

# CHAPITRE 2

## COMPRENDRE LES FORÊTS TROPICALES

Pensez à une «forêt tropicale» et les images de la forêt ombrophile équatoriale vous viennent probablement à l'esprit — la forêt sempervirente grouillant d'animaux sauvages et trempée par la pluie — mais de nombreux autres types de forêts poussent sous les tropiques. Dans les climats saisonnièrement secs, les types de forêts sempervirentes dans les zones plus humides alternent brusquement avec les types de forêts décidues dans les sites plus secs, et ces dernières cèdent la place aux savanes herbeuses dans les régions les plus sèches. De même, sur les montagnes, la structure des forêts change de façon spectaculaire avec l'altitude. Dans des environnements plus contraignants, il y a les forêts marécageuses de tourbe (ou tourbières), les mangroves salées et les landes acides. Différents types de forêts fonctionnent différemment, et chaque type a des caractéristiques distinctives qui présentent des projets de restauration avec des différents défis. Dans les forêts sempervirentes, le défi majeur consiste à assurer le rétablissement rapide des niveaux élevés de biodiversité qui caractérisent ces écosystèmes, tandis que dans les forêts sèches, le simple fait de permettre la survie des arbres plantés à la première saison sèche est une grande réalisation. Le type de forêt climacique définit l'objectif de la restauration (c'est-à-dire la «cible», voir Section 1.2); il est donc important de savoir le type de forêt auquel vous avez à faire.

### 2.1 Les types de forêts tropicales

Diverses classifications des types de forêts tropicales ont été proposées. Elles sont basées sur divers critères, dont le climat, le sol, la composition en espèces, la structure, la fonction et le stade de succession (Montagnini & Jordan, 2005). Parmi les classifications couramment utilisées, figurent le système de Whitmore (1998) **Encadré 2.1**, qui est basé sur le climat et l'altitude, et la classification des catégories de forêts du PNUE-WCMC (UNEP-WCMC, 2000), qui fait intervenir également les forêts perturbées et les plantations (voir **Encadré 2.2**).

#### Les forêts tropicales sempervirentes (y compris les forêts humides)

Les forêts tropicales humides sont les plus développées des forêts tropicales sempervirentes. Elles poussent surtout à une latitude de 7° de l'équateur, où les températures moyennes annuelles dépassent 23°C et les températures moyennes mensuelles sont supérieures à 18°C (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de gel). Les précipitations annuelles dépassent 4.000 mm, avec des précipitations mensuelles atteignant une moyenne supérieure à 100 mm pendant toute l'année (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de saison sèche significative). D'autres types de forêts tropicales sempervirentes poussent partout où les précipitations dépassent l'évapotranspiration (généralement là où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 2.000 mm) et la saison sèche n'excède pas deux mois. Elles s'étendent jusqu'à 10° de latitude de l'équateur. Les plus vastes étendues de forêts tropicales sempervirentes sont dans la plaine du bassin amazonien, le bassin du Congo, la péninsule malaise, et les îles asiatiques du Sud-Est de l'Indonésie et de la Nouvelle-Guinée.

Forêt tropicale humide dans l'aire de conservation du Bassin de Maliau, à Sabah, en Malaisie orientale.

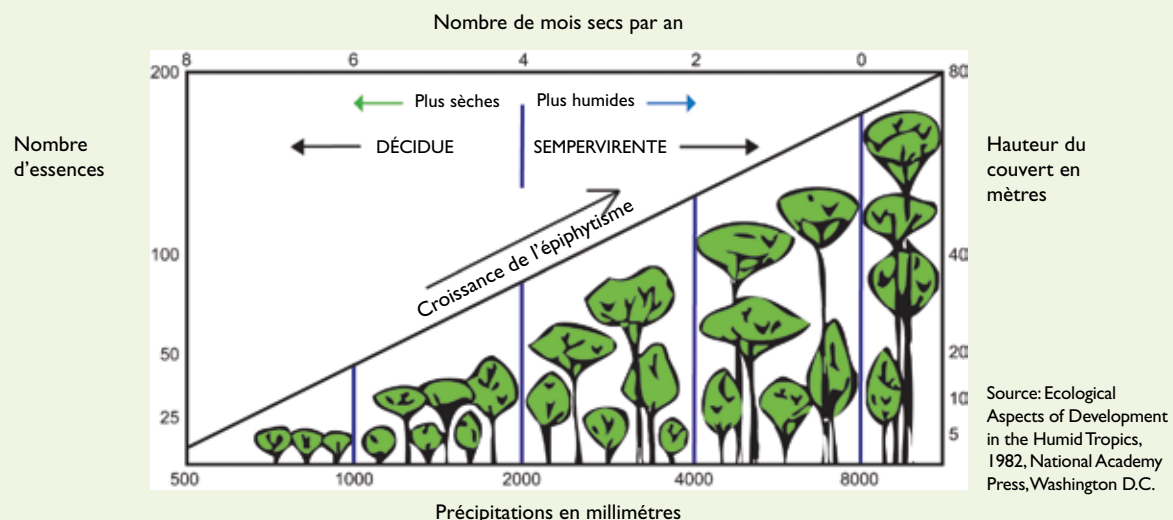


## 2.1 LES TYPES DE FORÊTS TROPICALES

### Encadré 2.1. Classification simple des types de forêts tropicales par Whitmore.

La classification simple des types de forêts tropicales par Whitmore (1998) propose qu'en s'éloignant de l'équateur, les forêts tropicales soient regroupées en deux catégories principales: les forêts saisonnièrement sèches et les forêts toujours humides. Sur les effets de la latitude et du climat se greffent les effets de l'altitude (c.-à-d. les forêts de montagne ou de plaine) et du substrat (par exemple les forêts poussant sur le calcaire ou la tourbe, etc.).

Climat	Élévation	Les types de forêts tropicales
Saisonnement sèches		Forêts de mousson (décidues) de divers types Forêt tropicale semi-sempervirente
Toujours humides	Plaines Montagne 1.200–1.500 m Montagne 1.500–3.000 m	Forêt tropicale sempervirente de plaine Forêt tropicale de basse montagne Forêt tropicale de haute montagne ou forêt nébuleuse
	Montagne > 3.000 m Généralement les plaines	Forêt subalpine à la limite climatique des arbres Forêt des landes Forêt calcaire Forêt ultrabasique Mangroves Forêt marécageuse de tourbe Forêt marécageuse d'eau douce Forêt marécageuse d'eau douce à inondations périodiques



La relation entre l'humidité et la vie végétale dans une forêt tropicale de plaine. La ligne diagonale de gauche à droite représente un gradient de précipitations annuelles moyennes, démontrant qu'au fur et à mesure que l'humidité augmente, les forêts deviennent plus complexes, avec une plus grande diversité biologique et une plus grande stratification écologique. (Source: Assembly of Life Sciences (U.S.A.), 1982.)


















## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

### Encadré 2.2. Classification des catégories de forêts par le PNUE-WCMC.




La classification des catégories de forêts par le PNUE-WCMC, élaborée en 1990, divise les forêts de la planète en 26 grands types (sur la base de la zone climatique et des espèces d'arbres caractéristiques) dont les 15 citées ci-dessous sont tropicales (UNEP-WCMC, 2000). Pour chaque type de forêt tropicale, l'Organisation Internationale des Bois Tropicaux (OIBT) propose une autre stratification, basée sur le stade de succession, c'est-à-dire les forêts primaires, primaires gérées, naturelles modifiées, dégradées, secondaires ou plantées.

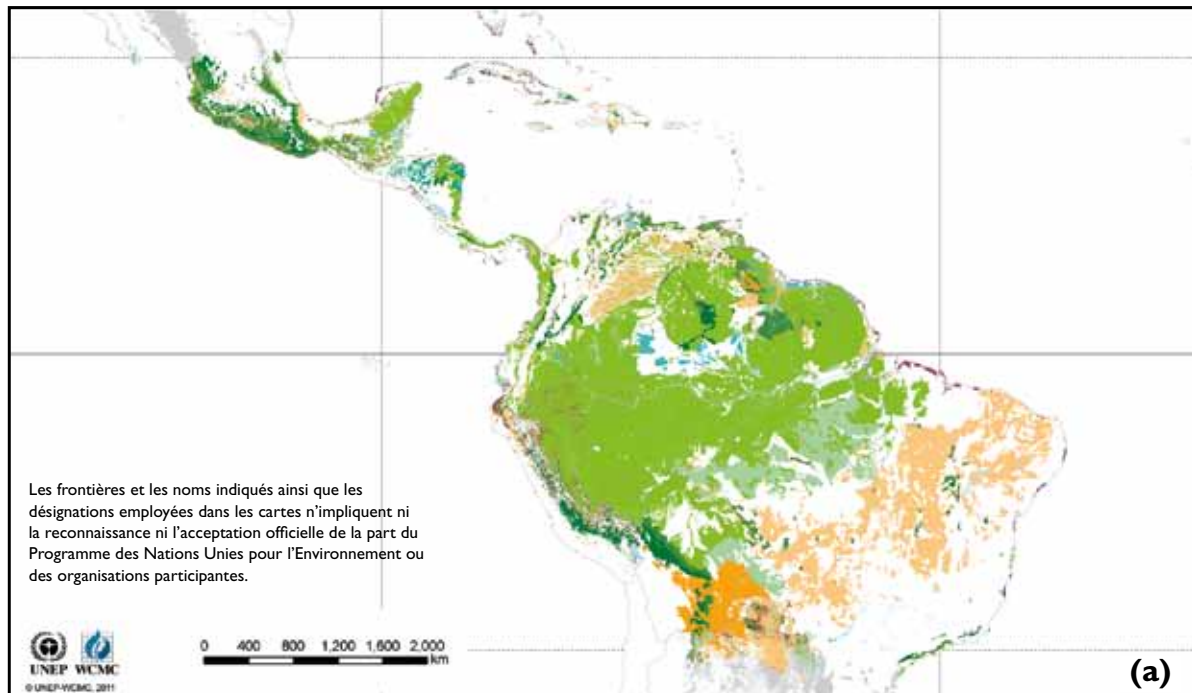
#### LES TYPES DE FORÊTS TROPICALES

-  Mangroves
-  Forêt marécageuse d'eau douce
-  Forêt de haute montagne
-  Forêt sempervirente de plaine à larges feuilles
-  Forêt de basse montagne
-  Forêt dense humide semi-sempervirente à larges feuilles
-  Plantation d'essences exotiques
-  Plantation d'essences autochtones
-  Forêt mixte à large feuilles et de conifères

