



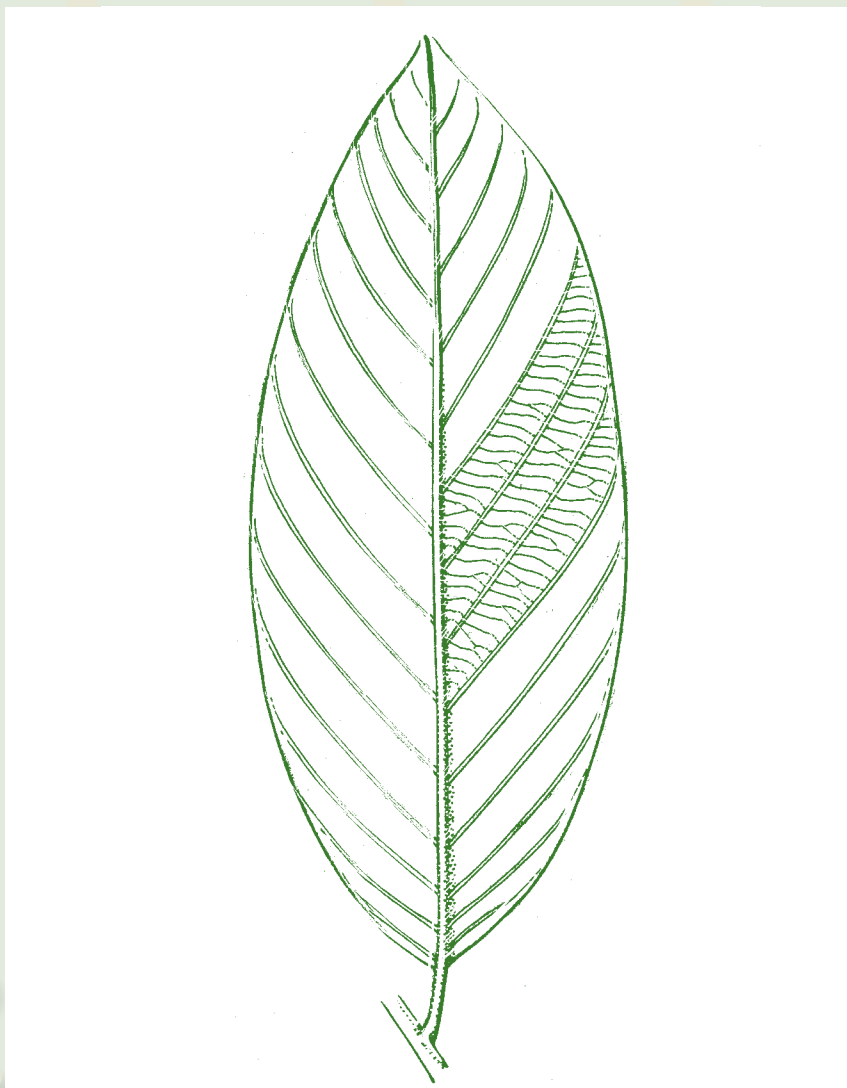
MODULE 1

Stratégies de conservation des espèces

Étude de cas 1.3

***Shorea lumutensis*: variabilité génétique et conservation**

David Boshier



Remerciements

Les éditeurs de ce guide de formation en gestion des ressources génétiques forestières souhaitent remercier Jarkko Koskela et Barbara Vinceti pour la contribution qu'ils ont apportée à l'identification du besoin d'un tel manuel et pour leur soutien constant tout au long de son élaboration. Nous remercions le groupe de consultation de scientifiques de Bioversity International - Elizabeth Goldberg, Jozef Turok et Laura Snook - pour leurs conseils importants et leur soutien à divers stades du projet.

Ce guide de formation a été évalué au cours de plusieurs formations à travers le monde. Nous tenons à exprimer notre gratitude pour les précieux commentaires fournis par de nombreux étudiants et leurs professeurs, tout particulièrement Ricardo Alía et Santiago González-Martínez de l'Institut national de recherche et de technologie agricole et alimentaire (INIA) en Espagne, ainsi que Peter Kanowski de l'Université nationale australienne.

Nos remerciements particuliers vont à Lee Soon Leong, de l'Institut de recherche forestière de Malaisie (FRIM, *Forest Research Institute Malaysia*) pour nous avoir fourni des informations et des images additionnelles pour cette étude de cas. Nous souhaitons également remercier Thomas Geburek, du département de génétique du Centre fédéral de recherche et de formation sur la forêt, les dangers naturels et le paysage (BFW) à Vienne, en Autriche, pour sa révision des études de cas présentées dans ce module. Ses précieux commentaires ont permis une amélioration significative du module.

Les photos illustrant la présentation PowerPoint sont protégées par le droit d'auteur de Lee Soon Leong, David Boshier du 'New Scientist' et des Royal Botanic Gardens-Kew.

Enfin, l'élaboration du Guide de formation en gestion des ressources génétiques forestières n'aurait pas été possible sans le soutien financier de la coopération autrichienne pour le développement, à travers le projet «Développer un personnel de formation et des ressources humaines pour la gestion de la biodiversité forestière», mis en place par Bioversity International entre 2004 et 2010. Nous souhaitons également remercier le projet "SEEDSOURCE" financé par la Commission Européenne, pour son soutien financier additionnel.

Toutes les illustrations de couverture ont été réalisées par Rosemary Wise et la mise en page a été effectuée par Patrizia Tazza. Nous les remercions pour leur beau travail.

Financé par

Austrian

Development Cooperation

en collaboration avec



Citation:

Boshier D. 2011. *Shorea lumutensis*: variabilité génétique et conservation. Étude de cas et notes à l'intention des enseignants. In: Guide de formation sur les ressources génétiques forestières. Édité par Boshier D, Bozzano M, Loo J, Rudebjer P. Bioversity International, Rome, Italie.

<http://forest-genetic-resources-training-guide.bioversityinternational.org/>

ISBN 978-92-9043-889-1
ISSN 2223-0165

Bioversity International
Via dei Tre Denari, 472/a
00057 Maccarese
Rome, Italie

© Bioversity International, 2011
Bioversity International est le nom commercial de l'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI).

MODULE 1

Stratégies de conservation des espèces

Étude de cas 1.3

***Shorea lumutensis*: variabilité génétique et conservation**

David Boshier, Département des Sciences végétales de l'Université d'Oxford

Cette étude de cas présente les données relatives à *Shorea lumutensis* (Sym.), une espèce rare de la famille des diptérocarpacées, endémique de la péninsule malaisienne. Les données doivent être utilisées pour la conception d'une stratégie de conservation en vue de la conservation génétique de cette espèce menacée. La stratégie doit tenir compte à la fois de la variabilité génétique de l'espèce et du contexte forestier/socio-économique; elle peut associer des mesures de conservation *in situ*, *ex situ* ou autres. **Faites en sorte que vos recommandations soient spécifiques et détaillées** (par exemple si vous recommandez des collectes de semences pour la conservation *ex situ*, veillez à spécifier à partir de quelles populations et à partir de combien d'arbres celles-ci seront prélevées, ainsi que la quantité de graines nécessaires, le lieu de stockage prévu, etc.) Indiquez également les priorités relatives des actions car les fonds ne seront pas illimités (par exemple souhaitez-vous accorder la priorité aux actions à entreprendre dans une certaine réserve par rapport aux autres?). L'exercice se situe dans un contexte antérieur à l'année 2007, pour ce qui est du statut de l'espèce et du profil du pays. De ce fait, les données plus récentes et les nouveaux contextes ne sont pas fournis puisqu'ils ne sont pas pertinents dans le cadre de cet exercice.

