

ORSTOM
32, avenue Henri Varagnat
93143 Bondy Cedex
Tél. 48 02 55 00 - Fax 48 47 30 88

ÉTUDE
COÛT INCRÉMENTAL ET PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ

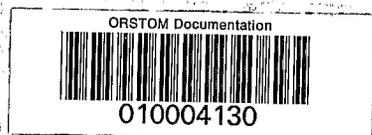
Réalisée à la demande du Fonds Français pour l'Environnement Mondial
-FFEM-

DOCUMENTS DU GROUPE DE TRAVAIL

La conservation des ressources génétiques végétales d'origine agricole

Michel Trommetter
INRA/Unité SERD
BP 47
38040 Grenoble Cedex 09

Janvier 1996



La conservation des ressources génétiques végétales d'origine agricole

Michel Trommetter : INRA / Unité SERD, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 09

I. L'EVALUATION DES COÛTS DE LA CONSERVATION DES RGV¹

La rationalisation et le financement des collections de RGV nécessitent au préalable une étude des coûts liés aux différentes étapes de la conservation (de la prospection à l'évaluation²). Or les données sur le sujet sont quasi-inexistantes. Par contre, le montant global alloué au financement de la conservation des ressources génétiques en banque de graines est connu (abstraction faite des coûts pré-conservatifs) et se monte à approximativement 60 Millions de US\$ par an. Le financement des collections in-situ (valeur sociale et symbolique) se situe, quant à lui, à 200 millions de US\$ (source Glachant (1991)).

A. L'analyse globale du CERNA

Une étude du CERNA (Glachant 1991) a été réalisée par enquête auprès des banques de gènes internationales ou nationales de différentes tailles. L'information récoltée concerne "les coûts opérationnels de gestion des banques de gènes" qui assurent, ex-situ, la préservation des ressources génétiques. Cette étude est utile comme représentant au temps t, le niveau des coûts de conservation par échantillon selon le type de banque de semence analysé. Le peu de fiabilité de certaines banques provient sans doute d'une gestion délicate (étiquetage des sacs, classement et base de données), mais surtout d'un manque évident de financement pour travailler dans de bonnes conditions.

Tableau 1 : Répartition des coûts selon la taille des centres de conservation

	Catégorie + 50000 éch	10-50000 échantillons	- 10000 échantillons	moyenne pondérée
coût /éch (US\$)	6,38	22,9	21,8	16

1 Cette section présente des coûts par techniques de conservation. Une analyse plus détaillée sur le schéma d'organisation des différents types de conservation et plus fine sur les coûts, se trouve dans M.Trommetter 1993. Ces travaux ont été financés dans le cadre du programme Prodige de l'AIP AGROTECH de l'INRA.

2 L'évaluation du matériel est laissée à des organismes internationaux de gestion des collections de semences. On peut noter le peu d'efficacité de cette méthode, sur l'exemple de la banque de gènes de Bari (Italie) ou de Fort Collins (USA), cela impose une réorganisation du stockage à long terme des ressources génétiques.

ventilation :				
conservation	80%	64%		
évaluation	5%	20%		
échange	15%	16%		
Postes				
personnel	65%	64%		
énergie	7%	5%		
autres	28%	31%		
nbre éch/pers	4128	3050	742	3044
Nbre total d'éch	1400000	1140000	660000	
Coût total (1000US\$)	8900	26100	13400	

Source Glachant (1991)

Dans le tableau 1, on peut noter la faible part des travaux d'évaluation du matériel. Ces chiffres, bien qu'intéressants, ne nous donnent aucune idée sur ce qu'il faudrait faire pour avoir une conservation plus fiable et plus efficace. C'est pourquoi nous avons privilégié une analyse microéconomique des coûts de la conservation à partir d'une enquête, diffusée auprès de L'ORSTOM qui conserve et étudie des ressources génétiques (Montpellier) et de l'INRA (Montpellier, Clermont Ferrand et Lusignan) qui les utilise et les conserve par nécessité de recherche. Il ressort que les banques centralisées de conservation des RGV souffrent d'un problème de réputation : la demande de matériel reste souvent sans réponse (questions non précises, échantillon trop faible), le matériel envoyé ne correspond pas à ce qui a été demandé (mauvaise gestion). L'effort d'évaluation nécessaire à une meilleure rationalisation de la conservation, ne sera efficace que si les banques prouvent la fiabilité de cette évaluation (principe de réputation). Cette rationalisation de la gestion des centres de conservation ne peut se faire qu'avec un accroissement du financement, justifié par un accroissement de la valeur sociale qui en découle. Cette évaluation nécessite le recrutement de scientifiques compétents dans les banques de gènes, dans la mesure où une bonne connaissance des espèces conservées dans la banque leur est demandée.

B. Le coût actuel de la conservation

Cette étude des coûts est limitée à des conservatoires français, d'une part en raison de la diversité des types de conservation utilisés et de la fiabilité existante (ces résultats seront comparés aux études plus globales afin de montrer leur fiabilité) et d'autre part du fait de la difficulté d'obtenir des réponses détaillées aux questions posées. Les techniques de conservation utilisées par l'ORSTOM sont : la conservation en banque en champs par M. Charrier et M. Antony (Cote d'Ivoire) ; la conservation en banque de semences par M. Clément et M. Billard (Bondy) ; la conservation en vie ralentie (Montpellier) et la cryoconservation par M. Engelman (mise au point et diffusion).

Tableau 2 : Répartition des coûts par technique de conservation (en FRF):

mode de conservation coûts	Banque en champs (1)	Banque de graines (2)	vie ralentie (3)	cryoconservation (4)	Gestion dynamique (5)
nombre d'échantillons	8 000	10 000	800	75	1 500
pré conservation	4 000 000	2 000 000	gratuit	gratuit	gratuit
coûts fixes		1 100 000	200 000	100 000	
Personnel variables courant régénération	500 000 30 000	550 000 60 000	150 000 1 000 000	650 000 11 000 (25 000)	
Evaluation croisements base données	1 500 000 150 000	150 000	tests de conformité	tests de conformité	réalisée réalisée
Total Fixe	4 000 000 2 500 000	3 100 000 800 000	200 000 1 150 000	100 000 700 000	3 000 000
Variables					
Total/éch Fixe	500(84US\$ 3)	310 (52\$) 80 (13\$)	200 (34\$) 1438 (240\$)	1 333 (222\$) 9333 (1555\$)	2 000 (333 US\$)
Variable	312 (52US\$)				

Source Trommetter 1993

Ce tableau présente à la fois des techniques effectivement utilisées dans les programmes de conservation des RGV (1) (2) (3) et (5) et une technique dans sa phase de développement (4) (d'où des coûts que l'on peut considérer, pour l'instant, comme prohibitifs).