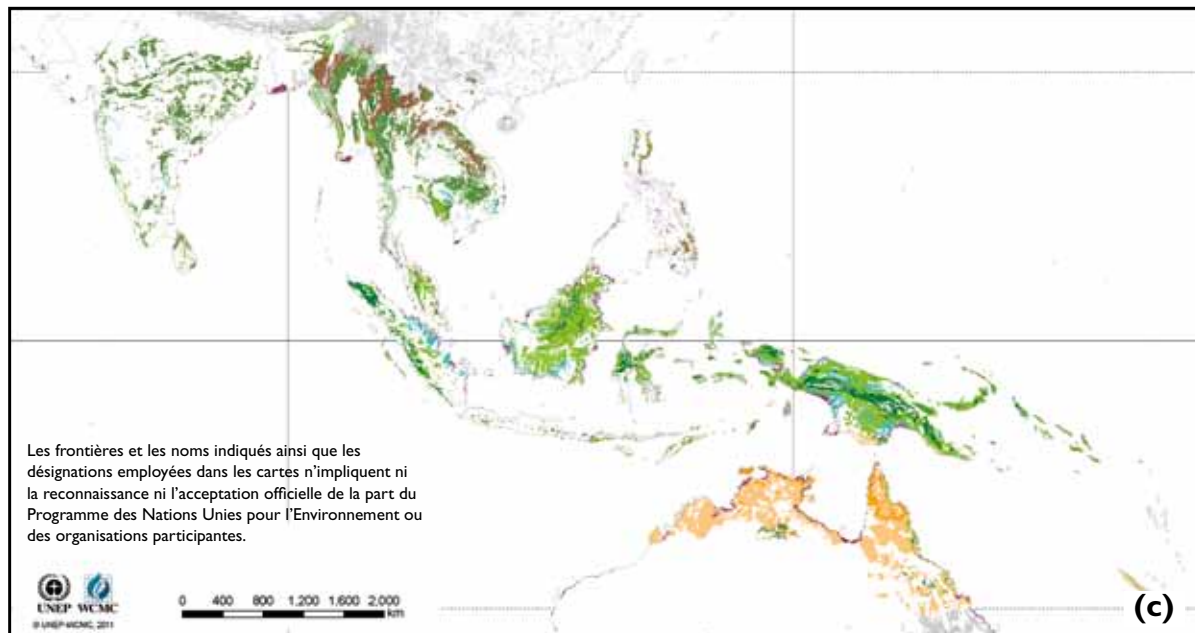
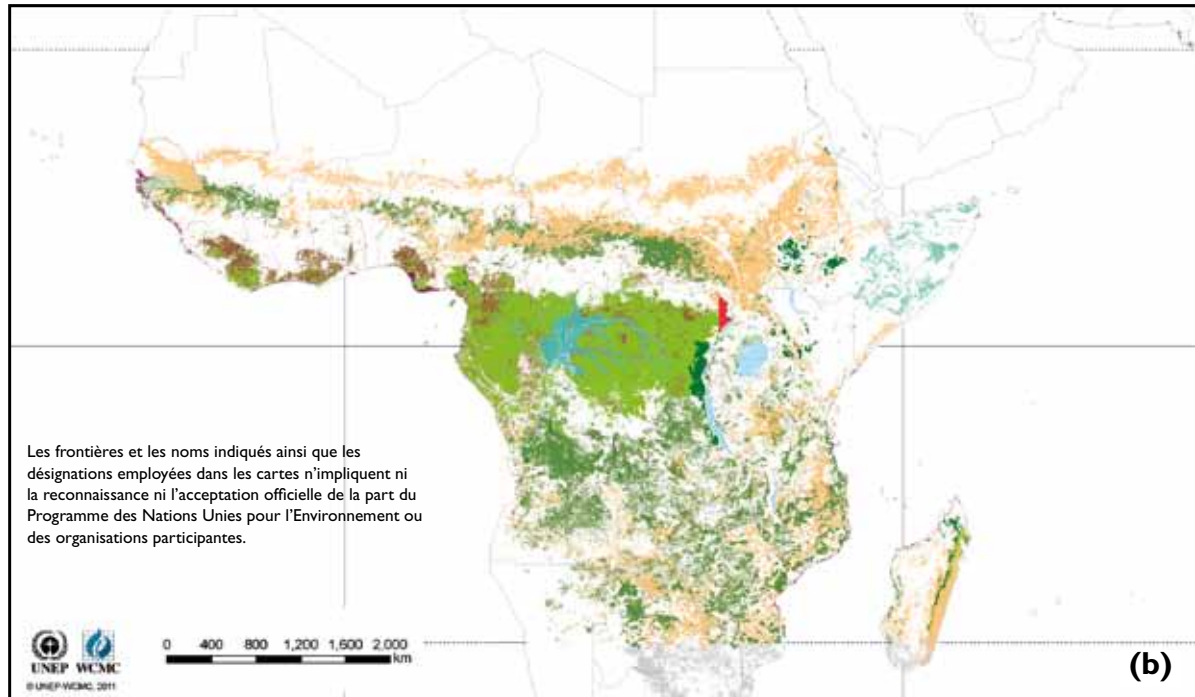
-  Forêt de conifères
-  Forêt sèche sclérophylle
-  Forêts décidues ou semi-décidues à large feuilles
-  Forêt claire épineuse
-  Arbres clairsemés et parc paysager
-  Forêt naturelle perturbée

#### D'AUTRES TYPES

-  Forêts tempérées et boréales
-  Etendue d'eau
-  Pas de données



## 2.1 LES TYPES DE FORÊTS TROPICALES



Étendue des principaux types de forêts tropicales a) de l'Amérique centrale/du Sud, b) de l'Afrique et c) de l'Asie, sur la base de la classification du UNEP-WCMC de 1990, à partir d'un certain nombre de différentes sources nationales et internationales. Les échelles et les dates varient entre les sources, et on peut considérer que cette synthèse indique le couvert forestier mondial vers 1995. La classification des forêts a été conçue pour refléter les caractéristiques des forêts qui sont pertinentes dans la conservation et pour faciliter l'harmonisation entre les différents systèmes de classification nationaux et internationaux. © PNUÉ-WCMC, 2011.

## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

Les forêts tropicales sempervirentes sont les plus luxuriantes des forêts tropicales, avec une complexité structurelle et une biodiversité généralement supérieures à celles des autres types de forêts tropicales, même s'il en existe une variabilité considérable. Dans des placettes d'échantillonnage en Équateur, par exemple, Whitmore (1998) a cité les extrêmes de 370 espèces d'arbres par hectare, contre seulement 23 espèces d'arbres par hectare sur un site nigérian. Généralement, on peut distinguer au moins cinq strates du couvert (c.-à-d. la flore du sol, les arbustes (y compris les arbrisseaux), les arbres du sous-bois, les principaux arbres de la canopée et les arbres émergents), avec la canopée principale atteignant jusqu'à 45 m au-dessus du sol et les arbres émergents surplombant les autres strates, à une hauteur de 60 m. La majeure

Les arbres étayés sont une caractéristique de quantité d'essences de la forêt tropicale sempervirente. Les Indiens Waorani les utilisent pour la communication. Le grondement de basse fréquence, produit lorsqu'on tape sur les arbres, porte sur des distances considérables.

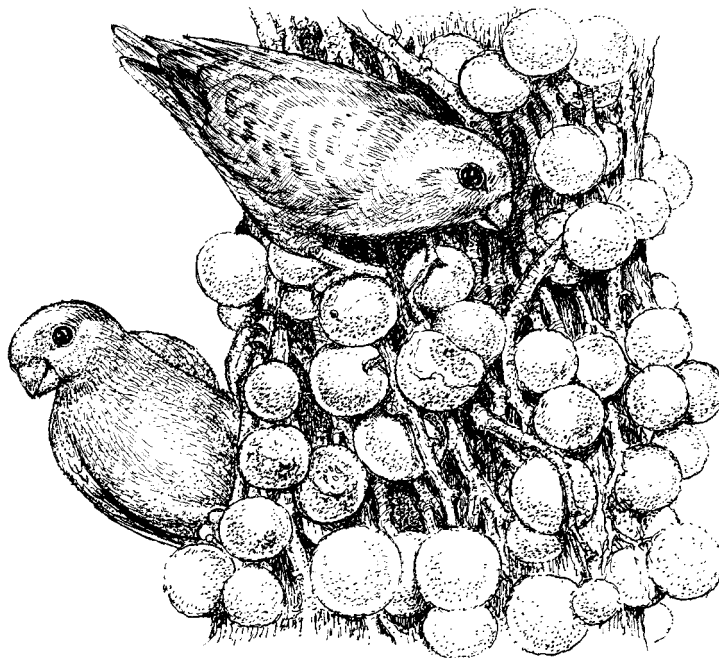


partie de la lumière est captée par le couvert forestier principal, alors les espèces sciaphyles et des strates arbustives tolérants à l'ombre ont tendance à être moins denses que ceux des forêts tropicales plus sèches. Les arbres étayés sont communs, en particulier sur les sols peu profonds. La cauliflorie (c.-à-d. la croissance des fleurs et des fruits sur les troncs d'arbres) est également caractéristique, en particulier des arbres du sous-bois, dont les feuilles ont tendance à avoir une «pointe à gouttes» (c.-à-d. les acumens) qui leur permettent de rejeter l'eau rapidement. Certains arbres de la canopée peuvent perdre leurs feuilles pour une courte durée, mais la canopée reste verte dans son ensemble. Les espèces ligneuses grimpantes, (dont le rotin en Asie et en Afrique), le figuier (*Ficus* spp.) et les communautés denses de fougères épiphytes et d'orchidées (ainsi que les broméliacées d'Amérique du Sud et les apocynacées et les rubiacées d'Asie) sont également caractéristiques des forêts tropicales humides.