Les discussions de groupe doivent amener à réfléchir et à répondre aux questions suivantes:

- Comment les interférences humaines ont-elles façonné la diversité génétique de *S. lumutensis*?
- Quel sont les systèmes de reproduction et les mécanismes de dispersion des graines et du pollen?
- Quels sont les niveaux de variabilité génétique et comment les allèles sont-ils distribués parmi les populations?

Votre stratégie doit détailler:

- Les menaces pour *T. gentii* (à court et à long terme) ainsi que les populations pour lesquelles il faut agir en priorité. Quel type d'action doit être mené? **Établir une liste des problèmes** en fonction du type: **génétique** (par exemple, quelles populations sont trop restreintes? Lesquelles sont différentes?) **Autres types de problèmes** (d'ordre social, de communication ou de ressources - voir les parties Statut de conservation et Profil du pays).
- **Quelles** sont les méthodes de conservation - *in situ*, *ex situ*, au sein d'exploitations agricoles (*circa situm*)?
- Combien de zones de conservation faudra-t-il? De quelle taille doit être chaque zone de conservation?
- De quelle manière les zones de conservation devront-elles être conçues?
- Quels sont les facteurs sociaux limitant la conservation, l'utilisation et la plantation?

- Que doivent savoir les utilisateurs finaux et comment leur communiquerez-vous cette information?
- **Qui** entreprendra les mesures, **lesquelles**, **où** et **comment** les financerez-vous?

Introduction

En Malaisie péninsulaire, la famille des diptérocarpacées compte environ 155 espèces. Auparavant, la conservation des diptérocarpes n'était pas considérée comme importante car aucune des espèces de cette famille n'était jugée menacée. Cependant, la recherche a montré que plus de 57 % des espèces sont restreintes à des zones spécifiques. Trente espèces sont endémiques de la péninsule malaisienne, dont 12 sont considérées comme rares. Parmi celles-ci, *Shorea lumutensis* Sym. fut désignée comme étant gravement menacée car on soupçonne sa population d'avoir été réduite de 80 % au cours de ces 10 dernières années, avec une population globale initialement estimée à moins de 250 individus adultes (critère de l'UICN¹ : CR A1cd, C2a). Des populations ayant d'aussi faibles effectifs sont plus vulnérables aux catastrophes naturelles, aux stochasticités démographique et environnementale (événements aléatoires), aux activités humaines et à la stochasticité génétique, telle que la perte de diversité génétique causée par la dérive et la consanguinité.

Description de l'espèce, utilisations et statut de conservation

Shorea est un genre appartenant à la famille des diptérocarpacées, avec environ 350 espèces présentes en Asie du Sud/Sud-Est. *S. lumutensis* est un arbre de taille moyenne à grande (la plupart des arbres ayant un diamètre < 50 cm à hauteur d'homme (dhh) et parfois > 100 cm). Il possède une écorce à fissures longitudinales irrégulières et un contrefort court. Les feuilles sont coriaces, de forme ovale ou elliptique et comportent 14 paires de nervures affleurant sur la face inférieure, généralement glauque, d'où la dénomination malaisienne *balau* (ou white Balau). Les fleurs sont hermaphrodites (elles mesurent environ 9 mm de long, avec des pétales linéaires de couleur jaune pâle et 20 à 25 étamines). Les fruits sont subsessiles et constitués de 3 ailes externes et 2 ailes internes.

Phénologie

La floraison des diptérocarpacées est très épisodique. A intervalles réguliers de 2-10 ans, les forêts tropicales humides non-saisonnnières de Malaisie connaissent une floraison importante et prolifique suivie d'une production prolifique de fruits. En période de forte floraison, environ la moitié des arbres adultes et plus 80 % de la canopée et des espèces émergentes d'une forêt sont susceptibles de fleurir sur une courte période de 3 à 4 mois. La forêt connaît alors une augmentation rapide du nombre de pollinisateurs, en partie par migration en provenance des lisières des forêts. Ceux-ci viennent butiner les fleurs abondantes. Chez de nombreuses espèces de diptérocarpes partageant un même pollinisateur (tel que les thrips communs des fleurs), on observe une floraison séquentielle qui réduirait la compétition pour les pollinisateurs. Plusieurs semaines avant la floraison, les nombres de thrips augmentent rapidement car ceux-ci se nourrissent des millions de bourgeons de fleurs de diptérocarpes. Le signal environnemental pour cette floraison irrégulière et massive est lié à une légère baisse de la température nocturne d'environ 2°C, pendant environ 4-5 nuits, associée au phénomène d'El Niño.

¹ www.iucnredlist.org/info/categories_criteria1994#categories

Une seule floraison a été rapportée au cours des 3 ans et demi d'observations effectuées sur *S. lumutensis* en forêt naturelle (pendant environ 2 semaines, sur 5 des 35 arbres de dhh > 30 cm). Selon les tests d'attribution de la paternité, sept autres arbres avaient fleuri au sein du même lot (soit un total de 12 arbres sur 35). Ces floraisons, probablement de faible intensité, ont donc été difficiles à observer à la jumelle. La période s'écoulant entre la fin de la floraison et la chute des fruits mûrs est d'environ 10 semaines. Il s'écoule environ 16 semaines entre le bourgeonnement et la chute des fruits mûrs. Les arbres en fleurs ont un dhh de 31-110 cm. On peut donc définir comme étant reproducteurs les arbres de dhh > 30 cm. La dispersion des graines s'effectue par gravité et est facilitée par les ailes. Il peut y avoir une dissémination secondaire effectuée par les prédateurs des semences. La prédation est très importante. La plupart des graines mûres tombées sont consommées par de petits mammifères (tels que les écureuils et les rats). Les semences des diptérocarpes sont typiquement récalcitrantes, c'est-à-dire qu'elles ont une viabilité courte, ce qui rend le stockage normal souvent peu pratique.

Répartition

S. lumutensis a été répertorié uniquement dans la partie Ouest de la péninsule malaisienne (district de Manjung). Des rapports précédents signalant la présence de l'espèce dans le Nord-Ouest du Johor en Malaisie péninsulaire se sont avérés correspondre en réalité à l'espèce *S. inappendiculata*. L'existence de l'espèce à Karimum et sur la côte Est de Sumatra est également incertaine. Les échantillons provenant de ces régions pourraient appartenir à cette espèce ou à *S. inappendiculata*. *S. lumutensis* est présent dans cinq réserves forestières (Sungai Pinang, Pangkor Selatan, Segari Melintang, Lumut et Teluk Muroh) et confinée à l'intérieur d'une zone de 313 km² (Fig. 1). Les deux populations insulaires (de Sungai Pinang et Pangkor Selatan) sont séparées du continent par les détroits de Dinding (environ 3 km) qui se sont scindés il y a plusieurs milliers d'années. Parmi les trois populations continentales, il n'existe pas de barrière géographique distincte entre les réserves de Lumuk et de Teluk Moroh. Par contre, la réserve de Segari Melintang est séparée de ces deux populations par la rivière Manjung (qui fait environ 2 km de large à cet endroit).