On peut ainsi remarquer que :

- (1) est bien évalué et peut directement servir aux sélectionneurs de caféiers⁴, mais on peut se retrouver confronté à l'apparition d'un prédateur (malgré les contrôles phytosanitaires). Faut-il s'intéresser parallèlement à une cryoconservation ?

³ Le coût de la conservation est évalué en \$US, sur la base de 1 \$US=6 FRF

⁴ Cf CHARRIER-BERTHAUD-ANTONY (1989), pour une analyse précise du cas du caféier, le lecteur peut également voir infra la section sur la conservation dynamique.

- (3) sert à la fois de conservatoire, de multiplicateur/régénérateur (cryoconservation) et de technique utile en sélection (réplication à l'infini des cals) ;
- (2), (3), (4) nécessitent des opérations de régénération et d'évaluation pour lesquelles le financement est mal assuré. Les prospections ont permis d'obtenir des informations sur les caractères agronomiques, de résistance ou d'adaptabilité (salinité des sols, ...), qui sont stockés sur base de données. C'est à notre avis, le degré minimal d'évaluation pour une banque de gènes (en vue de la sélection).
- (4) est en plein développement ; nous verrons dans le point suivant les économies d'échelle que l'on pourra faire grâce à son perfectionnement et à son utilisation routinière.
- (5) est proche de la sélection mais peut également servir de base à la construction de Core Collection;

Si l'on ne tient compte que des techniques de conservation classiques (Banques de graines et banques en champs), le coût moyen par échantillon est de 75 US\$ de coûts fixes (approximativement) et de 33 US\$ de coûts variables par échantillon ce qui est relativement proche des conclusions données par le Keystone Dialogue, ie 75 US\$ de coûts fixes d'investissement de départ, et 50 US\$ de coûts variables annuels. On est loin du résultat donné par le CERNA, qui se réfère principalement à une conservation des ressources génétiques dans les Pays en Voie de Développement (coûts de main d'oeuvre faible), néglige les coûts de prospection (étape nécessaire avant toute conservation) et les coûts fixes liés à la mise en place d'une conservation "efficace". Par contre, toutes les techniques "nouvelles", collection in vitro et cryoconservation, ont des coûts prohibitifs en raison de leur mise au point (qu'en sera t-il dans le futur?).

C. Quels sont les coûts minimaux pour réaliser une conservation efficace

Après cette présentation des coûts, nous allons analyser les coûts des opérations nécessaires mais ignorées dans la structure actuelle de la conservation : la multiplication des échantillons (régénération) et l'évaluation.

1. La multiplication (régénération des lots)

La multiplication des plantes autogames reste assez simple à réaliser. Dans le cas du blé, il suffit de trouver une surface de 100 m² avec un rideau autour des plantes⁵. La multiplication se fait sur environ 3 à 500 entrées par an pour un coût de 50 à 200 francs par entrée (dans notre

⁵ Cette surface est considérée comme suffisante dans le cas de l'INRA de Montpellier qui possède 2000 entrées dans sa collection blé dur ; la multiplication par échantillon à lieu tous les quatre ans.

approximation, nous tiendrons compte de 100 FRF / échantillon ce qui paraît raisonnable).

Pour les plantes allogames, par contre, il faut une infrastructure lourde (nous devons tenir compte de la spécificité des plantes dans nos scénarios d'évolution) afin de :

- contrecarrer la pollution génétique
- effectuer des multiplications en contre-saison (parcelles d'arrosage)
- disposer de suffisamment d'espace pour permettre des distances d'environ 1000 m entre les parcelles des différents échantillons.

Devant cette lourdeur et les risques de pollution génétique, le type de multiplication le plus approprié semble être la pollinisation contrôlée⁶. Un tel travail demande du personnel et surtout du terrain en serre pour réaliser ces croisements, mais elle est moins chère et semble-t-il plus sûre qu'un croisement tout azimut à l'air libre. C'est pourquoi l'ORSTOM Bondy ne peut à ce jour réaliser qu'une dizaine de multiplications par an.

La régénération des lots n'est pas évidente quel que soit le mode de conservation ex-situ utilisé (exception faite de la banque en champ). En effet, même la multiplication in vitro demande une confrontation des échantillons multipliés à la plante mère, ce qui en fonction de l'échantillon (plantes à reproduction végétative, arbres, ...), peut se révéler long et coûteux. Pour se faire une idée sur les coûts de la multiplication des plantes allogames, on peut donner l'exemple du tournesol pour lequel les coûts mis en évidence sont de 300 FRF par échantillon pour les espèces cultivées et de 150 FRF pour les espèces sauvages.

Tableau 3 : Les coûts des opérations spécifiques par type de conservatoire (en FRF/échantillon) :

	plantes autogames	plantes allogames
<u>Banque (ts les 10 ans)</u>		
régénération	100	300 à 500
évaluation phénotypique	600	600
<u>cryoconservation (25 ans)</u>		
régénération in vitro	150	150
tests de conformité	600	800

⁶ Pour retrouver la diversité génétique d'un échantillon, il suffit à partir de 60 plantes de les croiser deux à deux frères/soeurs, ce qui demande 120 croisements avec mélange de la semence à la fin. Une personne bien entraînée doit être capable de réaliser 80 croisements par jour, ce qui correspond à un jour et demi par échantillon.