Les cabosses de *Theobroma cacao* sont un exemple de fruit cauliflore.

La plupart des ressources alimentaires fournies par les forêts sempervirentes (c.-à-d. les feuilles, les fruits, les insectes, etc.) se trouvent dans le canopy, donc la plupart des animaux y vivent et fournissent aux arbres des services vitaux pour la reproduction. Les pollinisateurs les plus importants sont les abeilles et les guêpes, mais les oiseaux se nourrissant de nectar et les chauves-souris pollinisent également plusieurs espèces d'arbres. La dispersion des graines est le plus souvent réalisée par les oiseaux frugivores, ainsi que par les chauves-souris et les primates frugivores et, lorsque les fruits tombent sur le sol, par les ongulés et les rongeurs. La dispersion des graines par le vent est rare, sauf pour les plus grands arbres (les diptérocarpacées d'Asie tropicale étant une exception évidente). La forte dépendance des essences des forêts tropicales sempervirentes vis-à-vis des animaux pour la reproduction est essentielle dans le contexte de la restauration des forêts.



Les psittacules double-œil savourent les figes et en dispersent les graines. Ce service écologique essentiel est vital pour la survie de la forêt, et l'encourager est essentiel pour le succès de la restauration des forêts.

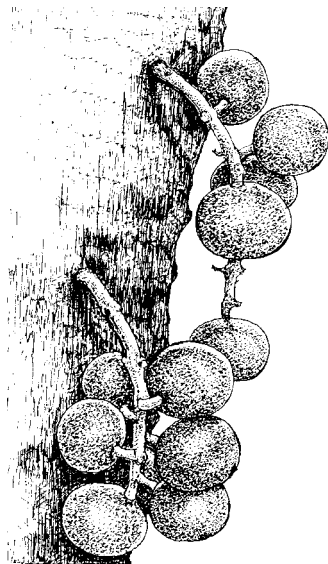


## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

Arbre étagé dans une forêt sempervirente de plaine, Cameroun. (Photo:A. McRobb)



De nombreuses essences des forêts tropicales sempervirentes (comme ce *Baccaurea ramiflora* d'Asie du Sud-Est) produisent des fleurs et des fruits directement à partir de leurs troncs ou de leurs branches. Les fleurs sont plus visibles pour les pollinisateurs et les fruits pour les disséminateurs des graines, car ils ne sont pas cachés par le feuillage.



Dans les forêts tropicales sempervirentes, les feuilles de plusieurs espèces d'arbres, qui ont des acumens ou «pointes à gouttes», contribuent à un déversement plus efficace de l'eau de pluie, empêchant ainsi la croissance de mousses et de lichens sur la surface foliaire.



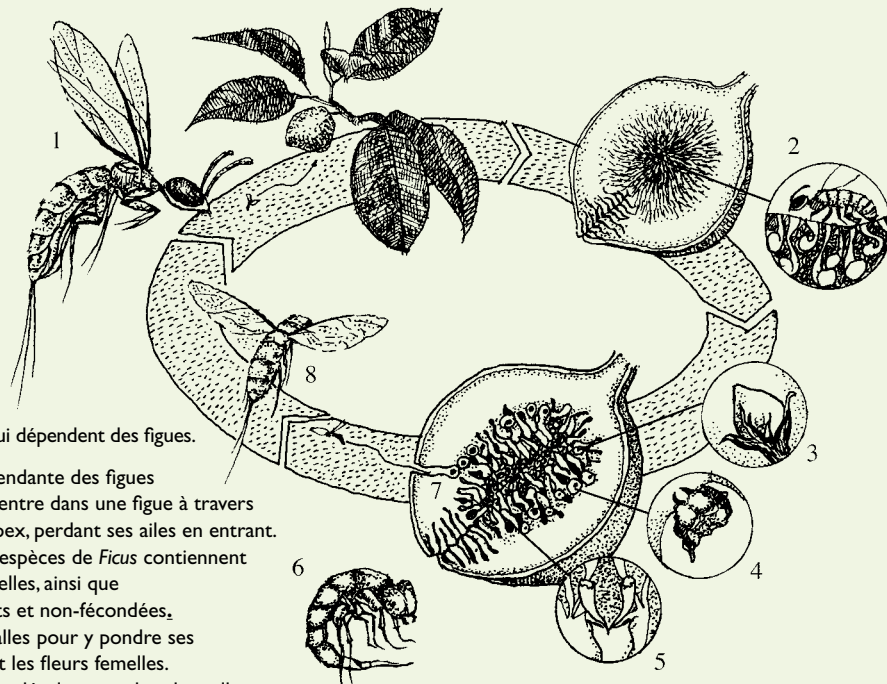


### Encadré 2.3. La nature essentielle des figuiers (*Ficus* spp.).

Les figuiers sont des «espèces clés» dans les écosystèmes forestiers tropicaux, donc les projets de restauration devraient toujours les intégrer. Le genre pantropical *Ficus* comprend plus de 1.000 espèces de plantes rampantes, d'essences ligneuses grimpantes, d'arbustes et de grands arbres, et c'est leur mécanisme de reproduction unique qui en fait des «espèces clés». Parfois confondues avec les fruits, les parties du figuier que l'on mange (appelées «sycones» en jargon botanique) se développent souvent sur les tiges courtes sur du tronc ou des grosses branches et constituent un aliment essentiel pour les animaux de la forêt. Les sycones sont en fait des tiges gonflées d'inflorescences (réceptacles), qui se sont inversées pour enfermer nombre de nombreuses fleurs ou fruits à l'intérieur.