En l'absence de données paléontologiques, il n'est pas certain que l'espèce ait été plus largement répartie dans le passé. La répartition pourrait avoir été due à la limitation physiologique de la croissance et de la reproduction (c'est-à-dire que la rareté peut refléter l'adaptation spécifique à un habitat rare) plutôt qu'à des schémas historiques de dispersion. Dans les réserves forestières, *S. lumutensis* apparaît généralement sous forme de sous-canopée évoluant vers des arbres émergents. Il s'agit de petits peuplements de diptérocarpes situés sur les collines de la côte sèche, généralement à 100 m au-dessus du niveau de la mer, dans des microclimats où le sol est bien drainé ou aux endroits où le sol ne maintient pas en permanence des niveaux élevés d'humidité. On rencontre parfois des arbres isolés. La répartition en massifs est fortement liée aux variations topographiques locales. L'arbre est présent sur les hauteurs et les versants supérieurs. Il est absent sur les versants inférieurs et dans les vallées. Les hauteurs et les pentes ont probablement tendance à être plus secs que les versants inférieurs et les vallées. Par ailleurs, l'influence de la pente sur la texture du sol et la capacité de rétention d'eau détermine en partie les niveaux de nutriments minéraux disponibles et par conséquent le regroupement dans l'espace. Les distances entre les populations restantes sont donc plus importantes que ne le laissent supposer les frontières des réserves (la Fig. 1 présente les zones principales et le Tableau 2 les distances réelles).

Utilisations et valeur potentielle pour la plantation forestière

Les scieries de la région de Dinding refusent de travailler cette essence en dépit de sa classification en tant que Balau (bois de diptécarpe dur et lourd). Ceci ne s'appuie probablement sur aucune raison valable autre que les préjugés locaux.

Bien que le tourisme constitue une menace pour les réserves de l'île de Pangkor, les initiatives d'écotourisme directement liées aux réserves peuvent constituer des opportunités de conservation et d'éducation de l'espèce *S. lumutensis* ainsi que d'autres espèces.

Résultats de l'étude de terrain

Dans les forêts naturelles, la répartition des diamètres de l'espèce donne une courbe en J inversée caractéristique, indiquant une régénération abondante et une mortalité affectant uniquement les catégories de tailles correspondant aux plantules/jeunes arbres (75 arbres morts sur une période de 3 ans; Tableau 1). Les arbres de taille moyenne représentent 1,7 % des 416 individus répertoriés sur un lot de 5 ha, comparativement à 8,2 % pour les arbres de grande taille. Les résultats suggèrent que la population est en danger de régression, mais peuvent aussi correspondre à un taux de croissance naturellement plus faible correspondant à une transition moins importante entre les catégories de taille. L'expérience en matière de plantation de l'espèce est limitée. Des jeunes plants âgés de 2 ans et issus de trois arbres mères mesuraient en moyenne 5-62 cm de haut, avec un diamètre de 1-8 mm au niveau du sol.

Figure 1. Localisation des cinq réserves forestières de Malaisie péninsulaire abritant *Shorea lumutensis*. Les parties sombres indiquent les zones comportant le plus d'arbres appartenant à l'espèce *S. lumutensis*. NB: non répertorié à Pangkor Utara et Tanjung Hantu.

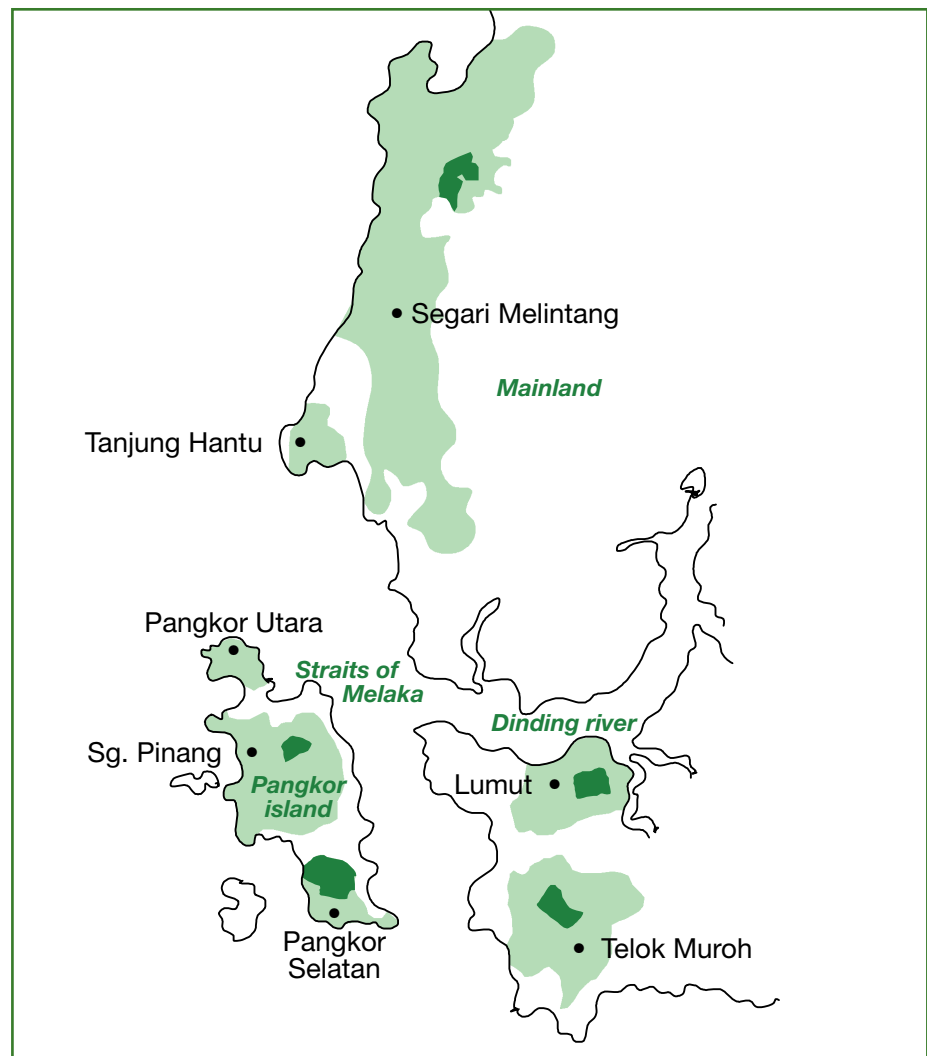


Tableau 1. Dynamique des populations de *S. lumutensis* à court terme, sur une période de 3 ans (2001-2004) dans un lot de 5 ha situé au sein de la réserve de Sungai Pinang (écart-types entre parenthèses).

Catégorie de taille de dhh en cm	# d'arbres	% de mortalité	Taux de croissance du diamètre (mm/an-1)	
			Taux moyen	Taux maximum
1-5	342	22	0,3 (0,5)	1,3
6-10	14	8	0,7 (0,7)	2,3
11-20	7	0	1,4 (1,1)	3,7
21-30	19	0	1,6 (1,2)	3,7
>31	34	0	2,4 (1,9)	6,3

Statut de conservation

L'espèce est susceptible de s'éteindre si rien n'est mis en œuvre pour la conserver. Seules cinq populations de *S. lumutensis* sont connues et comptent probablement un maximum de 500 individus de grande taille (dhh > 30 cm), répartis de la façon suivante: Sungai Pinang, environ 100; Pangkor Selatan, environ 50 ou moins; Segari Melintang, environ 120; Lumut, environ 90; Teluk Muroh, environ 100. Il est important de faire ressortir que ces estimations se limitent aux zones étudiées et qu'il pourrait y avoir d'autres individus en dehors de ces zones. Les études indiquent que les nombres sont supérieurs à ceux donnés initialement dans l'évaluation de l'UICN (voir Introduction). Bien que les nombres de grands arbres soient faibles au sein de chaque population, des nombres croissants de jeunes arbres et de jeunes plants épars ont été observés autour des grands arbres dans chaque population. La densité de population de *S. lumutensis* (4,4 arbres/ha) est supérieure à celle de *S. leprosula*, diptérocarpe commun et largement répandu de la péninsule malaisienne (3,3 arbres/ha). Par conséquent, pour ce qui est de la rareté, *S. lumutensis* peut être classé comme étant localement commun mais apparaissant seulement à quelques endroits.