Coût moyen /échantillon Banque	70	100
Coût moyen/échantillon cryoconservation	30	34

Source Trommetter 1993

La régénération des lots conservés en banque se fait en moyenne tous les dix ans, le coût représenté est celui d'une banque de 10 000 échantillons réalisant 1 000 régénérations par an pour un coût de 100 000 FRF. Pour la cryoconservation, on considère une régénération tous les 25 ans sur 2500 échantillons ce qui en fait à peine 100 par an pour un coût de 10 000 FRF, tests de conformité non compris⁷.

2. L'évaluation du matériel

La potentialité d'utilisation (donc de valorisation) du matériel conservé requiert une bonne évaluation de celui-ci⁸, c'est pourquoi nous étudierons les évaluations réalisées au niveau phénotypique et moléculaire⁹.

Les différentes techniques d'évaluation du matériel peuvent se décomposer comme suit :

- * Evaluation de terrain (phénotypique et spécifique) ;
- *Evaluation par électrophorèse :
- *Evaluation moléculaire (RFLP, RAPD, etc).
- *Evaluation par sondes froides (expérimentation).

⁷ Une analyse sur la comparaison entre les coûts de la conservation en banque et les coûts de la cryogénie, ont été réalisés par le congrès des Etats-Unis 1987, ils tiennent compte d'un test de germination tous les 5 ans pour la banque et de tous les 50 ans pour la cryogénie, et d'une régénération tous les 25 ans pour la banque et de tous les 100 ans pour la cryogénie. Les résultats sont donnés par : le coût moyen par échantillon sur 100 ans pour la banque est de US\$ 1.65/an et pour la cryogénie de US\$ 0.46 / an. La conclusion qui en découle est que la cryoconservation est moins coûteuse à long terme, du fait qu'elle réduit le nombre de tests de viabilité des échantillons, ainsi que le nombre de régénération. La conservation dynamique pour sa part présente un coût important en surface et en personnel. De plus, les risques de dérive et de perte de gènes non létiaux nécessitent généralement que l'on mette parallèlement en place un système de conservation statique.

⁸ L'évaluation représente toute action destinée à mieux rendre compte de la diversité, des croisements possibles, et des possibilités de transfert (méthode directe de sélection). Ces différentes méthodes d'évaluation sont l'analyse phénotypique, l'analyse de l'écosystème dans lequel se trouvent les plantes, l'électrophorèse, le marquage moléculaire et les études biochimiques.

⁹ Les techniques de RFLP peuvent être utiles si on fait de la sélection, mais pour une évaluation directe, l'analyse phénotypique ne peut, pour l'instant, être remplacée.

L'évaluation phénotypique doit impérativement se réaliser sur le terrain¹⁰, lors de la phase de collecte. Pour les caractères spécifiques (résistance, adaptabilité, qualité) une enquête de terrain est nécessaire, faute de quoi, ces caractères peuvent passer inaperçus. En l'état actuel des techniques d'évaluation biologique ou moléculaire, l'information récupérée est importante dès la phase de prospection¹¹. En effet, une analyse précise de terrain (millet et sorgho) permet de mettre en évidence des groupes géographiques pour les échantillons. Ces échantillons évalués par la méthode RFLP ont permis de déterminer que les groupes génotypiques correspondent exactement aux groupes géographiques précédemment mis en évidence par M.Clément (étape de mise au point de la technique et de sa fiabilité).

On peut noter que pour le tournesol, le coût d'évaluation morphologique sur le terrain au cours des multiplications a été évalué à 600 FRF par échantillon (cf tableau 3 ci avant).

L'évaluation génétique

L'évaluation par électrophorèse : sur chaque plaque on met douze échantillons, et pour chaque individu on fait trois systèmes enzymatiques. Le coût d'étude d'une plaque est de 5 FRF.

D'autres sources nous ont permis d'évaluer le coût de l'échantillon à 4 FRF, la durée de l'évaluation électrophorétique étant de 2 jours. Comme nous l'avons déjà laissé entendre, la biologie moléculaire (RFLP) en est encore au stade de développement. Dans le cas du tournesol, elle a permis, en testant tous les échantillons en collection, de renforcer la classification US du Tournesol. Il y a une accumulation de plus en plus forte d'informations sur les convergences / divergences génétiques.

Le coût de la technique RFLP peut être évalué à 600 FRF par échantillon (20 FRF par analyse, sachant que pour chaque échantillon il faut répéter 3 fois l'analyse sur 10 marqueurs). Le coût initial d'achat de l'appareil est de 500 000 francs.

D. LES PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES MÉTHODES

Le monde de la génétique et de la biologie moléculaire est en constante évolution, avec ces dernières années des résultats intéressants,

¹⁰ En effet, le coût de cette analyse ex-post à la conservation devient très rapidement hors de prix et surtout, difficilement réalisable (CF Rapport Clément sur l'analyse complète du Millet).

¹¹ Pour le mil, l'évaluation in situ semble à l'heure actuelle la plus appropriée, c'est pourquoi un projet a été déposé, mais jamais réalisé devant l'importance des travaux à engager (Cf rapport Clément) ; une telle analyse est nécessaire, en tant que dernière étape d'une collection, afin de définir par voie classique (morphologie, physiologie,), ou biochimique, les caractéristiques des collections.

tant sur les avantages de la diversité génétique que sur la localisation des gènes importants ou sur les techniques de transfert direct de caractères (de gènes, voire de séquences géniques). Ces résultats ont modifié l'approche du métier de sélectionneur, donc le rôle des banques de semences qui se sont transformées en banques de caractères agronomiques (voire de gènes). La politique de gestion de ces banques doit donc évoluer vers la conservation de caractères en évitant autant que faire se peut les redondances (source de surcoût de la conservation)¹². C'est pourquoi dans cette partie nous allons construire des scénarios d'évolution sur les techniques de conservation, sur les techniques d'évaluation et sur les techniques de transfert.

1. Les évolutions des techniques connexes

Les anticipations sur les évolutions des techniques d'évaluation et de transfert ont un rôle important dans la conservation des EGV. En effet, ce sont elles qui vont peut être arriver à localiser de façon précise les caractères importants (carte génétique) et qui vont définir le degré d'utilisation potentiel des espèces (transferts interspécifique).