Les fleurs de chaque espèce *Ficus* sont pollinisées par une ou très peu d'espèces de guêpes qui dépendent des figues. Les figues constituent le seul support pour la reproduction des guêpes, et les guêpes sont les seules à pouvoir assurer la pollinisation des fleurs du figuier. Les guêpes dépendant des figues complètent leur cycle de vie en quelques semaines seulement, alors, quelque part dans la forêt, les figues de toutes les espèces doivent être disponibles toute l'année afin que les guêpes ne meurent pas, laissant les figuiers incapables de se reproduire. La disparition de l'espèce *Ficus* d'une forêt tropicale est désastreuse car elle provoque la disparition progressive des oiseaux et des mammifères arboricoles qui dépendent des figues en période de pénurie alimentaire. Beaucoup plus tard, les espèces d'arbres dépendant de ces animaux pour la dispersion de leurs graines sont également disparues.

La plantation de figuiers restaure l'équilibre écologique, en attirant les animaux qui dispersent les graines dans les parcelles de restauration. En outre, les figuiers développent des systèmes racinaires très denses, qui leur permettent de bien se développer dans des conditions rudes et de repousser rapidement après brûlis ou défrichage. Les espèces *Ficus* sont donc excellentes pour prévenir l'érosion du sol et stabiliser les berges des cours d'eau.



Le cycle de vie des guêpes qui dépendent des figues.

1. Une guêpe femelle dépendante des figues transportant le pollen, entre dans une figue à travers un trou minuscule à l'apex, perdant ses ailes en entrant.
2. Les figues de certaines espèces de *Ficus* contiennent des fleurs mâles et femelles, ainsi que des galles à styles courts et non-fécondées. La guêpe cherche les galles pour y pondre ses œufs, tout en pollinisant les fleurs femelles.
3. Les larves de la guêpe se développent dans les galles. Les fleurs femelles pollinisées se développent dans les fruits.
4. Les guêpes mâles sans ailes sortent d'abord de leurs pépinières de galles. Elles s'accouplent avec les guêpes femelles, avant que les femelles sortent de leurs galles.
5. Au moment où les femelles sortent, les fleurs mâles produisent du pollen.
6. Les mâles taillent un trou dans la paroi de la figue.
7. Les femelles s'échappent par le trou, en récoltant du pollen au moment de s'en aller.
8. Les guêpes femelles, chargées de pollen, s'envolent ensuite vers un autre figuier et le cycle continue.

### ***Les défis de la restauration des forêts tropicales sempervirentes***

Atteindre une grande biodiversité et une complexité structurelle est le plus grand défi dans la restauration des forêts tropicales sempervirentes. Le rétablissement de la biodiversité complète est difficile à atteindre quand tant d'espèces sont impliquées dans ces relations écologiques complexes, en particulier parce que l'écologie, la biologie de la reproduction et la propagation de la plupart des essences tropicales sont encore mal comprises.

Les forêts exploitées de manière sélective, voire certains sites coupés à blanc qui n'ont pas fait l'objet d'une autre perturbation, peuvent bien réagir à la régénération naturelle accélérée (RNA, voir **Section 5.2**), tandis que la plantation d'arbres est généralement nécessaire dans les sites dégradés qui sont dominés par des graminées et des herbes. La grande richesse des essences des forêts tropicales sempervirentes présente un large choix à partir de laquelle peut s'opérer la sélection d'arbres à grand rendement destinés à la plantation. Se concentrer d'abord sur la petite minorité d'espèces d'arbres à feuilles caduques qui poussent dans les forêts sempervirentes peut souvent aboutir à des résultats rapides, car ces espèces résistent à la dessiccation dans des sites déboisés exposés et secs par le renouvellement de leurs feuilles pendant les mois les plus secs de l'année.

Une conséquence de la richesse en espèces d'arbres est le fait que les arbres de la même espèce sont généralement très espacés les uns des autres. Ceci complique le repérage d'un grand nombre d'arbres semenciers pour assurer une diversité génétique élevée des arbres au niveau des pépinières. En outre, la fructification peut être irrégulière et de nombreuses espèces d'arbres ont des graines récalcitrantes qui ne peuvent pas être stockées facilement. Beaucoup d'essences des forêts sempervirentes ont de grosses graines qui ne peuvent être dispersées que par les grands animaux, dont beaucoup (rhinocéros, éléphants, tapirs, etc) ont disparu de la grande partie de leurs anciennes aires de répartition. Par conséquent, l'intégration des espèces d'arbres à grosses graines parmi celles choisies pour la plantation peut aider à leur conservation (Vanthomme *et al.*, 2010). Même les espèces d'arbres à petites graines sont principalement dispersées par les oiseaux, les chauves-souris et les petits mammifères; ainsi, empêcher la chasse de ces animaux est essentiel pour permettre le recensement des espèces d'arbres non plantées dans des sites plantés.

L'eau abondante en permanence, la chaleur et la lumière dans les régions tropicales humides signifient que les arbres peuvent être plantés à tout moment de l'année, et y assurer leur survie et leur croissance est moins difficile que dans les régions plus sèches. Toutefois, ces conditions sont également optimales pour la croissance des mauvaises herbes, ce qui rend nécessaire un désherbage fréquent et qui coûte éventuellement cher. Généralement, le feu pose moins de problèmes ici que dans les zones plus sèches, mais il est plus probable dans la forêt dégradée et le changement climatique va exacerber ce risque. Par conséquent, les mesures de prévention des incendies s'avèrent encore être nécessaires.

### **Les forêts tropicales saisonnières**

Les forêts tropicales saisonnièrement sèches ou forêts de «mousson» sont les plus répandues à 5–15° de latitude de l'équateur, où les précipitations et la durée du jour varient chaque année. Ces forêts poussent là où les précipitations annuelles avoisinent 1.000–2.000 mm et où il y a une courte saison fraîche. Pendant la grande saison sèche (3–6 mois), beaucoup d'arbres perdent une partie ou la totalité de leurs feuilles, ce qui entraîne des fluctuations de la densité de la canopée. Cela permet la lumière solaire atteigne le sol et, par conséquent, une végétation au ras du sol et une strate arbustive denses et caractéristiques se développent, ce qui distinguent ces forêts des forêts tropicales sempervirentes. Les fluctuations diurnes et mensuelles de la température sont beaucoup plus grandes que celles dans les forêts sempervirentes. La moyenne des températures mensuelles minimales peut descendre jusqu'à 15°C et celle des températures mensuelles maximales peut dépasser 35°C. Les plus vastes étendues de forêts tropicales saisonnières poussent dans l'est du Brésil (Cerrado), en Inde (forêts de mousson), dans le bassin du Zaïre et en Afrique orientale.

