum viable metapopulation size », *American Naturalist*, vol 147, pp. 527–541
- Hawkes, J. G. (1987) « A strategy for seed banking in botanic gardens », in D. Bramwell, O. Hamman, V. Heywood et H. Synge (éd.) *Botanic Garden and the World Conservation Strategy*, pp. 131–149, Academic Press, Londres, Royaume-Uni
- 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. (éd.) (1995) *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge
- Heywood, V. (2004) « Meeting the demands for taxonomic information from users in conservation and genetic resources », *Phytologia Balcanica*, vol 93, pp. 425–434
- Heywood, V. H. et Dulloo, M. E. (2005) *In Situ Conservation of Wild Plant Species – A Critical Global Review of Good Practices*, Bulletin Technique de l'IPGRI n°11, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et Institut international des ressources phylogénétiques (IPGRI), IPGRI, Rome, Italie
- 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
- Hughes, C. (1998) *The Genus Leucaena : A Plant Genetic Resources Manual*, Tropical Forestry Papers 34, Institut de foresterie d'Oxford (*Oxford Forestry Institute*), Oxford, Royaume-Uni
- IBPGR (1985) *Ecogeographical Surveying and In Situ Conservation of Crop Relatives*, Conseil international des ressources phylogénétiques (*International Board for Plant Genetic Resources, IBPGR*), Rome, Italie
- IUCN (2002) *IUCN Technical Guidelines on the Management of Ex-Situ Populations for 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*), www.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/Rep-2002-017.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
- Kanashiro, M., Thompson, I. S., Yared, J. A. G., Loveless, M. D., Coventry, P., Martinsda-Silva, R. C. V., Degen, B. et Amaral, W. (2002) « Improving conservation values of managed forests : The Dendrogene Project in the Brazilian Amazon », *Unasylva*, vol 53, no 209, pp. 25–33
- Karp, A. (2002) « The new genetic era : Will it help us in managing genetic diversity? », in J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown et M. T. Jackson (éd.) *Managing Plant Genetic Diversity*, pp. 43–56, CAB Publishing, Wallingford, Royaume-Uni
- Kuleung, C., Baenziger, P. S., Kachman, S. D. et Dweikat, I. (2006) « Evaluating the genetic diversity of Triticale with wheat and rye SSR markers », *Crop Science*, vol 46, pp. 1692–1700
- Lobo, J. M. (2008) « More complex distribution models or more representative data? », *Biodiversity Informatics*, vol 5, pp. 14–19
- Lorence, D. H. (1978) « The pteridophytes of Mauritius (Indian Ocean) : Ecology and distribution », *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol 76, pp. 207–247

- Maxted, N. (1995) « An herbarium based ecogeographic study of *Vicia* subgenus *Vicia* », *Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene Pools 8*, Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie
- Maxted, N. et Kell, S. (1998) « Ecogeographic techniques and *in situ* conservation : A case study for the legume genus *Vicia* in Turkey », in N. Zencirci, Z. Kaya, Y. Anikster et W. T. Adams (éd.) *Proceedings of an International Symposium on In Situ Conservation of Plant Diversity 4–8 November, 1996*, pp. 323–344, Institut central de recherche sur les plantes de grande culture (*Central Research Institute for Field Crops*), Ankara, Turquie
- Maxted, N., van Slageren, M. W. et Rihan, J. R. (1995) « Ecogeographic surveys », in L. Guarino, V. Ramanatha Rao et R. Reid (éd.), *Collecting Plant Genetic Diversity : Technical Guidelines*, pp. 255–287, CAB International, Wallingford
- Maxted, N., Dulloo, M. E. et Eastwood, A. (1999) « A model for genetic reserve conservation : A case study for *Coffea* in the Mascarene Islands », *Botanica Lithuanica Supplementum*, vol 2, pp. 61–78
- Maxted, N., Mabuza-Diamini, P., Moss, H., Padulosi, S., Jarvis, A. et Guarino, L. (2004) *Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene Pools 11 : An Ecogeographic Study African Vigna*. Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie
