

Conservation et gestion des ressources génétiques de caféier : vingt ans d'expérience pratique

François ANTHONY*, Stéphane DUSSERT

UMR 1097 Diversité et Génomes des Plantes Cultivées,
AGRO-M/CIRAD/INRA/IRD
911, Avenue d'Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France

Abstract: Conservation and management of coffee tree genetic resources. A large set of methods and strategies for long-term diversity conservation of coffee germplasm has been developed. Since coffee seeds cannot be considered orthodox, the genetic resources have been preserved in field gene banks. Most of the field gene banks were set up more than 30 years ago and there is now a dramatic need for their renovation. The genetic erosion has been estimated in the gene bank of CATIE (Costa Rica) during nine years. The results indicated that the genetic erosion was variable depending on cultural practices. The wild accessions were more affected by inadequate practices than the cultivated accessions. Time duration in conservation was not a determinant factor of genetic erosion. Some technical solutions (grafting, shade, spacing...) are suggested in order to increase the coffee tree lifespan and to reduce genetic erosion in the field gene banks. Alternative methods to field conservation were developed using *in vitro* culture and cryopreservation. *In vitro* conservation remains a relatively expensive method because several technical modifications are required for conserving a wide range of diversity. By contrast, cryopreservation of seeds can be applied in routine. The first experiences of *in situ* conservation are also reported in the present paper.

Coffee tree / conservation / genetic erosion / genetic resources / management

Résumé : Le caféier est l'une des rares plantes tropicales pour laquelle on dispose d'un ensemble de méthodes et stratégies de conservation de la diversité à long terme. En raison du comportement non orthodoxe des semences de caféier, la préservation des ressources génétiques a été assurée dans des collections en champ. La plupart des grandes collections ont été mises en place il y a plus de 30 ans et doivent être renouvelées. Des résultats sont présentés sur l'évolution de l'érosion génétique dans une grande collection au Costa Rica pendant neuf ans.

* Correspondance et tirés à part : anthony@mpl.ird.fr

Des solutions techniques (greffage, intensité de l'ombrage, densité de plantation, ...) sont proposées pour allonger la durée de vie des caféiers conservés et réduire l'érosion génétique. Par ailleurs, des méthodes alternatives à la conservation en champ ont été développées en utilisant la culture *in vitro* et la cryoconservation. La culture *in vitro* s'est avérée être une méthode relativement onéreuse de conservation à cause des nombreuses mises au point techniques à réaliser. En revanche, la cryopréservation de semences peut être appliquée en routine. Enfin, les premières expériences de conservation *in situ* sont rapportées.

caféier / conservation / érosion génétique / gestion / ressources génétiques

1. INTRODUCTION

Les caféiers (*Coffea* spp.) sont des arbres ou arbustes tropicaux dont la durée des générations est d'environ 30 ans. Ils forment un vaste complexe d'une centaine d'espèces, réparties en trois ensembles biogéographiques : en Afrique centrale et occidentale, en Afrique de l'Est et du Sud-Est, et dans la région malgache [13], [11], [35]. Deux espèces seulement sont cultivées : *C. arabica*, en altitude (70 % du marché), et *C. canephora*, en basse altitude (30 %). *C. arabica* se distingue par son origine allotétraploïde ($2n = 4x = 44$) [31] et son auto-fertilité alors que les autres espèces sont diploïdes ($2n = 2x = 22$) et généralement auto-incompatibles. Toutes les espèces partagent un génome de base commun, à 11 chromosomes, qui permet les intercroisements, d'où l'intérêt des caféiers sauvages comme réservoir de gènes pour l'amélioration des variétés cultivées [4]. L'inventaire des ressources génétiques est toutefois loin d'être terminé, comme l'a montré récemment la publication de plusieurs nouveaux taxons [14], [15], [16], [36].