Les principales menaces pour les populations existantes sont les suivantes: les activités d'abattage (Segari Melintang), l'extraction de pierres, la conversion en plantations d'huile de palme (Lumut, Teluk et Muroh) et l'aménagement du territoire dans le cadre du tourisme (Pangkor Selatan et Sungai Pinang). La menace est d'autant plus importante lorsque les emplacements principaux des populations de *S. lumutensis* se situent dans des zones longeant les lisières des réserves. Aucune maladie n'a été rapportée pour cette espèce, bien que le manque de travaux de recherche empêche toute déclaration définitive.

Variabilité génétique dans les populations naturelles

Cinq populations représentant l'ensemble de la gamme naturelle connue de *S. lumutensis* ont été échantillonnées (Fig. 1, Tableau 2). Les feuilles de 40-48 arbres adultes (dhh > 20 cm) appartenant à chacune de ces populations ont été analysées à l'aide de marqueurs microsatellites (SSR) correspondant à huit loci polymorphes (le Tableau 4 donne les fréquences alléliques de six de ces loci). Les mesures classiques de diversité génétique ont été calculées pour chaque population et comprenaient le nombre moyen d'allèles par locus (A), la richesse allélique (R_s), l'hétérozygotie attendue (H_e) et l'indice de fixation (F_{is}). Malgré sa répartition étroite, l'espèce montre des niveaux étonnamment élevés de diversité génétique (Tableau 2), comparables à ceux d'autres diptérocarpes (tels que *S. leprosula*, *S. ovalis*, *S. curtisii* et *S. macroptera*). La richesse allélique va de 5,7 (Lumut) à 6,3 (Segari Melintang), avec une hétérozygotie (appelée aussi diversité génétique) allant de 0,609 (Sungai Pinang) à 0,673 (Segari Melintang). Des valeurs

positives d'indice de fixation ont été enregistrées dans toutes les populations (Fis > 0,1; Tableau 2), indiquant un excès d'homozygotie et de consanguinité. Les effectifs des populations sont probablement restés suffisamment importants pour permettre le maintien de niveaux élevés de diversité génétique au sein des populations individuelles.

Tableau 2. Diversité génétique des populations de *S. lumutensis* pour huit loci microsatellites (écarts-types entre parenthèses).

Population	Taille de l'échantillon	Nb moyen d'allèles par locus, A	Richesse allélique	Hétérozygotie moyenne, He	Indice de fixation, Fis
1) Segari Melintang	48	7,9 (1,9)	6,3 (1,3)	0,673 (0,058)	0,109
2) Lumut	40	6,6 (1,4)	5,7 (1,2)	0,636 (0,074)	0,156
3) Teluk Muroh	48	7,0 (1,5)	6,0 (1,1)	0,661 (0,052)	0,194
4) Sungai Pinang	47	7,4 (1,8)	6,0 (1,4)	0,609 (0,082)	0,130
5) Pangkor Selatan	48	8,1 (1,7)	6,1 (1,1)	0,663 (0,077)	0,128
Moyenne	46	7,4 (0,6)	6,0 (0,2)	0,648 (0,026)	0,143

La classification hiérarchique des populations, obtenue par le calcul des distances génétiques de Nei entre les paires de populations, a révélé trois groupes: Lumut/Teluk Muroh, Sungai Pinang/ Pangkor Selatan et Segari Melintang comme prolongement (Fig. 2). Ces groupes traduisent des liens géographiques conformes au modèle d'«isolement par la distance», ce qui permet de regrouper les populations géographiquement proches. Cependant, les données statistiques appuyant ces groupes étaient très faibles (auto-amorçage < 10 %) avec seulement 5,8 % de diversité génétique répartie entre les populations (c'est-à-dire que la majorité de la diversité génétique se trouvait à l'intérieur des populations). La différenciation entre populations n'a donc pas été réellement démontrée.

Tableau 3. Distance géographique (en km) au-dessus de la diagonale pour les cinq populations de *S. lumutensis*.

Population	1) SM	2) LU	3) TM	4) SP	5) PS
1) Segari Melintang (SM)	-	15,9	19,2	15,9	18,9
2) Lumut (LU)		-	2,6	7,5	6,6
3) Teluk Muroh (TM)			-	8,0	5,1
4) Sungai Pinang (SP)				-	3,3
5) Pangkor Selatan (PS)					-

Figure 2. Dendrogramme des similitudes génétiques entre les cinq populations de *Shorea lumutensis* (valeurs (%) obtenues par auto-amorçage sur branches, basées sur 1000 répliques).

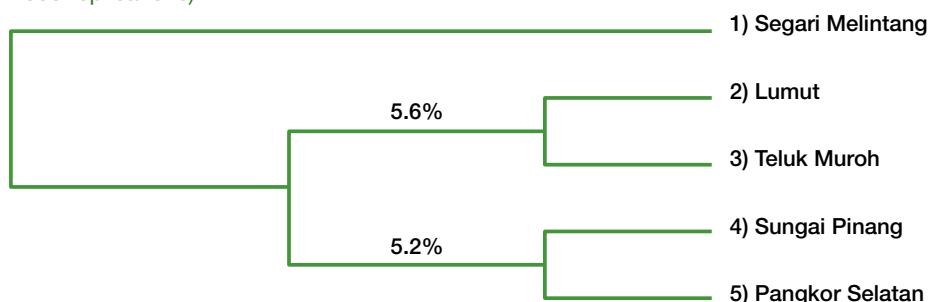


Tableau 4. Fréquences alléliques de six loci dans cinq populations* naturelles de *Shorea lumutensis* (- = fréquence 0,000).

Locus	Allèle	1) SM	2) LU	3) TM	4) SP	5) PS
Slu057	110	0,143	0,176	0,121	0,179	0,250
	112	0,614	0,649	0,621	0,641	0,396
	114	0,186	0,122	0,258	0,154	0,219
	116	0,029	-	-	-	0,094
	117	0,029	-	-	-	-
	118	-	-	-	-	0,010
	121	-	0,054	-	-	-
	122	-	-	-	-	0,021
	123	-	-	-	0,013	-
	124	-	-	-	-	0,010
	125	-	-	-	0,013	-
Slu110	220	0,103	-	-	0,030	0,031
	222	0,382	0,541	0,781	0,588	0,417
	224	0,485	0,459	0,219	0,368	0,552
	235	-	-	-	0,014	-
	247	0,029	-	-	-	-
Slu124	129	0,028	-	-	-	-
	131	-	-	0,024	-	-
	133	0,083	-	0,146	0,039	0,021
	135	0,097	0,038	-	0,066	0,125
	137	0,458	0,526	0,524	0,421	0,177
	138	0,014	-	-	-	0,042
	140	0,014	-	-	-	0,031
	141	0,028	0,090	-	0,066	0,010
	143	0,014	0,026	-	0,053	0,010
	145	0,014	0,026	-	0,013	-
	147	-	0,013	-	-	-
	149	-	-	-	-	0,010
	153	0,236	0,090	0,073	0,145	0,135
	154	-	-	-	0,026	0,031
	155	-	0,038	0,110	0,105	0,365
	159	-	-	-	-	0,010
	160	-	-	-	-	0,010
	162	-	-	0,012	-	-
	163	-	-	-	-	0,021
165	-	0,141	0,085	0,066	-	
167	0,014	-	0,024	-	-	
168	-	0,013	-	-	-	