1.1. Les techniques d'évaluation

Hormis les techniques d'évaluation classiques que sont les évaluations agronomiques et morphologiques sur pied (analyse du phénotype), des techniques plus académiques ont été développées (électrophorèse, RFLP, RAPD). Ces techniques sont, pour l'instant, testées sur des échantillons connus, afin de représenter la diversité génétique et les liens entre les échantillons. Elles commencent à devenir efficaces pour localiser, sur les chromosomes, les caractères agronomiques et leurs relations (cartographie génétique).

Les techniques de RFLP restent coûteuses (investissement de départ, coût par échantillon, délai). De nouvelles techniques émergent telle "l'hybridation in-situ" sur chromosomes d'une sonde froide et fluorescente¹³. Cette technique réduit le délai de réaction face à un événement imprévu (adaptabilité dont nous tiendrons compte dans nos modèles de simulation). Elle semble pouvoir être utilisée, assez facilement, en complément des études de cytogénétique sur l'évolution du génome au sein des complexes d'espèces, pour mettre en évidence, à partir des hybrides,

12 Dans le cas de la pomme de terre, (centre de Lima au Pérou), une coopération avec une université américaine a permis de montrer que seuls 20% des échantillons conservés étaient spécifiques, les autres présentant des caractères tant morphologiques qu'agronomiques que l'on retrouvait ailleurs.

13 Cette technique s'avère utile pour l'évaluation des ressources génétiques, puisqu'elle fournit un profil chromosomique unique pour chaque génotype caractérisé. Ces différentes techniques ont été présentées lors du colloque en hommage à J.Pernès en Janvier 1992.

la relation qui existe à l'intérieur de ce complexe. Ceci permettra de montrer leur intérêt et d'analyser les anomalies possibles¹⁴.

1.2. Les techniques de transfert

L'évolution du métier de sélectionneur est contingente à celle des techniques d'évaluation du matériel végétal. En effet, on tend de plus en plus à identifier et localiser (sur les chromosomes) les gènes codants des caractères agronomiques et/ou de résistances (cf point précédent) et à essayer de ne plus sélectionner en fonction des compatibilités sexuelles, mais à insérer de manière directe les caractères intéressants (passage du transfert intra à inter-spécifique). Les nouvelles techniques de transfert de caractères visent deux buts: la diminution des délais de réaction face à la concurrence ou face à des états de la nature (apparition d'un prédateur, d'un pathogène) et la possibilité de transférer des caractères intéressants de manière inter-spécifique.

Ces évolutions technologiques ne sont pas sans poser un problème d'éthique vis à vis du consommateur (label de variété génétiquement modifiée), mais semblent vouées à un bel avenir. Elles portent sur l'analyse de l'efficacité du transfert de gènes (caractères monogénique ou polygéniques) et même si à l'heure actuelle l'insertion d'un gène étranger dans une variété reste délicate et longue, du fait de sa localisation aléatoire (expression non conforme au résultat attendu), l'utilisation du canon à particules semble un moyen de contourner cette difficulté.

2. L'évolution des techniques de conservation

Au niveau de la conservation en banque, les économies d'échelles sont faibles, mais il faudra faire un effort d'évaluation du matériel (valorisation des collections). Il y a arbitrage entre continuer une conservation en banque (évaluation minimale, voire inexistante) et mettre en place une core collection qui, avec seulement 20 à 40 % des échantillons de départ, permet de représenter la plus grande partie de l'information contenue dans la banque (Cf chapitre 3). Ce coût de mise en place d'une core collection¹⁵ est réduit en terme de coûts de gestion mais augmente de 600 FRF par échantillon du fait de l'évaluation. De même, il faudra tenir compte des coûts de régénération du matériel, étape nécessaire pour assurer la fiabilité de la conservation en banque (10% par an dans le cas d'une régénération des lots tous les dix ans). Pour cette régénération nous devons séparer les plantes allogames des plantes autogames.

Pour ce qui est des nouvelles techniques de conservation (cryoconservation), le personnel présent actuellement devrait être suffisant pour conserver bien plus d'échantillons et la mise dans l'azote liquide

14 L'approche cytogénétique sert avant tout à l'analyse de la ploïdie (description du matériel) et à l'analyse de la structure caryotypique (nombre de chromosomes)

15 Hormis la différence du nombre d'échantillons conservés et l'effort d'évaluation réalisé, la core collection sera gérée sur le même principe que la banque de gène.

devrait devenir fiable à 50% grâce à l'apprentissage et au développement routinier de cette technique. Des recherches ont dès à présent permis de limiter le nombre d'opérations nécessaires préalablement à la conservation proprement dite (cf Engelmann 1992). Il faudra, par contre, ajouter les coûts liés à la régénération des lots (tous les 25 à 50 ans) par la méthode de multiplication in-vitro et la vérification de la conformité du matériel par rapport à la population mère. La rationalisation de ce type de conservation par l'évaluation du matériel conservé est nécessaire, faute de quoi, on peut se retrouver avec un conservatoire inefficace, comme cela a été trop souvent le cas pour les banques.

D. SYNTHÈSE :

L'analyse de la rationalisation de la conservation des ressources génétiques ne peut et ne doit pas se faire en faisant abstraction des évolutions des techniques d'évaluation et de transfert. En effet, la valorisation des ressources conservées sera d'autant plus importante que l'on aura tenu compte des besoins des utilisateurs, c'est à dire des semenciers présents et futurs. Sans cet effort la conservation passera pour une représentation de la "bonne conscience" des générations présentes vis à vis des générations futures, alors que l'effort d'évaluation des ressources conservées sera d'une part un élément important de la rationalisation de la conservation (élimination des redondances superflues) et d'autre part un réservoir de caractères agronomiques et de résistances utilisables directement dans les schémas de sélection (matière première) présents et futurs.

Pour ce qui est de la conservation en banque au champ, on peut considérer que telle qu'elle est représentée ici, ces coûts ne vont pas beaucoup évolués, en effet, il y a à la fois conservation, évaluation, tests de possibilités de croisement. On pourra néanmoins réfléchir à la mise en place d'un cryoconservatoire en parallèle.