En raison du comportement non orthodoxe des semences en conservation [27], [37], les ressources génétiques de caféier sont conservées dans des collections en champ. Plus de 21 000 accessions ont été recensées dans le monde [29]. Jusqu'au début des années soixante, les collections étaient constituées presque exclusivement de formes cultivées (variétés, mutants, hybrides) de *C. arabica* et *C. canephora*, qui avaient été isolées par des sélectionneurs et producteurs. Face à la déforestation massive qui menaçait l'habitat naturel des caféiers sauvages, des prospections internationales furent organisées dans les principaux centres de diversité [2] : Madagascar (1960-74), Éthiopie (1964-66), Kenya-Tanzanie (1977-82), Cameroun-Congo-Centrafricaine (1975-83) et Côte

d'Ivoire-Guinée (1975-87). Les formes sauvages de *C. arabica* collectées en Éthiopie firent l'objet d'une large diffusion dans plusieurs pays d'Afrique (Éthiopie, Tanzanie, Kenya, Côte d'Ivoire, ...) et d'Amérique latine (Brésil, Colombie, Costa Rica, ...), et en Inde. En revanche, les caféiers des autres espèces ne furent introduits que dans deux collections uniques, à Madagascar et en Côte d'Ivoire.

Le caféier est l'une des rares plantes tropicales pour laquelle on dispose d'un ensemble de méthodes et de stratégies de conservation de la diversité à long terme, qui minimisent les risques de perte. Nous rapportons ici vingt ans d'expérience pratique de gestion de grandes collections de caféier en champ et d'utilisation de méthodes alternatives de conservation, basées sur la culture de tissus *in vitro* (CIV) et la cryoconservation. Nous présentons aussi les résultats des premières tentatives de conservation *in situ*, conduites en Éthiopie et sur l'île Maurice.

2. LA CONSERVATION EN CHAMP

Les collections de caféier en champ présentent des caractéristiques communes avec celles d'arbres fruitiers comme le pommier, la vigne et les agrumes. Elles occupent des surfaces relativement grandes dont l'entretien représente un coût élevé. Les ressources génétiques sont multipliées par voie végétative en utilisant les techniques horticoles de bouturage et de greffage. La mise en place des grandes collections de caféier date de plus de trente ans (tabl. I) et la plupart des individus ont atteint leur limite d'âge [19]. L'érosion génétique y est devenue un sérieux problème, comme le montre l'analyse développée ci-après dans une grande collection de *C. arabica* au Costa Rica.

Tableau I : Principales collections de caféier en champ [2], [19].

Espèces	Pays	Date de création	Individus conservés
<i>C. arabica</i>	Kenya	1893	2 100
	Costa Rica	1949	8 500
	Éthiopie	1950	5 000
Espèces diploïdes	Madagascar	1960	7 000
	Côte d'Ivoire	1962	9 000

2.1. Analyse de l'érosion génétique dans une grande collection de *C. arabica*

La collection est située sur le campus du CATIE (*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*), à 600 m d'altitude, dans une zone marginale de culture du caféier (www.catie.ac.cr). Environ 1 700 accessions de *C. arabica* sont conservées sur 7 ha. Les pertes en termes d'accessions et d'individus ont été estimées entre 1993 et 2002 dans trois parties de la collection [5] :

- la section A : 254 accessions (1 298 individus) de formes cultivées, introduites dans les années cinquante ;
- la section C : 418 accessions (1 720 individus) de formes sauvages de la prospection FAO en Éthiopie [28], introduites en 1965 ;
- la section F : 97 accessions (395 individus) de formes sauvages de la prospection Orstom en Éthiopie [30], introduites en 1985.

La plupart des accessions étaient représentées par huit individus lors de leur introduction en collection. Chez les formes sauvages, la mortalité est apparue plus forte dans la section F (-15,7 %) que dans la section C (-11,6 %), installée vingt ans avant la section F (tabl. II). En terme d'accessions perdues, l'érosion génétique est nettement plus importante dans la section F (-8,2 %) que dans la section C (-3,6 %). Cette différence de mortalité ne peut s'expliquer ni par la nature génétique des ressources conservées, ni par leur âge en collection, mais par des pratiques culturales inappropriées dans la section F. Ces pratiques, semblables à celles utilisées dans les plantations commerciales, ne conviennent manifestement pas aux formes sauvages. L'érosion génétique est même plus forte dans la section F que dans la section A, plantée trente ans auparavant avec des formes cultivées.

Tableau II : Érosion génétique estimée par le nombre d'accessions perdues et le nombre d'individus morts dans trois sections de la collection du CATIE entre 1993 et 2002.