- Morris, W. F. et Doak, D. F. (2002) *Quantitative Conservation Biology : Theory and Practice of Population Viability Analysis*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, États-Unis
- Nabhan, G. P. (1990) *Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene Pools 5 : Wild Phaseolus Ecogeography in the Sierra Madre Occidentalis, Mexico : Areographic techniques for targeting and conserving species diversity*, Conseil international des ressources phylogénétiques, (*International Board for Plant Genetic Resources, IBPGR*), Rome, Italie
- Parish, D. H. et Feillafe, S. M. (1965) *Notes on the 1:100,000 Soil Map of Mauritius*, Rapport ponctuel 22 de l'Institut de recherche sur l'industrie du sucre de Maurice [*Mauritius Sugar Industry Research Institute (MSIRI) Occasional Paper 22*], Maurice
- Pearce, T. et Bytebier, B. (2002) « The role of a herbarium and its database in supporting plant conservation, » in M. Maunder, C. Clubbe, C. Hankamer et M. Groves (éd.) *Plant Conservation in the Tropics : Perspectives and Practice*, pp. 49–67, Jardins botaniques royaux (*Royal Botanic Gardens*), Kew, Royaume-Uni
- Peterson, A. T. (2001) « Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modelling », *The Condor*, vol 103, no 3, pp. 599–605
- Ramos Canaviri, C. L. (2009) « Estudio poblacional de especies silvestres del género *Arachis* (Mani) y estrategias para su conservación *in situ* en Bolivia », Mémoire de fin d'études de Master, Université Mayor de San Simon (UMSS), Cochabamba, Bolivie
- Smith, S. D. et Peralta, I. E. (2002) « Ecogeographic surveys as tools for analyzing potential reproductive isolating mechanisms : An example using *Solanum juglandifolium* Dunal, *S. ochranthum* Dunal, *S. lycopersicoides* Dunal, and *S. sitchensis* I. M. Johnston », *Taxon*, vol 51, pp. 341–349
- Soulé, M. E. (1986) *Conservation Biology : The Science of Scarcity and Diversity*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, États-Unis

- Theilade, I., Graudal, L. et Kjær, E. (2000) « Conservation of the genetic resources of *Pinus merkusii* in Thailand », Note technique 58 du Centre DANIDA de semences forestières (*Danida Forest Seed Centre, DFSC*), DFSC, Humlebaek, Danemark
- Vaughan, R. E. et Wiehe, P. O. (1937) « Studies on the vegetation of Mauritius I : A preliminary survey of the plant communities », *Journal of Ecology*, vol 25, pp. 289–243
- de Vicente M. C. et Fulton, T. (2004) *Using Molecular Marker Technology Effectively in Plant Diversity Studies, Vol 1 : Learning Module*, CD-ROM, Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie et Institut pour la diversité du génome (*Institute for Genomic Diversity*), Université Cornell, Ithaca, New York, États-Unis
- de Vicente, M. C., Lopez, C. et Fulton, T. (2004) *Genetic Diversity Analysis with Molecular Marker Data, Vol 2 : Learning Module*, CD-ROM, Institut international des ressources phylogénétiques (*International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI*), Rome, Italie, Université agricole nationale « La Molina », Pérou et Institut pour la diversité du génome (*Institute for Genomic Diversity*), Université Cornell, Ithaca, New York, États-Unis
- Volk, G. M., Ruichards, C. M., Henk, A. D., Reilley, A. A., Reeves, P. A., Forsline, P. E. et Ardwinckle, H. S. (2009) « Capturing the diversity of wild *Malus orientalis* from Georgia, Armenia, Russia, and Turkey », *Journal of the American Society for Horticulture Science*, vol 134, pp. 453–459
- Yanchuk, A. D. (1997) « Conservation issues and priorities for the conifer genetic resources of British Columbia, Canada », *Forest Genetic Resources*, vol 25, pp. 2–9
- Zhang, C., Chen, X., He, R., Liu, X., Feng, R. et Yuan, Z. (2007) « Genetic structure of *Malus sieversii* population from Xinjiang, China, revealed by SSR markers », *Journal of Genetics and Genomics*, vol 34, pp. 947–955