Les coûts de la conservation en banque de graines dépendront du type de plantes considéré, les plantes autogames et les plantes allogames. En effet, comme nous l'avons signalé, dans le cas de la régénération du matériel, le coût sera différent en fonction du mode de reproduction. Ce coût pourra être réduit si l'on considère la longévité de la conservation à froid (régénération tous les 10 à 15 ans au lieu de 5 ans à l'heure actuelle).

Ces coûts font abstraction pour l'instant des coûts d'évaluation moléculaire, nous préférons montrer, combien coûte une conservation efficace, avec une bonne connaissance du matériel et avec une gestion rationnelle (régénérations dès que le taux de germination descend trop bas (50% du taux de départ), soit approximativement tous les 10 ans en banque, et tous les 25 ans en cryoconservatoires).

Tableau 4 : Le coût minimal nécessaire en milliers de francs :

	Banque en champs	cryoconservation	Banque de semence	core collection	Gestion dynamique
coûts fixes : pré-conservation incluse	4 000	3 000(16)	3 100	550	
Echantillon	8 000	4 000	10 000	2 500	1 500
personnel	500	650	600	600	
gestion	30	20	60	30	
régénération		<u>auto allo</u> 24 24	<u>auto allo</u> 100 500	<u>auto allo</u> 20 100	
évaluation tests de conformité	1 500	<u>auto allo</u> 100 160	<u>auto allo</u> 600 600	<u>auto allo</u> 125 125	
base de données	150	150	150	150	
<u>Coût total</u>					
fixe	0	300	1100	550	
variables	2500	<u>auto allo</u> 950 1000	<u>auto allo</u> 1500 1900	<u>auto allo</u> 925 1025	3000
fixe/éch	0	75	110	220	
variables/éch	312	<u>auto allo</u> 240 250	<u>auto allo</u> 150 190	<u>auto allo</u> 380 420	2000
(en francs)					
Total/éch(FR)	500	825	310	220	
Fixe		<u>auto allo</u>	<u>auto allo</u>	<u>auto allo</u>	
Variable	312	240 250	150 190	380 420	2000

Source Trommetter 1993

On peut remarquer que la cryoconservation que nous considérons comme une technique de core collection, malgré des coûts considérés comme prohibitifs liés à la recherche développement sur cette technique, sera dans le futur la technique la moins coûteuse (au niveau du coût total de la conservation) avec la core collection en banque de semence. On peut néanmoins remarquer que cette technique sera dans un premier temps à développer pour les espèces à reproduction végétatives. Seules les techniques de multiplication in-vitro nous semblent devoir avoir une influence sur les

16 Coûts de recherche/développement de la technique : à l'ORSTOM, nous avons étudiés les coûts non seulement de la conservation des ressources génétiques en cryoconservatoires, mais également, les coûts liés à la mise au point de la technique.

plantes à graine (allogames) du fait du coût élevé de la régénération du matériel.

Les coûts par échantillons restent relativement élevés dans le cas de la core collection et de la cryoconservation par rapport aux autres techniques. Un tel résultat est dû au fait que nous considérons qu'au niveau du personnel impliqué dans la conservation, des économies d'échelles sont possibles par une augmentation de l'échantillon conservé (mais est-ce bien utile ?) et dans le cas de la core collection en banque de semences, le coût d'installation de la banque est représenté par une chambre équipée pouvant contenir jusqu'à 5000 échantillons d'où des économies d'échelles possibles au niveau du coût marginal de la conservation.

II. COMMENT ARBITRER ENTRE CONSERVER OU PAS

La problématique mise en évidence dans la section précédente est qu'il existe une érosion de la diversité génétique, qu'il existe des techniques de conservation, mais que le financement accordé est souvent trop faible pour réaliser une conservation efficace. Tout eu été plus facile si les conditions d'utilisation de la biodiversité ne connaissaient pas elles-mêmes une formidable transformation. Avec le développement des biotechnologies, la biodiversité n'a plus seulement une valeur pour les populations locales (extractivistes, ...) ou pour la création d'effets externes locaux ou globaux (l'expression "poumon de la planète" résume bien l'idée), la valeur d'existence ne suffit plus à donner une appréciation convenable puisque, les conditions d'identification, d'insertion, et d'expression des séquences géniques ayant changées, les écosystèmes peuvent être considérés comme des "réservoirs de gènes". Ajoutons pour mieux comprendre le problème des institutions internationales que ces utilisations nouvelles imposent que les problèmes d'appropriation des ressources génétiques soient posés. Il faut arriver à créer un système incitatif qui soit favorable à la fois à la préservation de la diversité génétique et à la R&D.

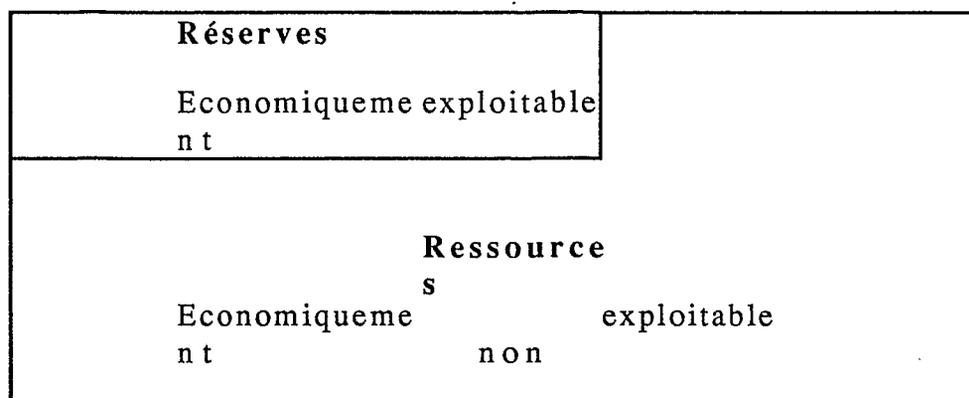
1. LES COMPOSANTES DE LA VALEUR DE LA BIODIVERSITÉ

Dans l'analyse économique standard de l'évaluation économique de la biodiversité, la multifonctionnalité du patrimoine naturel est généralement décomposée en valeur d'usage (liée à la consommation directe ou indirecte), valeurs écologiques (prix d'une eau pure), valeur d'existence et valeur d'option. Il s'agit en particulier de l'analyse retenu par l'IUCN.