Tableau 4. Suite

Locus	Allèle	1) SM	2) LU	3) TM	4) SP	5) PS
Slu175	220	0,758	0,875	0,400	0,890	0,895
	221	-	0,013	0,314	-	-
	223	-	0,013	0,114	-	0,023
	226	0,242	0,100	0,143	0,110	0,047
	228	-	-	0,029	-	0,012
	240	-	-	-	-	0,023
Sle111a	147	0,020	-	-	-	-
	148	-	-	-	0,013	-
	149	0,100	0,237	0,154	0,179	0,281
	150	0,020	-	-	-	0,010
	151	0,120	-	-	-	-
	155	0,060	0,053	0,019	0,013	0,010
	156	0,100	0,092	0,058	0,090	0,156
	157	0,560	0,461	0,635	0,513	0,469
	158	-	0,132	0,058	0,167	0,073
	159	0,020	-	-	-	-
	160	-	-	-	0,026	-
	161	-	-	0,038	-	-
	163	-	0,026	0,038	-	-
Sle267	108	0,016	-	-	--	-
	116	0,203	0,117	0,069	0,147	0,064
	118	-	-	-	0,015	0,106
	120	0,016	0,100	0,167	0,074	0,043
	122	0,078	-	-	-	-
	124	-	-	-	0,015	-
	126	0,234	0,167	0,306	0,397	0,255
	128	-	0,050	0,083	-	0,074
	130	-	0,017	0,069	0,118	0,298
	132	0,063	0,250	0,069	0,221	0,053
	134	0,281	0,250	0,097	-	0,011
	136	0,063	-	-	-	0,043
	138	-	-	0,056	-	-
	146	0,016	0,017	0,028	-	-
	148	-	0,033	0,042	0,015	-
	149	-	-	0,014	-	-
150	-	-	-	-	0,053	
152	0,031	-	-	-	-	

*SM, Segari Melintang; LU, Lumut; TM, Teluk Muroh; SP, Sungai Pinang; PS, Pangkor Selatan.

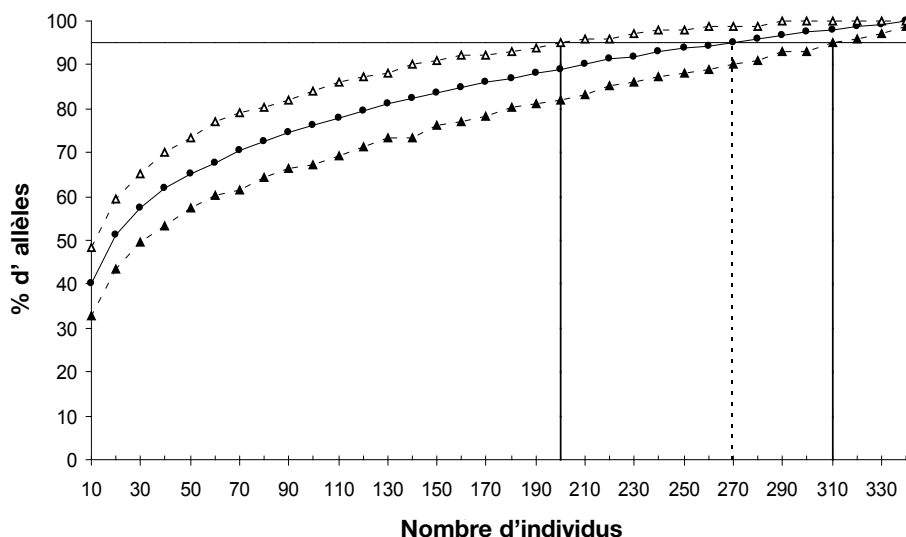
S. lumutensis présente une reproduction mixte (Tableau 5, taux moyen d'exogamie 63,4 %) ainsi qu'une variation importante entre les quatre arbres échantillonnés (22-29 %), mais pas de signe d'apomixie. Les graines moins vigoureuses produites par autofécondation peuvent être éliminées au cours de la germination ou de l'établissement initiaux, lorsque le taux de mortalité est élevé (Tableau 1). Le flux de pollen est plus ou moins important. Les distances moyennes varient de 122 à 220 m (Tableau 5).

Les arbres ayant les taux d'exogamie les plus élevés et recevant du pollen provenant de nombreux arbres paternels éloignés, produisent des graines plus grosses dont les probabilités de germination et d'établissement sont plus importantes. Les moyennes des effectifs et des superficies des unités de reproduction ont été évaluées à 52 arbres et 11,8 ha respectivement, en se basant sur les distances parcourues par les flux de pollen et la densité des arbres appartenant à l'espèce *S. lumutensis*. La simulation montre que l'effectif minimum permettant de maintenir les niveaux actuels de diversité génétique (95 % des allèles) est de 270 arbres (200-310 arbres; Fig. 3).

Tableau 5. Résumé des systèmes de reproduction, attribution de la paternité et paramètres de l'unité de reproduction, pour quatre familles de *Shorea lumutensis* à pollinisation libre se trouvant à Sungai Pinang (les valeurs entre parenthèses sont des écarts-types).

Numéro de l'arbre	Nombre de graines	Système de reproduction et attribution de la paternité			Paramètres de l'unité de reproduction	
		% de graines issues de l'exogamie	% de graines ayant reçu du pollen provenant de l'extérieur du lot	Distance moyenne de flux de pollen issu de l'exogamie	Taille/individu	Superficie/ha
B004	38	22,2	11,1	122,0 (0,0)	70	16,0
B005	50	92,0	24,0	220,0 (120,2)	47	10,7
B026	44	61,4	13,6	138,4 (28,3)	45	10,3
B385	50	78,0	16,0	220,3 (78,5)	44	10,1
Moyenne	45,5	63.4 (15.1)	16.2 (2.8)	175,2 (26,2)	52 (6)	11.8 (1.4)

Figure 3. Simulation des modifications de pourcentages d'allèles maintenus auxquels sont soustraites les variations des nombres d'individus de *Shorea lumutensis*. Les valeurs sont basées sur 1000 nouveaux échantillons et accompagnées des écarts-types (pointillés).



Malaisie - Informations générales

- Superficie: 330 000 km². Altitudes: jusqu'à 4095 m au-dessus du niveau de la mer
- Population: 26 600 000. 33 % vivant en milieu rural et 15,5 % vivant en dessous du seuil de pauvreté.
- PIB: 5859 USD par tête d'habitant. La majorité des revenus se situent en dessous de la moyenne mondiale. La situation est plus alarmante dans les régions rurales où plus de 80 % de la population ont un revenu ne satisfaisant pas aux besoins essentiels (données de 1993).
- Région définie en tant que forêt: 208 900 km², c'est-à-dire 63,6 % de la superficie totale de la région.
- La couverture forestière a diminué de 14 900 km² au cours des 15 années allant de 1990 à 2005 (soit 0,04 % par an).
- Principales causes de déforestation: agriculture migratoire, pâturage/élevage extensifs, surexploitation du bois de chauffe et incendies de forêts affectant au total 20 000 ha par an.