Section	Nombre d'individus		Nombre d'accessions	
	Δ 1993-2002	% du total	Δ 1993-2002	% du total
A	- 228	- 14,9 %	- 5	- 2,0 %
C	- 199	- 11,6 %	- 15	- 3,6 %
F	- 62	- 15,7 %	- 8	- 8,2 %
Total (A + C + F)	- 489	- 13,4 %	- 28	- 3,6 %

Les valeurs moyennes de l'érosion génétique cachent une accélération du processus au cours du temps. Le nombre d'accessions représentées par un ou deux individus a augmenté dans chaque section de la collection pendant la période d'observation. La proportion de ces accessions menacées de disparition est passée de 23 % en 1993 à 29 % en 2002 dans la section A, de 28 % à 33 % dans la section C et de 30 % à 51 % dans la section F (fig. 1). Actuellement, plus de la moitié des accessions de la section F sont en danger, ce qui montre la gravité de la situation. Le risque de perdre des accessions est plus élevé chez les formes sauvages que chez les formes cultivées, pourtant conservées depuis plus longtemps en champ. C'est une conséquence du manque de vigueur des formes sauvages et de leur mauvaise adaptation aux conditions de conservation.

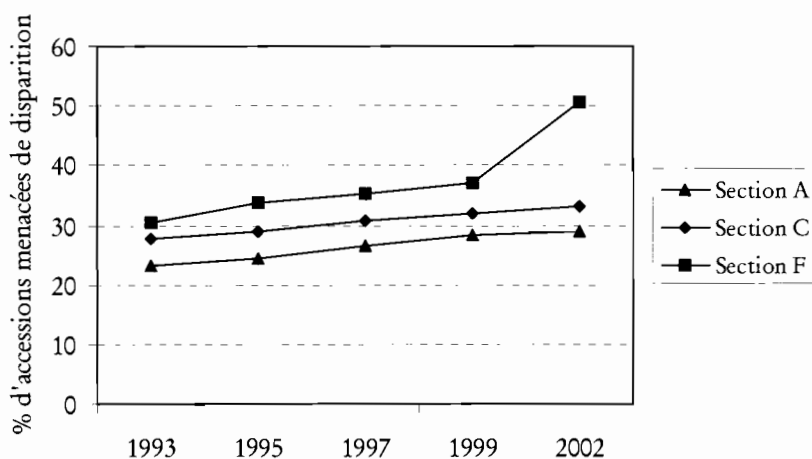


Figure 1 : Évolution du pourcentage d'accessions représentées par un ou deux individus dans trois sections de la collection en champ du CATIE, de 1993 à 2002 [5].

2.2. Solutions pour une conservation durable en champ

Des solutions techniques ont été trouvées pour allonger la durée de vie des ressources génétiques conservées en champ et réduire l'érosion génétique. Elles visent à définir des conditions de conservation appropriées à chaque ressource génétique en se basant sur la connaissance du milieu d'origine. Ces solutions doivent être mises en œuvre dès l'introduction.

2.2.1. Le greffage

Le greffage permet d'améliorer considérablement l'adaptation des formes sauvages au milieu de conservation. Le porte-greffe idéal doit

être vigoureux et résistant aux maladies et parasites du sol. C'est le cas de la variété Nemaya, hybride F1 de *C. canephora*, qui présente des résistances à la plupart des nématodes d'Amérique centrale [7]. Le greffage sur cette variété a permis de planter, dans la collection en champ du CATIE, des génotypes de *C. eugenioides* et *C. stenophylla* qui survivaient en serre depuis plus de trente ans. Un autre exemple de réussite du greffage est donné par l'espèce *C. congensis*, qui avait disparu des collections en champ en raison de son adaptation ripicole très particulière. Grâce au greffage sur *C. canephora*, il a été possible d'installer une collection de 1 500 génotypes sur sol latéritique, en Côte d'Ivoire [3].

2.2.2. *Le nombre d'individus à conserver*

Augmenter le nombre d'individus plantés par accession permet de réduire le risque de perdre l'accession mais accroît le coût d'entretien. Deux caractéristiques sont prises en compte : la rareté de la ressource à conserver et le niveau d'hétérozygotie. En pratique, les accessions des espèces autogames sont considérées comme étant fortement homozygotes. Elles sont généralement distribuées sous forme de graines et représentées par huit à dix individus en champ. Par contraste, les accessions des espèces allogames sont hétérozygotes et multipliées clonalement, à partir de baguettes de bois. Deux individus, au moins, par accession sont alors conservés en collection.

2.2.3. *L'espacement des caféiers en collection*

L'espacement entre caféiers est déterminé en fonction de leur architecture afin d'optimiser l'occupation des surfaces de collection. Les densités peuvent varier du simple au double, de 2 000 plantes par ha pour les espèces arbustives à 4 000 plantes par ha pour les espèces buissonnantes et même plus pour les formes naines.