## 2.1 LES TYPES DE FORÊTS TROPICALES

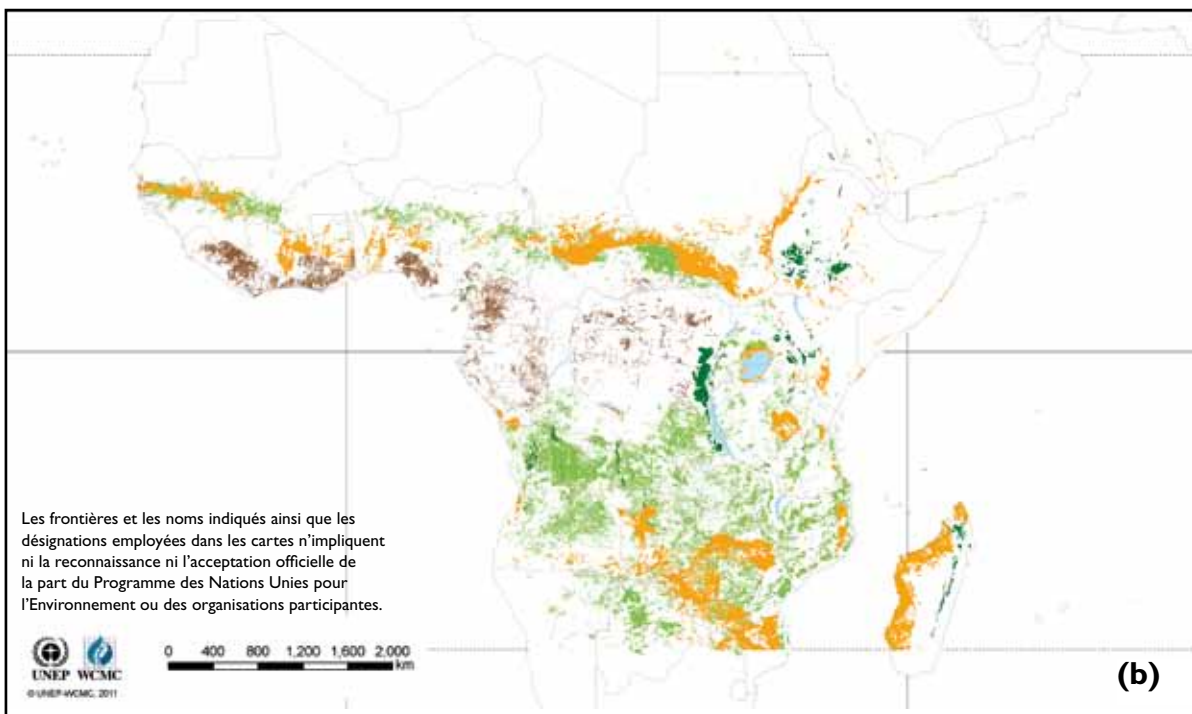
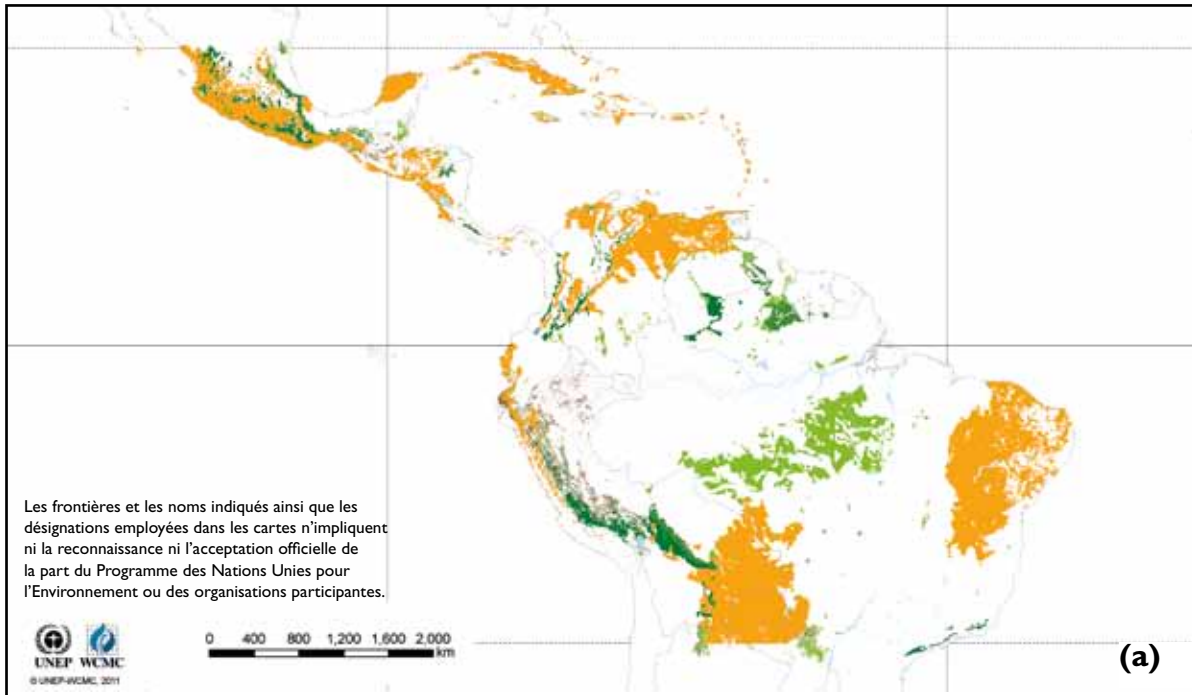


Forêt tropicale sèche saisonnière dans le nord de la Thaïlande. Près de la moitié des espèces d'arbres sont à feuilles caduques et l'autre moitié est constituée d'essences à feuilles persistantes. Le cours d'eau se tarit pendant la saison chaude.