Législation forestière

Selon le système fédéral du gouvernement malaisien les terres et les forêts sont la responsabilité de l'état et chaque état a le pouvoir de promulguer des lois et d'élaborer des politiques de manière indépendante. Par conséquent, la désignation et la modification des «domaines forestiers permanents» et des zones de conservation dépendent des législations de chaque état. L'autorité du gouvernement fédéral s'applique uniquement aux prestations de conseil et d'assistance technique aux États, ainsi qu'à la conduite de travaux de recherche. Cette séparation des pouvoirs pose un véritable problème pour ce qui est de la coordination de la mise en œuvre des politiques nationales concernant les forêts. Un Conseil national des forêts (dont les membres comprennent les ministres en chef de tous les États et les ministres des forêts, de l'agriculture, de l'environnement et du commerce) a été avalisé en 1978 en tant que forum d'échange pour le gouvernement fédéral et les gouvernements des États. Celui-ci leur permet de discuter des principaux problèmes forestiers et joue un rôle majeur dans la promotion de l'adoption des lois fédérales au niveau national. La Politique forestière nationale (1978) et la Loi nationale concernant les forêts (1984) servent de base à la gestion, au développement et à la conservation systématiques des ressources forestières. Les révisions de 1992-1993 montrent un changement crucial de la philosophie de gestion des forêts, passant des rendements durables uniquement en bois à la gestion durable des fonctions multiples des forêts, tout en s'efforçant de trouver un équilibre entre les fonctions écologique, sociale et environnementale ayant une importance économique. D'autres réglementations fédérales complètent la Loi nationale concernant les forêts (telles que la Loi sur l'eau de 1920 - les directives pour le maintien de bandes ripicoles, la Loi de Conservation des Terres de 1960, le Code National des Terres de 1965, la Loi de Protection de la Nature de 1972 - le cadre juridique pour la protection des espèces menacées et la loi de 1980 concernant les Parcs nationaux). Certains gouvernements nationaux possèdent également leurs propres politiques forestières. La Politique nationale sur la biodiversité de 1998 vise à améliorer la conservation de la flore et de la faune malaisiennes. Elle implique de nombreux secteurs (le Ministère des industries primaires, le Ministère de l'agriculture, le Département de la nature, les parcs nationaux et des pêches) et comprend des stratégies destinées à la conservation de la biodiversité et à l'utilisation durable des ressources biologiques afin d'assurer des bénéfices économiques, une sécurité alimentaire et une stabilité écologique à long terme.

Cadre institutionnel

L'Institut de recherche forestière de Malaisie (FRIM, *Forest Research Institute*)

Malaysia), les Départements des forêts de Malaisie péninsulaire, le Conseil d'administration malaisien de l'industrie du bois et le Comité malaisien du bois sont directement impliqués dans l'administration, la gestion, la recherche et le développement du secteur forestier. Tous dépendent du Ministère des industries primaires. D'autres centres se consacrent à la recherche et au développement (tels que le Centre de recherche forestière de Sandakan (Sabah), le Centre technique et de recherche sur le bois/Division de recherche forestière du Département des forêts du Sarawak, la Société de développement de l'industrie du bois et la Faculté de foresterie de l'université Putra de Malaisie). Les ONG (dont la Société malaisienne de protection de l'environnement, la Société malaisienne de la Nature, la WWF et le Sahabat Alam Malaysia (Amis de la Terre de Malaisie)) sont actifs en ce qui concerne les problèmes liés à la conservation de la diversité biologique et de l'utilisation durable (notamment en termes de politique, de législation et de campagnes de conscientisation).

Utilisation des ressources forestières

Les forêts de Malaisie ont des fonctions multiples qui contribuent de manière importante au développement socio-économique du pays. Elles sont généralement associées à la récolte du bois, des ressources non ligneuses (rotins, bambou, fruits, légumes, épices, plantes médicinales et ornementales), de l'habitat de la faune ainsi que des services tels que l'approvisionnement en eau et les loisirs. En 2001, les revenus de la forêt s'élevaient à 69,7 millions d'USD en Malaisie péninsulaire, la production de rondins étant de 4,15 millions de m³. Au cours de la même année, l'exportation des principaux produits dérivés du bois (tels que rondins, bois de sciage, contreplaqué, vernis) s'élevait à 2,3 milliards d'USD, le secteur public employant 196 612 personnes et le secteur forestier privé, 185 891 personnes. L'augmentation des ressources forestières est devenu une priorité et devrait faire croître l'emploi de manière importante grâce à une gestion intensive des forêts, au développement et à l'établissement de plantations d'arbres à croissance rapide, ainsi qu'à la modernisation des industries forestières, avec pour objectif commun la fabrication de produits à plus forte valeur ajoutée. Le secteur forestier devrait générer des revenus importants pour le gouvernement fédéral et les gouvernements des États. Les forêts joueront également un rôle important au niveau de la stabilité climatique/écologique, de la conservation de la biodiversité précieuse et de la gestion des ressources en eau.

Gestion et récolte forestières

Pour des raisons de gestion, les terres forestières de Malaisie sont classées en trois catégories: 1) les «zones totalement protégées» contrôlées par le gouvernement fédéral (Département de la Nature, des Parcs nationaux et des Pêches); 2) les «domaines forestiers permanents» (DFP, c'est-à-dire les réserves forestières contrôlées par le Département des forêts); 3) les terres de l'État – terres forestières appartenant aux États et essentiellement considérées comme réserves foncières destinées au développement. Selon la politique forestière nationale, les DFP doivent être localisés de manière stratégique dans l'ensemble du pays et être régis par la Loi nationale de 1984 concernant les forêts (amendée en 1993); les DFP sont répartis en catégories fonctionnelles c'est-à-dire en tant que forêts destinées à la production intensive de bois, la protection du sol, la remise en état du sol, la prévention des inondations, la canalisation des eaux, les sanctuaires de la vie sauvage, les réserves de jungle vierge, les espaces d'agrément, l'éducation, la recherche et à toutes fins fédérales.

En Malaisie péninsulaire, la production de bois au sein des DFP est gérée par deux systèmes: le Régime uniforme malaisien (*Malayan Uniform System*, MUS) qui comporte un cycle d'abattage de 55 ans et le Système de gestion sélective (*Selective Management System*, SMS) dont le cycle d'abattage est de 30 ans. Dans le cadre du MUS, la récolte mature est prélevée au cours d'un abattage unique de tous les arbres dont le dhh > 45 cm, toutes espèces confondues. Tout

arbre de taille importante n'ayant pas été abattu en raison de défauts ou d'une valeur marchande trop faible est éliminé par annélation par empoisonnement. La récolte suivante se développe à partir de jeunes plants et sera donc d'âge uniforme, avec une plus forte proportion d'espèces commerciales. Bien qu'il ne soit pas nocif pour l'environnement, le MUS n'est pas axé sur la conservation génétique. Les traitements sylvicoles reposent essentiellement sur les jeunes plants/jeunes arbres pour former la récolte suivante et favorisent donc ces groupes. De tels traitements ont tendance à donner lieu à davantage d'annélation par empoisonnement que nécessaire et dans certains cas, à ouvrir la canopée de manière trop drastique. L'accent est donc mis sur une croissance avancée avec une utilisation plus judicieuse de l'annélation par empoisonnement et sur des traitements sylvicoles plus traditionnels, plutôt que sur les jeunes plants/jeunes arbres. Les ressources génétiques forestières sont ainsi conservées. Ce système a été appliqué avec succès à des forêts de diptérocarpes de basse altitude. Mais il ne convient pas aux forêts de diptérocarpes de montagne à cause du terrain plus difficile, du peuplement inégal, de l'absence de régénération naturelle, des risques d'érosion sur les pentes abruptes et de l'incidence de croissances secondaires non désirées favorisées par l'ouverture drastique de la canopée. Le SMS a été introduit en Malaisie péninsulaire pour les forêts de diptérocarpes de montagne, avec élimination sélective de la récolte mature en une opération unique basée sur les données d'inventaire. Ceci permet des modalités de récolte plus flexibles mettant l'accent sur la croissance avancée des arbres de dhh de 15-45 cm pour la récolte suivante. Il décourage l'annélation des espèces non-commerciales par empoisonnement, préservant ainsi les ressources génétiques forestières. L'abattage est sélectif; un pourcentage supérieur de diptérocarpes est conservé pour la récolte suivante par le maintien d'une différence d'au moins 5 cm de dhh entre les limites d'abattage des diptérocarpes et des non-diptérocarpes.