2.2.4. *L'ombrage*

Le choix de l'ombrage est un facteur important pour faciliter la conservation. Sous ombrage, les caféiers ont une production plus faible qu'en plein soleil et l'incidence des maladies et des parasites y est moindre [32], [34]. Les formes sauvages ont besoin d'un ombrage permanent qui rappelle celui de leur sous-bois d'origine alors que les formes cultivées peuvent être conservées sous un ombrage temporaire, à tailler une à deux fois par an (e.g. genres *Erythrina*, *Inga* et *Gliricidia*).

3. LA CONSERVATION PAR BIOTECHNOLOGIE

Depuis une vingtaine d'années, l'IRD s'est impliqué dans le développement de méthodes de conservation alternatives à la conservation en champ. Avec l'appui du BRG et de l'IPGRI, il a été possible de définir un ensemble de protocoles et de stratégies de conservation de la diversité à long terme [22].

3.1. La conservation *in vitro*

Des protocoles de microbouturage *in vitro* furent développés pour une quinzaine d'espèces de caféier [8]. À 27 °C, l'intervalle maximum entre deux repiquages variait de trois à douze mois selon l'espèce considérée. Des essais furent ensuite entrepris sur un petit nombre d'accessions pour définir des conditions de vie ralentie et espacer ainsi les repiquages. Les études ont porté sur l'influence de concentrations faibles en 6-benzyladenine [9], de concentrations réduites en sucre et de températures basses de conservation [10]. Même si les nouvelles conditions de conservation (à 20 °C sur un milieu pauvre en sucre) ont permis d'allonger l'intervalle entre les repiquages, le coût de la conservation *in vitro* est resté élevé.

Après cette phase de mise au point, une vitrothèque fut constituée avec l'objectif de conserver une collection noyau, représentative de la diversité génétique de la collection en Côte d'Ivoire. Cette vitrothèque était composée d'environ 620 accessions représentant 32 groupes génétiques d'une vingtaine d'espèces. L'analyse des taux de survie après six repiquages a permis de développer un modèle statistique et de distinguer quatre classes d'accessions (fig. 2) [20]. La Classe 1 contenait trois groupes génétiques n'ayant subi aucune perte après les six repiquages. La Classe 2 était composée de neuf groupes génétiques avec une majorité d'individus adaptés. C'est aussi le cas de l'unique groupe génétique de la Classe 3 mais toutes ses pertes ont eu lieu dès le premier repiquage. Enfin, la Classe 4 comprenait huit groupes génétiques, faiblement représentés après les six repiquages, voire sans aucun individu pour quatre de ces huit groupes. Cette étude a clairement montré la variabilité des comportements *in vitro*. Dans l'optique d'une conservation à long terme, on peut considérer que la représentativité est acceptable lorsque plus de la moitié des génotypes introduits survivent. C'est le cas des groupes génétiques des Classes 1, 2 et 3. Par contre, il est

évident que les conditions de conservation doivent être redéfinies pour les accessions de la Classe 4.

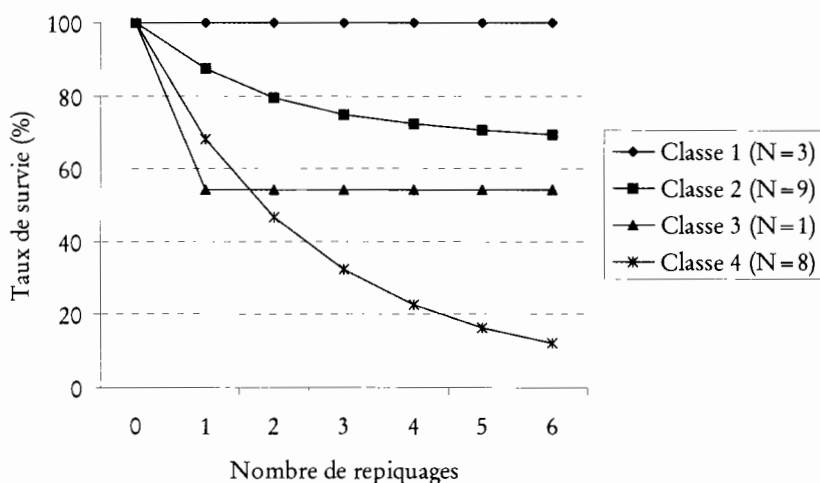


Figure 2 : Évolution modélisée du taux de survie dans les quatre classes d'accessions mises en évidence dans la vitrothèque [20].