Schéma 1 : Typologie de la biodiversité selon la faisabilité économique et le niveau d'incertitude

Ressources totales			
Identifiées			Non découvertes
Prouvées		Probable	
Mesurées	Évaluées		

intérêt
économique
croissant



Incertitude croissante

Source Trommetter 1993

Des travaux de la FAO, en 1994, présentent une autre typologie des valeurs de la biodiversité avec la valeur de portefeuille (Cf. Schéma 1) -préserver en vue de minimiser des risques connus (notion de risque)-, valeur d'option -préservation de plantes connues pour un usage inconnu (notion d'incertitude)- et valeur d'exploration -préservation de plantes inconnues pour des usages inconnus-¹⁷.

Quel que soit la typologie retenue, les études réalisées actuellement s'occupent principalement d'une vision ex-post de l'évaluation de la biodiversité alors que l'on se trouve face à un problème d'évaluation ex-ante (valeur d'existence, valeur d'option). Les objectifs de la conservation sont avant tout des objectifs de long terme, pour lesquels les anticipations sur les évolutions des techniques et des connaissances sont essentiels.

2. PROPOSITIONS DE MODÉLISATION

La méthode qui consiste à calculer la valeur des ressources génétiques comme une contribution résiduelle à l'augmentation de la productivité (FAO 1994) est tout à fait adéquate. Elle permet d'éviter les écueils de l'appropriation et du droit de propriété privée, mais ne parvient ainsi qu'à estimer des valeurs ex-post (Joly 1992).

Les valeurs d'options et d'exploitation sont quant à elles des valeurs ex-ante, contingentes à une représentation du futur sous forme d'arbre de décision. Ainsi, Trommetter (1994) a permis des avancées sur le taux d'actualisation, l'horizon temporel et la substituabilité¹⁸.

17 On peut noter que dans le cadre de la typologie des risques et d'assurances, la prévention s'associe à un risque bien déterminé, alors que dans le cas de l'incertain et de l'inconnu on se réfère au principe de précaution pour justifier la préservation de la diversité biologique.

18 la méthode de Trommetter 1994 est la seule à l'heure actuelle qui permette la prise en compte des risques de ne pas conserver et de justifier économiquement la conservation des ressources génétiques, par la mesure de l'absence de perte, en

La problématique

Cette recherche (Trommetter 1993 et 1994) a débuté par l'analyse de l'organisation actuelle de la conservation des ressources génétiques, avec les différents modes de conservation et les acteurs participant au financement, à l'utilisation et à la conservation des ressources génétiques. Cela permet de définir les différents types de conservation des ressources génétiques : une conservation privée proche du sélectionneur, une conservation publique basée sur des "collections musée" (conservation d'un maximum de diversité génétique sans évaluation) ou une conservation publique basée sur des collections "noyaux" (core collection) plus restreinte mais avec une évaluation génétique préalable. On peut ainsi mettre en évidence que le niveau de satisfaction maximum passe par une conservation diversifiée (diversité génétique représentée forte) et suffisamment évaluée pour intéresser le sélectionneur et minimiser ses coûts de R&D (délais de réaction, efficacité des croisements réalisés). Mettre en place une telle conservation paraît nécessaire aux deux parties prenantes, mais il faut convaincre les bailleurs de fonds de la nécessité économique et sociale de financer un tel projet -une telle organisation de la conservation pour être rationnelle économiquement doit être compatible avec la maximisation de l'utilité collective-.

Les principaux résultats

L'arbitrage entre conservation et non-conservation; ainsi que le type de conservation qu'il convient de choisir, est fonction de la date moyenne d'apparition d'un prédateur, des probabilités de présence d'un gène de résistance, de la date moyenne d'apparition d'une nouvelle technique d'évaluation et de transfert et du degré de substituabilité entre les caractères.

* Malgré des financements supérieurs à ceux d'aujourd'hui, (prise en compte des coûts minimaux assurant la durabilité des collections) en fonction de la date moyenne d'apparition du prédateur, la valeur sociale nette (conservation moins non-conservation) est positive et représente une volonté sociale de financer encore davantage les collections, par conservation d'échantillons supplémentaires (accroissement de la probabilité de trouver un gène de résistance en collection).

* Le choix entre les différentes techniques montre que l'intérêt de la conservation diversifiée (probabilité de trouver un gène de résistance plus fort) est réduit par le délai d'adaptation à la modification de l'environnement. Cet arbitrage donne des résultats très différents selon le

terme social, suite à l'apparition aléatoire d'une catastrophe et du développement des productions liées à l'utilisation des conservatoires par les biotechnologues.

cadre d'analyse. La décision de core collection qui ouvre de nouvelles options dans le futur, peut être préférable à la banque (même si cette dernière est préférable tant que le prédateur n'apparaît pas). Le fait de considérer que cette décision ouvre des options (adaptabilité plus forte à la réalisation d'un état de la nature) plus intéressantes dans le futur par rapport à la Banque, peut entraîner un retournement de la solution classique de l'effet irréversibilité.

* Ces arbitrages peuvent être étudiés indépendamment, mais ils sont avant tout interdépendants. L'intégration de la gestion dynamique modifie-t-elle la typologie des techniques de conservation précédemment mise en évidence et les surcoûts apportés par l'association d'une gestion dynamique sont-ils justifiés ? Autrement dit, le gain issu de la plus grande probabilité de trouver un gène résistant est-il supérieur aux coûts qu'elle entraîne (la valeur étant fonction de la probabilité d'apparition d'un prédateur, de la probabilité de trouver un gène de résistance et de la probabilité de modification des techniques d'évaluation -biologie moléculaire-).

Ainsi, sur la base de scénarios d'évolution externe (apparition de prédateurs ou modification qualitative de la demande) et/ou interne (évolution technologique), différents arbitrages entre modes de conservation sont présentés. La simulation des paramètres principaux définit alors une hiérarchie dans les systèmes de conservation. L'analyse des coûts et de la valorisation des ressources génétiques permet ainsi de justifier l'effort de financement nécessaire en faveur de la conservation des ressources génétiques et le type de conservation à mettre en place.