Les espèces d'arbres à feuilles persistantes et à feuilles caduques poussent étroitement ensemble, formant un couvert forestier principal continu pouvant atteindre 35 m de hauteur. Les caractéristiques structurales partagées par les forêts tropicales saisonnières et sempervirentes comprennent les arbres émergents, les arbres étayés, les essences ligneuses grimpantes et les épiphytes, même s'ils sont tous moins répandus dans les forêts saisonnières que dans les forêts sempervirentes. La présence de bambous distingue les forêts saisonnières des forêts sempervirentes. Les forêts tropicales saisonnières conservent un degré élevé de complexité structurale, bien que la stratification du couvert n'y soit généralement pas aussi développée que celle dans les forêts sempervirentes. Généralement, elles sont moins diversifiées que les forêts sempervirentes, bien que leur richesse en espèces d'arbres puisse correspondre à celle des forêts sempervirentes dans certains endroits (Elliott et al., 1989). Même si les animaux restent les principaux agents de pollinisation et de dispersion de graines dans les forêts tropicales saisonnières, la pollinisation et la dispersion de graines par le vent y sont plus accentuées que dans les forêts tropicales sempervirentes. Les forêts tropicales saisonnières peuvent être plus résistantes au réchauffement climatique que les forêts sempervirentes, parce que leur faune et leur flore ont développé des caractéristiques pour faire face aux sécheresses saisonnières.

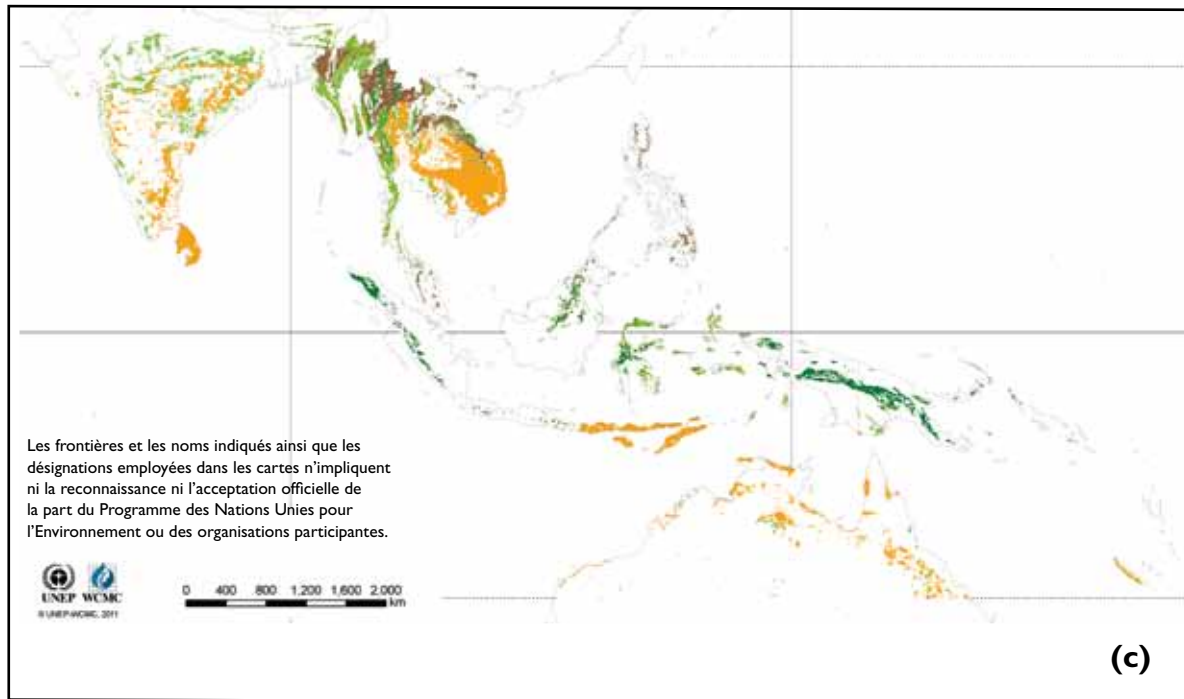


## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES



- |   |  |
|---|--|
| <span style="color: orange;">■</span> Forêt tropicale sèche   | <span style="color: green;">■</span> Forêts saisonnières (forêt feuillue décidue/semi-sempervirente) |
| <span style="color: darkgreen;">■</span> Forêt de haute montagne  | <span style="color: brown;">■</span> Forêt naturelle perturbée                                       |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> Forêt de basse montagne   | <span style="color: lightblue;">■</span> Plans d'eau   |
| <span style="color: limegreen;">■</span> Forêts saisonnières (forêt feuillue dense humide semi-sempervirente) |  |

Étendue des forêts tropicales sèches de a) l'Amérique centrale/du Sud, b) l'Afrique et c) l'Asie, sur la base de la classification effectuée par le PNUE-WCMC en 1990, à partir d'un certain nombre de différentes sources nationales et internationales. Les échelles et les dates varient entre les sources, et on peut considérer que cette synthèse indique le couvert forestier mondial vers 1995. © PNUE-WCMC, 2011.



### ***Les défis de la restauration des forêts tropicales saisonnières***

On sait très peu de choses concernant la phénologie, la propagation et la sylviculture de la grande majorité des espèces d'arbres de ces forêts: ce qui pose évidemment un problème lors de la planification de la plantation d'arbres. Dans les climats saisonnièrement secs, les arbres ne peuvent être plantés qu'au début de la saison des pluies, car il faut prévoir suffisamment de temps pour permettre une assez bonne croissance de leurs racines permettant aux espèces de survivre à la première saison sèche. Ainsi, les programmes de travail des pépinières doivent être conçus pour produire des plants prêts à être transplantés au début de la saison des pluies, indépendamment du moment où les graines sont produites ou de la vitesse à laquelle les plants poussent. Cela nécessite beaucoup de recherche sur la phénologie des arbres, la germination des graines et la croissance des plantules.

Les bambous présentent l'un des plus grands défis de la restauration des forêts tropicales saisonnières, car ils étouffent la croissance des arbres qui sont plantés à proximité d'eux. Leurs systèmes racinaires denses exploitent pleinement le sol, ils projettent une ombre dense et, pendant la saison sèche, ils étouffent les plants à proximité avec une couche dense de feuilles mortes. Par conséquent, le contrôle (mais non l'élimination) des bambous est essentiel pour le succès de la restauration des forêts tropicales saisonnières. Heureusement, les pousses et les tiges de bambou sont des produits utiles, de sorte que les populations locales n'ont généralement pas besoin d'encouragement pour les récolter.

Dans certaines forêts tropicales saisonnières dégradées, les sols riches auront été gravement appauvris et ont, par conséquent, une faible teneur en matière organique et en sels minéraux comme le phosphore. Ces sols peuvent nécessiter l'ajout de la matière organique et/ou d'engrais minéral pour permettre la mise en place et la croissance des plants.