Finalement, la conservation *in vitro* s'est avérée être une méthode relativement onéreuse pour préserver la diversité génétique pendant plusieurs années. La croissance et le développement sont apparus variables *in vitro* selon les espèces et entre individus d'une même espèce, d'où de nombreuses mises au point techniques à réaliser. La méthode présente cependant d'indiscutables avantages pour l'échange de matériels génétiques sains.

3.2. La cryoconservation

Des protocoles de cryoconservation ont été développés pour des apex, des graines et des embryons zygotiques et somatiques de caféier, mais seule la cryoconservation de graines peut actuellement être envisagée en routine [26]. Plusieurs études ont été conduites pour optimiser les principales étapes du processus [24]. Les facteurs les plus importants à contrôler lors de la phase de congélation sont la teneur initiale en eau des graines, la vitesse et la température de prérefroidissement [21], [23]. Cependant, même en utilisant les conditions optimales, le pourcentage de graines cryoconservées qui se développaient en plantes était faible, de l'ordre de 17 % [24]. Il a donc

été nécessaire d'étudier aussi les conditions de réchauffement et de réhydratation.

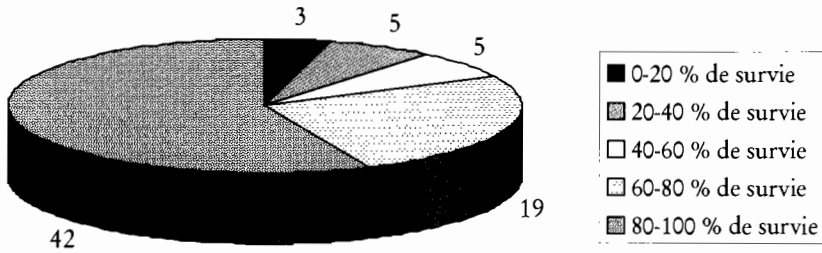


Figure 3 : Distribution des 74 accessions cryoconservées de la collection noyau de *C. arabica* en cinq classes de survie. La survie est exprimée en pourcentage de germination par rapport à un témoin déshydraté, non passé dans l'azote liquide.

La technique dite « osmopriming », utilisée par les semenciers pour améliorer la vigueur des semences, a eu un effet bénéfique sur le pouvoir germinatif des graines cryoconservées de caféier [25]. La réhydratation a lieu lentement, dans une solution à bas potentiel osmotique. Les conditions ainsi optimisées ont été appliquées à la cryoconservation d'une collection noyau de *C. arabica*, représentative des formes sauvages de la collection au Costa Rica [26], [38]. L'efficacité du protocole a été évaluée en comparant la germination des semences cryoconservées à celles d'un témoin non passées dans l'azote liquide (fig. 3). Pour près de 60 % des accessions cryoconservées, les graines se sont comportées comme celles du témoin, montrant ainsi que le protocole peut être appliqué avec succès à un nombre d'accessions relativement élevé. Constituer de telles cryobanques présentent des avantages évidents en termes de coût et de sécurité.

4. LA CONSERVATION *IN SITU*

La définition de réserves forestières pour conserver les ressources génétiques caféières s'est heurtée à l'absence de politique de protection de l'environnement en Afrique et à Madagascar. En Éthiopie, la déforestation a affecté 10 000 ha en moyenne annuelle de 1971 à 1997 et ce processus est toujours apparu lié au développement des activités humaines [39]. Il est donc devenu urgent de définir des zones tampons qui entourent les réserves forestières à protéger et où les activités humaines sont strictement réglementées. Ces zones tampons ont aussi

pour rôle d'éviter la possible pollution pollinique des populations naturelles à partir des plantations environnantes, sachant que le pollen de caféier peut parcourir 2 km au moins en forêt [6]. Enfin, les réserves forestières intégrales doivent être aussi grandes que possible pour minimiser la proportion de la surface protégée au contact de la zone tampon environnante.