Le décideur possède ainsi un outil d'aide à la décision qui permet en fonction du risque qu'il est prêt à courir de choisir le type de conservation qui correspond. La rationalisation de la conservation dans une optique de développement soutenable importe de minimiser le risque de la non conservation et de la conservation sans évaluation, en incluant les anticipations sur l'apparition de nouvelles technologies dans le domaine des biotechnologies et de la conservation, et la gestion durable d'un maximum d'échantillon dans les collections afin de répondre, au mieux, aux différentes éventualités qui peuvent se présenter dans le futur¹⁹..

19 Cela rejoint la logique des travaux de Ciriacy-Wantrup (1968) qui présentent une alternative à l'analyse coût/bénéfice pour la préservation de la biodiversité, la méthode Safe Minimum Standard. Il faut prouver que les coûts de la préservation sont insupportables pour renoncer à le faire.

CONCLUSION / QUESTION SUR FFEM ET RGV:

Ce papier amène des conclusions générales sur le rôle de l'économie dans les choix de préservation des ressources génétiques, et soulève des enjeux liés aux financements internationaux pour une bonne gestion des RGV.

*** L'économiste, face à la préservation de la biodiversité, doit relever plusieurs défis :**

Par les méthodes d'évaluation des actifs marchands et non marchands, il doit tout d'abord améliorer la perception des enjeux de la préservation de la biodiversité. Ce n'est pas déjà une mince affaire, compte tenu des très fortes incertitudes scientifiques et techniques (Cf. par exemple les controverses sur l'inventaire des espèces vivantes).

Les résultats de ces évaluations doivent ensuite être intégrées dans des méthodes d'analyse coûts / bénéfiques dont certaines ont été présentées dans ce papier. Il s'agit de définir, sous contrainte d'incertitudes scientifiques, le meilleur critère de décision pour la conservation des ressources génétiques : La maximisation de l'utilité espérée (analyse coûts/Bénéfices) ou la minimisation des risques face à un avenir incertain (principe de précaution). On peut ainsi éclairer des arbitrages décisionnels au niveau public et privé.

*** Les Enjeux déduits de la Présentation**

Le point principal de cette présentation est d'avoir montré deux éléments non contradictoire : le problème de financement des coûts de fonctionnement des conservatoires et le problème de l'évaluation économique des conservatoires.

* Il faut rétablir la réputation des conservatoires se qui passe par la mise en plce d'un modèle de gestion durable des collections (régénération, évaluation, réseaux de conservation).

* La conservation des RGV se fait dans le cadre du Principe de Précaution, dans lequel, devant les incertitudes scientifiques sur l'impact au niveau global de l'érosion des RGV, il faut favoriser la conservation.

* La valeur d'un conservatoire ne peut pas être donnée ex-ante en raison des possibilités de substitutions, des modifications dans la demande, etc.

Ces trois points amène à mon sens 5 points qui mérite une attention de la part des financeurs internationaux. Il faut aider à :

* La réhabilitation des conservatoires s'ils existent et leur développement

- * La formation du personnel à la fois aux techniques de conservation et aux autres techniques visant à l'utilisation du matériel
- * La création de réseaux régionaux de conservation (cf Cas Maghreb) qui facilite la conservation, les échanges et la valorisation du matériel
- * La mise au point des techniques de conservation
- * Le transfert de technologie.

Ces 5 enjeux ne sont pas exhaustifs, mais répondent à des types de coûts différents : coûts structurels, coûts d'apprentissage, coûts d'organisation régionale, coûts de recherche développement et coûts institutionnels.

Le FFEM vise à financer des opérations dont la durabilité à la fin du contrat est vérifiée. Même s'il décide que l'ensemble de ces coûts ne sont pas de son ressort, il faut qu'il vérifie que d'autres bailleurs de fond s'en occupent. En effet, si l'on suppose que le FFEM finance des opérations de formation de personnel, alors que les conservatoires ne peuvent assurer les opérations de régénérations, il y a peu de chances pour que le système soit durable. Il faut donc que lors des études de faisabilité la Globalité du problème soit étudiée.

L'objectif que nous avons mis en avant ici est d'essayer d'identifier l'ensemble des coûts qu'il faut financer pour qu'un programme de conservation des RGV fonctionne, et la difficulté que l'on a pour mesurer l'intérêt global de la conservation des RGV. On se trouve dans un cadre où la conservation provient d'une minimisation de risque en situation d'incertitude. Il s'agit d'aider les pays à construire et à organiser la conservation des RGV en vue d'une gestion durable des collections, ce qui passe également par la définition d'un système institutionnel (quel statut pour les RGV, Faut-il favoriser des contrats bi ou multilatéraux, etc.) adapté à une conservation et à une utilisation durable de la biodiversité. Il s'agit surtout de comparer différents systèmes d'incitations et les coûts de fonctionnement qui les caractérisent.

Bibliographie :