Des directives mettant l'accent sur des mesures écologiques ont été adoptées en complément de la gestion des forêts et de la planification des récoltes. Le système de surveillance continue des ressources forestières de Malaisie péninsulaire a été opérationnel depuis 1993, avec un système intégré de télédétection, de SIG et de données de terrain. Des pratiques ont également été introduites afin de diminuer les dégâts causés par l'abattage effectué à l'intérieur des peuplements de forêts. Au cours de ces dernières années, la recherche concernant l'exploitation à faible impact (EFI) et les techniques de récolte à faible impact s'est intensifiée. L'état de Sabah a élaboré des normes et des directives pour les opérations relatives à l'EFI.

Critères et indicateurs malaisiens pour la gestion durable des forêts (GDF) et la certification du bois

En tant que membre de l'Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT), la Malaisie a adopté les directives et les critères permettant l'évaluation de la gestion durable des forêts (GDF). Un comité national a été mis en place en 1994 afin d'assurer une mise en œuvre complète des critères et des indicateurs de l'OIBT pour la GDF. Le comité national a élaboré des critères et des indicateurs malaisiens en vue de la GDF aux niveaux des unités de gestion nationales et forestières, comportant de nombreuses améliorations destinées à tenir compte des développements les plus récents en matière d'exploitation forestière. Un comité technique de surveillance veille à l'implémentation de toutes les activités entreprises par le département des forêts de chaque état de Malaisie péninsulaire. Afin de renforcer les mesures dans le sens de la GDF, le gouvernement fédéral a établi le Conseil malaisien de certification du bois (MTCC, *Malaysian Timber Certification Council*), qui est un organisme national indépendant de certification et d'accréditation. Depuis 2003, le MTCC a certifié trois unités de gestion des forêts (à Pahang, Selangor et Terengganu) et remis des certificats de chaîne de traçabilité à 29 entreprises de Malaisie. Récemment, le MTCC a rejoint le Conseil Pan Européen de Certification Forestière (PEFC, *Pan-European Forest certification Council*) et vise un plan de certification forestière Pan-ASEAN.

Gestion et conservation des ressources génétiques forestières

Le nombre exact d'espèces végétales présentes dans les forêts malaisiennes est inconnu. Selon une évaluation récente, il y en aurait environ 15 000. Le manuel «Tree Flora of Malaya» décrit près de 2830 espèces de plantes ligneuses en Malaise péninsulaire, dont 746 sont endémiques; 511 sont menacées (y compris *S. lumutensis*) du fait de leur rareté, de leur nature endémique ou de la menace exercée sur leurs habitats. Plus de 1300 espèces végétales ont été documentées en ce qui concerne leurs propriétés pharmaceutiques potentielles et certaines sont traditionnellement utilisées en phytothérapie.

Conservation in situ

La Malaisie a adopté plusieurs mesures en vue de la conservation de la diversité biologique des forêts, y compris la création d'un réseau de zones entièrement protégées (parcs nationaux, parcs des différents États, sanctuaires de la vie sauvage et des oiseaux, domaines forestiers permanents-DFP). La Malaisie compte aujourd'hui 2,15 millions d'hectares de zones protégées publiées ou proposées, dont 0,32 million d'hectares se situent au sein des DFP. Outre les 3,81 millions d'hectares de forêts protégées, la superficie totale destinée à être protégée se monte à 5,96 millions d'hectares, soit 29,5 % de l'ensemble des terres forestières du pays.

La Malaisie péninsulaire compte 40 «zones entièrement protégées» pour une superficie totale de 751 413 ha. Le parc national de Taman Negara est le plus vaste de toutes des «zones entièrement protégées» de Malaisie péninsulaire (434 351 ha) et s'étend sur 3 États: Pahang, Kelantan et Terengganu. Il est représentatif de la flore du centre de la péninsule malaisienne, comme le sont les réserves naturelles de Krau, Sungkai et Dusun. Le Parc national d'Endau-Rompin (Johor) et la Réserve naturelle d'Endau-Rompin (Pahang) sont représentatifs de la flore du Sud, tandis que Perlis et les parcs de l'État de Belum sont dans la continuité des forêts de moussons de Thaïlande et du Myanmar. Cent vingt réserves de jungle vierges (*Virgin Jungle Reserves*, VJR) couvrant 111 800 ha, ont été établies pour servir de : 1) réserve naturelle permanente et d'arboreta naturels; 2) lots de contrôle servant d'élément de comparaison avec les forêts exploitées et celles ayant reçu un traitement sylvicole; 3) forêts naturelles restées intactes et dédiées aux études écologiques et botaniques. Les VJR constituent des échantillons des nombreux types de forêt vierge (notamment les forêts de mangliers, les forêts de bruyère, les forêts marécageuses sur tourbière, les forêts de diptérocarpes de basse altitude, les forêts de diptérocarpes de montagne, les forêts de diptérocarpes de haute montagne). La Malaisie a également établi deux zones de ressources génétiques au sein des réserves forestières de Ulu Sedili dans les États du Johor (4806 ha) et de Semengoh (au Sarawak). Initialement, celles-ci visaient 8 et 14 espèces commerciales respectivement, pour ce qui est de la conservation génétique. Des travaux de recherche sont en cours afin d'identifier de nouvelles espèces. Il existe des peuplements de conservation *in situ* pour les espèces suivantes: *Agathis borneensis*, *Aquilaria malaccensis*, *Calamus manan*, *Dryobalanops aromatica*, *Neobalanocarpus heimii*, *Nepenthes hamulatum*, *Rafflesia sp.*, *Shorea curtisii*, *S. glauca*, *S. hemsleyana*, *S. macrophylla*, *S. splendida* et *S. stenoptera*.

Conservation ex situ

La conservation ex situ peut s'avérer importante pour le stockage à long terme de matériel génétique destiné à de futurs programmes de reproduction ou à la réintroduction d'espèces dans leurs habitats naturels. En Malaisie, la majorité des recherches ont été consacrées à l'amélioration des espèces cultivées dans le domaine agricole et très peu pour la conservation des ressources génétiques des espèces végétales forestières. Les groupes d'espèces végétales forestières les plus importants conservés *ex situ* sont les orchidées (1639 espèces), les arbres fruitiers (434 espèces), les bois (364 espèces) et les plantes