Deux initiatives récentes de conservation *in situ* méritent d'être rapportées bien que les résultats doivent être considérés comme préliminaires. En 1997, le gouvernement éthiopien a défini une politique de protection de l'environnement et une stratégie de conservation. Trois réserves (44 000 ha) furent choisies dans l'aire d'origine de *C. arabica*. Malheureusement le financement des activités n'est pas encore assuré [39]. Une évaluation de la valeur économique du café produit par les formes sauvages est en cours, avec l'objectif de le commercialiser à un prix supérieur à celui du café produit dans les plantations commerciales. Le bénéfice ainsi dégagé pourrait servir à financer les activités de conservation et d'utilisation des formes sauvages. Le développement agricole serait ainsi associé à la conservation des ressources génétiques dans une relation bénéfique à moyen et long terme [1].

Sur l'île Maurice, dix sites de conservation *in situ* furent sélectionnés pour les caféiers, dont huit sont situés dans des réserves protégées [17]. Mais les mesures de protection sont faiblement appliquées si bien que la survie des ressources génétiques dans leur habitat naturel n'est pas garantie. De plus, la fragmentation de la couverture forestière a produit des îlots dont la surface ne dépasse pas parfois 1 km² [18].

5. CONCLUSION

La conservation des ressources génétiques caféières souffre d'un financement insuffisant et de l'absence de vision à long terme [19]. Cette situation est paradoxale pour le premier produit agricole d'exportation, en valeur, dans le monde et sachant qu'environ 125 millions de personnes dépendent de la culture du caféier pour vivre. L'exploitation des ressources génétiques dans un programme d'amélioration ne coûte pourtant pas chère lorsqu'on compare ce coût aux revenus de la filière du café, seulement 1 ‰ pour un pays comme l'Éthiopie [12]. En outre, des hybrides F1 entre formes sauvages et

cultivées de *C. arabica* et de *C. canephora* se sont révélés plus vigoureux et productifs que les meilleures variétés actuelles [33]. Ces résultats ont renforcé l'intérêt des sélectionneurs pour les formes sauvages et rappelé l'importance de la conservation en champ des ressources génétiques. Les méthodes basées sur la biotechnologie constituent des alternatives intéressantes et complémentaires. La culture *in vitro* permet de multiplier des individus hétérozygotes et d'échanger des ressources génétiques saines. Compte tenu de son coût relativement élevé, cette méthode doit être réservée à des activités de conservation de courte durée. La cryopréservation est, au contraire, destinée au long terme et peut être utilisée pour conserver un nombre important d'accessions, le facteur limitant étant la capacité de stockage, et non la main d'œuvre disponible comme pour la préservation *in vitro*. Les recherches sont maintenant orientées vers la compréhension des mécanismes cellulaires et moléculaires de la sensibilité des semences de caféier à la déshydratation.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier le BRG (Bureau des Ressources Génétiques) et l'IPGRI (*International Plant Genetic Resources Institute*) pour leur intérêt et soutien financier à la conservation des ressources génétiques de caféier.

RÉFÉRENCES

- [1] Abedaw D., Virchov D., The microeconomics of household collection of wild coffee in Ethiopia: some policy implications for *in situ* conservation of *Coffea arabica* genetic diversity, in : Actes de l'atelier sur l'analyse économique des politiques de conservation de la biodiversité, 28-29 août 2003, Venise, Bioecon, Londres, 2003, pp. 1-10.
- [2] Anthony F., Les ressources génétiques des caféiers : collecte, gestion d'un conservatoire et évaluation de la diversité génétique, Collection Travaux & Documents Microfichés de l'Orstom n° 81, IRD, Paris, 1992, 320 p.
- [3] Anthony F., Le Pierrès D., La diversité génétique de l'espèce *Coffea congensis* Froehner. Évaluation en Côte d'Ivoire de caféiers sauvages originaires de République centrafricaine, Café-Cacao-Thé 31 (1987) 251-266.
- [4] Anthony F., Astorga C., Berthaud J., Los recursos genéticos: las bases de una solución genética a los problemas de la caficultura latinoamericana, in :