- Arrow K.J. - Fischer A.C. (1974).- Environnemental preservation, uncertainty, and irreversibility. In : *Quarterly Journal of Economics*, vol 88 may, pp. 312- 319.
- Arthur W. (1988).- Competing technologies : an overview. In : *Dosi et alii .- Technical change and economic theory* , New York : Pinter Publishers
- Barton J.H. (1991).- Relating the scientific and the commercial worlds in genetic resources negociations. Paper presented at the international symposium and experts workshop on property rights, biotechnology and genetic resources, IFIAS, Nairobi, 10-15 june 1991
- Brown, G.J.; Goldstein, J.H. (1984).- A model for valuing endangered species .- *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 11, n° 4, pp. 303-309
- Ciriacy-Wantrup S.V. (1952).- resource conservation : economics and policies. Berkeley : University of California Press, 1952 and 3rd ed. 1968.
- Demougin D.-Illing G. (1993).- Property Rights and Regulation of Environmental Quality under Asymmetric Information. *Jahrbucher-fur-Nationalokonomie-und-Statistik*; 211(5-6), pp. 385-402.
- Dixon R.A.-Paiva N.L. (1991).- Prospects for accessing DNA banks for the isolation of genes encoding biological active proteins.- In Adams R.P.(ed)-Adams J.E. (ed).- *Conservation of plant genes : DNA banking and in vitro biotechnology.*- San Diego : Academic press, pp. 99-118
- FAO (1994).- Revision of the international undertaking. Commission on plant genetic resources, 11 novembre, Rome, Italie, 50 pages.
- Glachant M. (1991).- La biodiversité biologique végétale : éléments d'économie.- CERNA, Paris.
- Glachant-Levesques (1991) .- Dénombrer et évaluer la diversité biologique .- La Recherche .- Paris : Centre d'Economie des Ressources Naturelles; 13 p.
- Hanemann, W.M. (1989).- Information and the concept of option value .- *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 16, pp. 23-37
- Henry C. (1974).- Investment decision under uncertainty : the irreversibility effect, In : *American economic review*, vol. 64, pp.1006-1012.
- Henry C. (1974).- Investment decision under uncertainty : the irreversibility effect, In : *American economic review*, vol. 64, pp.1006-1012.
- Henry C. (1990).- Efficacité économique et impératifs éthiques : l'environnement en copropriété. *Revue économique*, n°2, pp. 195-214.
- Henry C. (1993).- Le principe pollueur-payeur vingt ans après. *Insee Méthodes*, n°39-40, pp. 7-14.
- Hermitte M.A. - Joly P.B. - Trommetter M. (1992).- Les collections de ressources génétiques végétales iront-elles à la diversité biologique. *Rapport Final Arc PIREN CNRS*, Paris, 150 pages.
- Joly P.B. ; Trommetter M. (collab) (1992).- Ressources génétiques et biodiversité : les nouvelles formes d'appropriation sont-elles une chance pour le développement durable ? *Rapport final de l'AIP Ressources Génétiques Programme Prodigé*, Grenoble, 120 pages.

- Joly P.B.-Trommetter M. (1991).- World regulation and genetic resources : is the model of common heritage sustainable. Paper presented at the international symposium and experts workshop on property rights, biotechnology and genetic resources, IFIAS, Nairobi, 10-15 june 1991
- Joly P.B.-Trommetter M. (1994).- Conservation du patrimoine génétique : aspects économiques et institutionnels. *Genetics Selection Evolution* : vol.26, Suppl. 1, pp. 331-342.
- Joly P.B.-Trommetter M. (1995).- L'évaluation économique de la biodiversité. in *l'INRA et l'Environnement*, INRA, Paris, 3 pages, à paraître.
- Joly-Trommetter (1992) .- L'analyse économique de la conservation des ressources génétiques : les leçons du passé et les modèles pour l'avenir, In *Flux de gènes et gestion des ressources génétiques*, BRG, Lavoisier, Paris.
- Keystone Dialogue (1991).- Final consensus report, Oslo Plenary Session, Oslo Norway
- Kim K.C. - Weaver (1994).- Biodiversity and landscapes : a paradox of humanity. Cambridge University Press, 430 pages.
- Norton (1987).- Why preserve natural variety.- Princeton University Press.- Princeton.
- Oldfield M.L. (1989).- The value of conserving genetic resources.- Sunderland: Sinauer, 345 p.
- Pernès J. (1984) .- Gestion des ressources génétiques des plantes. Paris : Lavoisier, 550 Pages.
- PNUE (1992) .- Convention sur la diversité biologique. Rio de Janeiro : PNUE, 23 pages.
- PNUE (1994) .- Conférence des parties à la convention sur la diversité biologique. Première Réunion, Nassau, 28 Novembre - 9 décembre.
- Prescott-Allen (1986).-The first resource : wild species in the North American Economy.- New Haven, CT and London.- Yale University Press.
- Principe P. (1991).- Monetizing the pharmacological benefits of plants. US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Ramani S. -Richard A. (1993).- decision, irreversibility and flexibility : the irreversibility effect re-examined. *Theory and decision*, vol. 35, pp. 259-276.
- Ramani S.-Richard A.-Trommetter M. (1992).- Une approche élargie de l'effet irréversibilité : application au cas de la conservation de la biodiversité. *Revue Economique*.
- Randall A. (1988).- What mainstream economists have to say about the value of biodiversity. In E.O. Wilson Editor : *Biodiversity*, National Academic Press, Washington DC, 520 pages.
- Reid W.V. (1994).- Biodiversity Prospecting. World Resources Institute, Baltimore, USA, 340 Pages
- Solow R.M. (1974).- The economic of resources or the resources of economics.- *American Economic Review*, vol. 64, n°2, pp. 1-14
- Trommetter M. (1992) .-Flexibilité externe et/ou flexibilité interne : application au cas de la conservation des ressources génétiques végétales. 9èmes Journées de microéconomie appliquée (AFSE), Strasbourg, 8 et 9 Juin.

- Trommetter M. (1993).- Rationalisation économique de la conservation des Ressources Génétiques végétales. Thèse de doctorat d'Université, Janvier, Grenoble.
- Trommetter M. (1994a) .- Conservation des Ressources Génétiques et développement durable. Colloque International "Modèles de Développement soutenable : des approches exclusives ou complémentaires de la soutenabilité. AFCET, 16-18 Mars, Paris.
- Trommetter M. (1994b).- Préserver la diversité génétique des espèces végétales. 4 Pages Sciences Sociales, INRA Dept ESR, Ivry, 4 pages.
- Trommetter M. (1995).- La conservation des ressources génétiques végétales : une approche en terme de flexibilité.-INRA/SERD Working Paper 9512, Septembre. Existe en version anglaise présentée au colloque CECOIA IV , Fourth International Conference on the Cognitive Foundations of Economics and Management Science, ENS Cachan, Cachan 6-8 Septembre.
- Weisbrod B.A.(1964).- Collective consumption services of individual consumption goods, Quaterly Journal of Economic, vol.78, n°3
- Weitzman M.L. (1992).- On diversity.-Quarterly Journal of Economics, May, pp. 364-405.
- Weitzman M.L. (1993).- What to preserve ? An application of diversity theory to crane conservation. Quarterly Journa of economics, n°1, pp. 157-183.