médicinales (115 espèces). Pour la plupart des espèces, la conservation *ex situ* comporte moins de 10 accessions (sauf pour *Anisoptera costata*, *Casuarina equisetifolia*, *Dryobalanops aromatica*, *D. oblongifolia*, *Durio* sp., *Dyera costulata*, *Eusideroxylon zwageri*, *Garcinia* sp., *Hopea odorata*, *Intsia palembanica*, *Metroxylon rumphii*, *Neobalanocarpus heimii*, *Nepenthes* sp., *Nephelium* sp., *Rafflesia* sp., *Shorea macrophylla*, *S. pauciflora*, *S. splendida* et *S. stenoptera*). La Malaisie compte 26 zones de conservation *ex situ* qui se trouvent principalement dans les arboreta des instituts de recherche, des universités et des agences gouvernementales. L'Institut de recherche forestière de Malaisie (FRIM, *Forest Research Institute Malaysia*), le Conseil malaisien de l'huile de palme, le Conseil malaisien du caoutchouc et l'Institut de recherche et de développement agricole de la Malaisie possèdent des arboreta de divers groupes d'espèces sauvages (le FRIM possède notamment plus de 500 espèces de plantes forestières dont 150 espèces de diptérocarpes). Le Jardin botanique de Penang est le site de conservation *ex-situ* le plus ancien de Malaisie. Cependant, peu de recherches y ont été effectuées récemment, ses principales fonctions étant l'éducation, les loisirs et le tourisme. Le FRIM met actuellement en place un jardin botanique national (le jardin botanique de Kepong) avec le soutien du gouvernement fédéral et des institutions privées. Deux autres jardins sont également en cours de planification à Putrajaya et à Sungai Buluh. Les banques de gènes des semences ne conviennent pas à de nombreuses espèces forestières malaisiennes puisque la plupart d'entre elles produisent des semences récalcitrantes qui ne peuvent être stockées pendant longtemps. Les travaux de recherche menés sur l'utilisation de techniques cryogéniques et *in vitro* destinées à la conservation *ex-situ* à long-terme ont permis une cryoconservation réussie de *Bambusa arundinacea*, *Dendrocalamus membranaceus*, *D. brandisii*, *Dipterocarpus alatus*, *D. intricatus*, *Pterocarpus indicus* et *Thyrsostachys siamensis*. La culture de tissus a été étudiée chez *Hopea odorata*, *Shorea leprosula*, *S. macrophylla*, *S. ovalis* et *S. parvifolia*.

Identification des priorités nationales

Cent cinq espèces sont répertoriées comme étant prioritaires pour la Malaisie (*S. lumutensis* ne fait pas partie de cette liste). Il s'agit principalement d'espèces forestières destinées à l'exploitation (notamment *Azadirachta excelsa*, *Khaya ivorensis*, *Tectona grandis* et *Dyera costulata*), de plantes médicinales prisées (telles que *Eurycoma longifolia* et *Labisia pumila*) et de bois précieux (tels que *Neobalanocarpus heimii* et *Eusideroxylon zwageri*). Certaines espèces prisées sont exotiques et ont été introduites en Malaisie pour l'exploitation forestière (par exemple *K. ivorensis*, *Melaleuca cajuputi* et *T. grandis*). En font également partie les espèces forestières indigènes qui ne sont actuellement pas très répandus dans les plantations (telles que *Shorea glauca*, *S. curtisii* et *S. platyclados*), les plantes médicinales ayant un potentiel réel (notamment *Andrographis paniculata*, *Calophyllum lanigerum* var. *austrocoriaceum* et *Goniothalamus velutinus*), les espèces agroforestières (dont *Calamus* sp.), ornementales (telles que *Cycas* sp., *Nepenthes* sp.), les arbres fruitiers (comme *Nephelium* sp. et *Durio* sp.) et les mangliers (tels que *Avicennia alba* et *Sonneratia alba*).

Exploitations forestières

Vers l'an 2000, la Malaisie avait établi 240 000 ha de plantations forestières sur la péninsule malaisienne afin d'augmenter la fourniture en bois et de diminuer la pression exercée sur les forêts naturelles (les espèces plantées comprenaient *Araucaria* sp. *Acacia mangium*, *Durio zibethinus*, *Gmelina arborea*, *Paraserianthes falcataria*, *Pinus caribaea*, *P. merkusii*, *Tectona grandis* et *Shorea macrophylla*). D'autres plantations sont prévues dans le Sarawak et le Sabah, tandis que celles qui ont déjà été établies par le Département des forêts de la Malaisie péninsulaire seront privatisées. Afin d'encourager les investissements du secteur privé dans le domaine des exploitations forestières, une exonération totale est appliquée sur une période de 10 ans.

Produits forestiers non ligneux (PFNL)

Outre la production de bois, les politiques sont actuellement orientées vers le développement des PFNL, des services forestiers et de l'agroforesterie, afin de maximiser les rendements pour les investisseurs et de diversifier le secteur forestier. L'agroforesterie a été promue afin de répondre à la disponibilité de plus en plus limitée des terres et des matières premières. Elle permet la plantation d'une plus grande variété de cultures agricoles parallèlement aux espèces forestières et par conséquent l'optimisation de l'utilisation des terres ainsi que des rendements. Les politiques ont également encouragé le développement des produits issus de la biotechnologie, l'extraction des produits chimiques naturels à partir des ressources biologiques forestières, l'utilisation de la biomasse forestière pour la production de carburant propre et le développement de produits génétiquement modifiés à partir de la flore. La diversification des produits forestiers permettra de générer davantage de revenus dont une partie pourra être réinvestie dans le secteur, rendant plus viable la gestion forestière durable.

Sources d'informations

Cette étude de cas est basée sur les travaux du Dr S.L. Lee (Institut de recherche forestière de Malaisie (FRIM) et ses collaborateurs.

Lee SL, Ng KKS, Saw LG, Lee CT, Norwati M, Tani N, Tsumura Y et Koskela J. 2006. Linking the gaps between conservation research and conservation management of rare dipterocarps: a case study of *Shorea lumutensis*. *Biological Conservation* 131: 72-92.

Lee SL, Krishnapillay B. 2004. Country reports on the status of forest genetic resources conservation and management in Malaysia. In: Luoma-aho T, Hong LT, Ramanatha Rao V et Sim HC, éditeurs. Comptes-rendus de l'atelier de lancement d'APFORGEN Juillet, 2003, Kuala Lumpur. Institut international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie. pp. 206-228.

Guide de formation sur les ressources génétiques forestières

MODULE 1 Stratégies de conservation des espèces

- 1.1 *Leucaena salvadorensis* : variabilité génétique et conservation
- 1.2 *Talbotiella gentii* : variabilité génétique et conservation
- 1.3 ***Shorea lumutensis* : variabilité génétique et conservation**

MODULE 2 Arbres hors forêts

- 2.1 Conservation de la diversité des espèces dans les agroforêts cacaoyères du Nigeria
- 2.2 Développement d'alternatives pour la conservation de deux espèces d'arbres hors forêts

MODULE 3 Chaîne d'approvisionnement en semences d'arbres

- 3.1 Goulots d'étranglement génétiques de la restauration d'*Araucaria nemorosa*
- 3.2 Plantation d'arbres dans les exploitations agricoles d'Afrique de l'Est : comment garantir la diversité génétique ?

MODULE 4 Gestion des forêts

- 4.1 Impacts de l'exploitation sélective sur la diversité génétique de deux essences d'Amazonie.
- 4.2 L'exploitation sélective peut-elle entraîner la détérioration la qualité génétique des générations successives en raison de la sélection dysgénétique?
- 4.3 Conservation de *Prunus africana* : analyse spatiale de la diversité génétique pour la gestion de produits forestiers autres que le bois.

MODULE 5 Qu'entend-on par local? – l'échelle d'adaptation

- 5.1 Sélection de matériel de plantation pour la restauration des forêts sur la côte Pacifique Nord des États-Unis
- 5.2 Adaptation locale et restauration forestière dans l'Ouest Australien

*D'autres modules seront prochainement publiés, dont:
Plantations forestières, Domestication des arbres, Restauration des forêts et
Modification génétique*