- Bertrand B., Rapidel B. (éds), Desafíos de la caficultura centroamericana, IICA/Promecafe-Cirad-IRD-CCCR France, San José, 1999, pp. 369-406.
- [5] Anthony F., Astorga C., Avendaño J., Dulloo E., Conservation of coffee (*Coffea* spp.) genetic resources in the CATIE field gene bank, in : Engelmann F., Dussert S., Anthony F., Astorga C., Dulloo E. (éds), Complementary strategies for *ex situ* conservation of *Coffea arabica* genetic resources, Handbooks for genebanks, IPGRI, Rome, 2004, en impression.
- [6] Berthaud J., Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Collection Travaux et documents de l'Orstom, IRD, Paris, 1986, 379 p.
- [7] Bertrand B., Anzueto F., Moran M.X., Eskes A.B., Étienne H., Création et diffusion par embryogenèse somatique d'une variété porte-greffe (*Coffea canephora*), Plant. Rech. Dév., n° spé. Recherche et caféiculture (2002) 95-107.
- [8] Bertrand-Desbrunais A., Charrier A., Conservation des ressources génétiques caféières en vitrothèque, in : Actes du 13^e colloque scientifique international sur le café, Paipa, 21-25 août 1989, ASIC, Vevey, 1990, pp. 438-447.
- [9] Bertrand-Desbrunais A., Noirot M., Charrier A., Minimal growth *in vitro* conservation of coffee (*Coffea* spp.). 1. Influence of low concentrations of 6-benzyladenine, Plant Cell, Tissue and Organ Culture 27 (1991) 333-339.
- [10] Bertrand-Desbrunais A., Noirot M., Charrier A., Slow growth *in vitro* conservation of coffee (*Coffea* spp.). 2. Influences of reduced concentrations of sucrose and low temperature, Plant Cell, Tissue and Organ Culture 31 (1992) 105-110.
- [11] Bridson D., Verdcourt B., *Coffea*, in : Polhill R.M. (éd.), Flora of Tropical East Africa - Rubiaceae (Part 2), A.A. Balkema, Rotterdam, 1988, pp. 703-727.
- [12] Charrier A., Berthaud J., Anthony F., Coût et valorisation des ressources génétiques caféières, in : Actes du 13^e Colloque scientifique international sur le café, Paipa, 21-25 août 1989, ASIC, Vevey, 1990, pp. 429-437.
- [13] Chevalier A., Les vrais et les faux caféiers - Nomenclature et systématique, in : Les caféiers du globe, Encyclopédie biologique n° 28, P. Lechevalier, Paris, 1947, 356 p.
- [14] Davis A.P., Rakotonasolo F., Three new species of *Coffea* L (Rubiaceae) from NE Madagascar, Adansonia 23 (2001 a) 137-146.
- [15] Davis A.P., Rakotonasolo F., Two new species of *Coffea* L (Rubiaceae) from northern Madagascar, Adansonia 23 (2001 b) 337-345.
- [16] Davis A.P., Rakotonasolo F., New species of *Coffea* L (Rubiaceae) from Madagascar, Bot. J. Linn. Soc. 142 (2003) 111-118.
- [17] Dulloo M.E., Guarino L., Engelmann F., Maxted N., Newbury J.H., Attere F., Ford-Lloyd B.V., Complementary conservation strategies for the genus *Coffea*: a case study of Mascarene *Coffea* species, Genet. Res. Crop Evol. 45 (1998) 565-579.

- [18] Dulloo M.E., Maxted N., Guarino L., Florens D., Newbury J.H., Ford-Lloyd B.V., Ecogeographic survey of the genus *Coffea* in the Mascarene Islands, Bot. J. Linn. Soc. 131 (1999) 263-284.
- [19] Dulloo M.E., Charrier A., Dussert S., Anthony F., Tesfaye S., Rakotomalala J.J., Agwanda C., Conservation of coffee genetic resources: constraints and opportunities, in : Actes du 19^e Colloque international sur la science du café, Trieste, 14-18 mai 2001, ASIC, Vevey, 2001, CD-ROM réf. B208.
- [20] Dussert S., Chabrillange N., Anthony F., Engelmann F., Recalt C., Hamon S., Variability in storage response within a coffee (*Coffea* spp.) core collection under slow growth conditions, Plant Cell Reports 16 (1997) 344-348.
- [21] Dussert S., Chabrillange N., Engelmann F., Anthony F., Hamon S., Cryopreservation of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds: importance of the precooling temperature, CryoLett. 18 (1997) 269-276.
- [22] Dussert S., Chabrillange N., Engelmann F., Anthony F., Noirot M., Hamon S., *In vitro* conservation of coffee (*Coffea* spp.) germplasm, in : Razdan M.K., Cocking E.C. (éds), Conservation of genetic resources *in vitro*, vol. 1, Science Publishers, New York, 1997, pp. 287-305.
- [23] Dussert S., Chabrillange N., Engelmann F., Anthony F., Hamon S., Cryopreservation of seeds of four coffee species (*Coffea arabica*, *C. costatifructa*, *C. racemosa* and *C. sessiliflora*): importance of water content and cooling rate, Seed Sci. Res. 8 (1998) 9-15.
- [24] Dussert S., Chabrillange N., Engelmann F., Anthony F., Hamon S., Cryopreservation of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds: towards a simplified protocol for routine use in coffee genebanks, in : Engelmann F., Takagi H. (éds), Cryopreservation of tropical plant germplasm: current research progress and application, IPGRI, Rome, 2000, pp. 161-166.
- [25] Dussert S., Chabrillange N., Vasquez N., Engelmann F., Anthony F., Guyot A., Hamon S., Beneficial effect of post-thawing osmoconditioning on the recovery of cryopreserved coffee (*Coffea arabica* L.) seeds, CryoLett. 21 (2000) 47-52.
- [26] Dussert S., Chabrillange N., Engelmann F., Anthony F., Vasquez N., Hamon S., Cryopreservation of *Coffea* (coffee), in : Towill L.E., Bajaj Y.P.S. (éds), Biotechnology in agriculture and forestry, vol. 50, Springer-Verlag, Berlin, 2002, pp. 220-233.
- [27] Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H., An intermediate category of seed storage behaviour? 1. Coffee, J. Exp. Bot. 41 (1990) 1167-1174.
- [28] FAO, FAO coffee mission to Ethiopia 1964-1965, FAO, Rome, 1968, 200 p.
- [29] FAO, State of the world report on plant genetic resources for food and agriculture, FAO, Rome, 1998, 510 p.
- [30] Guillaumet J.L., Hallé F., Échantillonnage du matériel récolté en Éthiopie, Bull. IFCC 14 (1978) 13-18.
- [31] Lashermes P., Combes M.C., Robert J., Trouslot P., D'Hont A., Anthony F., Charrier A., Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome, Mol. Gen. Genet. 261 (1999) 259-266.

- [32] Mitchell H.W., Cultivation and harvesting of the Arabica coffee tree, in : Clarke R.J., Macrae R. (éds), Coffee, vol. 4: Agronomy, Elsevier Applied Science, Londres, 1988, pp. 43-90.
- [33] Montagnon C., Leroy T., Bertrand B., Charmetant P., Dufour M., Résultats récents pour l'amélioration génétique du caféier, Plant. Rech. Dév., n° spé. Recherche et caféiculture (2002) 85-94.
- [34] Somarriba E., Harvey C.A., Samper M., Anthony F., González J., Staver C., Rice R.A., Biodiversity conservation in neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations, in : Schroth G., da Fonseca G.A.B., Harvey C.A., Gascon C., Vasconcelos H.L., Izac A.M.N. (éds), Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes, Island Press, Washington, 2004, pp. 198-226.
- [35] Stoffelen P., *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae) in tropical Africa: a systematic and palynological study, including a revision of the West and Central African species, Mémoire de doctorat, université catholique de Louvain, 1998, 270 p.
- [36] Stoffelen P., Noirot M., Couturon E., Anthony F., A new caffeine-free coffee species in the deep rain forest of Cameroon, Bot. J. Linn. Soc. (2004) soumis.
- [37] Van der Vossen H.A.M., Methods of preserving the viability of coffee seed in storage, Kenya Coffee 45 (1977) 31-35.
- [38] Vasquez N., Salazar K., Anthony F., Chabrillange N., Engelmann F., Dussert D., Variability in response of seeds to cryopreservation within a coffee (*Coffea arabica* L.) core collection, Seed Sci. Tech. (2004) accepté.
- [39] Woldermariam Gole T., Denich M., Teketay D., Vlek P.L.G., Human impacts on the *Coffea arabica* gene pool in Ethiopia and the need for its *in situ* conservation, in : Engels J.M.M., Ramantha Rao V., Brown A.H.D., Jackson M.T. (éds), Managing plant genetic diversity, IPGRI, Rome, 2002, pp. 237-247.

Anthony François, Dussert Stéphane

Conservation et gestion des ressources génétiques de caféier
: vingt ans d'expérience pratique

In : Un dialogue pour la diversité génétique. Paris : BRG, 2005,
p. 359-372

(Les Actes du BRG ; 5). ISBN 2-908-447-33-9 Colloque
National du BRG : Un Dialogue pour la Diversité Génétique, 5.