Les plantes envahissantes et le broutement par le bétail domestique constituent tous deux de sérieux problèmes dans les forêts tropicales saisonnières qu'il faut résoudre en travaillant avec les populations locales. Les forêts tropicales saisonnières sont plus sujettes aux incendies que les forêts sempervirentes, de sorte que le désherbage, la construction de pare-feu et un programme efficace de prévention des incendies sont tous particulièrement importants dans la restauration de ces types de forêts.

### Encadré 2.4. Les bambous.



En tant que graminées géantes agressives, les bambous peuvent étouffer l'établissement des arbres, mais ils sont également une composante naturelle des forêts tropicales sèches saisonnières et une source de plusieurs produits forestiers. De nombreuses espèces présentent des floraisons de masse à des intervalles de plusieurs années ou décennies, après lesquels les plantes meurent.

Les bambous sont des graminées ligneuses géantes dans la famille Poaceae (Gramineae), avec plus de 1.400 espèces poussant surtout dans les régions tropicales et subtropicales. Ils sont pantropicaux, avec la région Asie-Pacifique ayant le plus d'espèces (1.012, dont 626 seulement en Chine) et l'Afrique le moins d'espèces. Les plus grands bambous peuvent atteindre 15 m de hauteur et ont des tiges qui atteignent 30 cm de diamètre. Ce sont les plantes ligneuses qui connaissent la croissance la plus rapide au monde et sont parmi les plus utiles. Les tiges de bambou sont utilisées pour toutes sortes de constructions temporaires et de mobilier et sont fendues et tissées pour fabriquer des nattes et des paniers, tandis que les jeunes bourgeons de chaume («pousses de bambou») sont un légume populaire dans la cuisine orientale.

Les bambous sont classés en deux types: le bambou cespiteux et le bambou traçant. Les bambous traçants produisent de très longs rhizomes qui peuvent se propager sur des distances considérables sous terre. Chaque nœud du rhizome peut produire une nouvelle pousse, à partir de laquelle un nouveau système de rhizomes peut se développer. Cette caractéristique est parfois bénéfique, par exemple pour lutter contre l'érosion des sols, mais elle permet également à ces plantes de devenir envahissantes et d'étouffer l'établissement et la croissance d'arbres. Si la restauration des forêts est menacée par des bambous envahissants, il faut éliminer ces derniers. La réduction des turions peut être efficace, mais s'il n'y a pas un suivi rigoureux, elle stimule en fait la propagation des rhizomes sous terre. Par conséquent, un herbicide systémique comme le glyphosate (Roundup) peut être appliqué aux souches de chaume coupé au ras du sol pour tuer les rhizomes. Les bambous sont des traits caractéristiques de certains types de forêts tropicales saisonnières. Par conséquent, même s'il peut s'avérer nécessaire de les éliminer lors de l'établissement initial des arbres, il faudrait leur permettre de re-pousser par la suite.





### Les forêts tropicales sèches

Les forêts tropicales sèches se trouvent le plus souvent à 12–20° de latitude de l'équateur, où les précipitations annuelles se situent entre 300 et 1.500 mm et où la saison sèche dure entre 5 et 8 mois. Ces forêts se développent souvent étroitement mêlées avec les forêts de type saisonnier. Les transitions brusques entre les deux sont généralement le résultat des incendies ou des variations de l'humidité du sol. Les plus vastes forêts tropicales sèches sont les régions boisées de type miombo-soudanien, type plus sec, en Afrique, de type caatinga-chaco en Amérique du Sud, et les forêts décidues à diptérocarpacées en Asie. Sur le plan structurel, les forêts tropicales sèches sont plus simples que les forêts tropicales humides. Elles sont principalement constituées d'arbres à feuilles caduques, avec une canopée irrégulière et parfois discontinue, pouvant atteindre 25 m de hauteur. Ceci permet le développement d'une couche de terre riche et variée, qui est parfois dominée par les graminées. Les grands arbres émergents, les arbres étayés et les bambous sont absents. Les espèces ligneuses grimpantes et les épiphytes poussent rarement, mais les plantes grimpantes sont plus répandues. Les forêts tropicales sèches partagent un bon nombre des familles et des genres d'espèces végétales qu'on trouve dans les régions tropicales humides, mais la plupart des espèces sont différentes. Elles sont moins riches en espèces que les forêts tropicales humides, mais abritent de nombreuses espèces qui ne vivent dans aucun autre type de forêt (espèces endémiques de l'habitat), ce qui est particulièrement vrai pour les forêts sèches côtières.

Dans les forêts tropicales sèches, on observe la prédominance à l'œil nu des arbres fleuris (lesquels fleurissent souvent lorsqu'ils sont dépourvus de feuilles) qui sont pollinisés par des abeilles spécialisées, les sphinx et les oiseaux (colibris dans la région néotropicale et, dans une moindre mesure, les soui-mangas et les pics verts sous les Tropiques de l'Ancien Monde). Les graines sont dispersées par le vent pour près d'un tiers des arbres et pour près de 80% des espèces ligneuses grimpantes (Gentry, 1995).

### Les défis de la restauration des forêts tropicales sèches

Les forêts tropicales sèches sont peut-être les plus menacées des types de forêts tropicales (Janzen, 1988; Vieira & Scariot, 2006) avec seulement 1 à 2% de leur superficie d'origine restant intacte (Aronson *et al.*, 2005). Il est beaucoup plus facile de les défricher par rapport aux forêts sempervirentes, de sorte qu'elles ont été soumises à une dégradation plus longue et plus intense, notamment par l'abattage, la coupe du bois de chauffe, le feu et le broutement par le bétail.

La plantation d'arbres n'est possible que pendant une courte période au début de la saison des pluies, et la saison de croissance pour le développement des racines est de courte durée (généralement moins de 6 mois avant le début de la saison sèche). Par conséquent, il est important que seules les espèces d'arbres à haut rendement soient plantées, et ceux-ci peuvent être plus difficiles à trouver que dans d'autres forêts tropicales, car il y a moins d'espèces d'arbres à choisir. La fructification

Peu d'épiphytes poussent dans les forêts sèches et celles qui le font sont très tolérantes à la sécheresse; exemples figurent *Dischidia major* (en haut, sur la photo ci-contre) et *D. nummularia* (en bas sur la photo ci-contre) (Apocynaceae); ici, poussant sur *Shorea roxburghii* (Dipterocarpaceae) dans le nord de la Thaïlande. *Dischidia major* prélève des nutriments qui sont libérés par les activités des fourmis qu'il héberge dans ses feuilles creuses.



## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

Forêt sèche  
dominée par  
l'Acacia, au Kenya  
(Photo:A. McRobb).



est plus saisonnière que dans les types de forêts humides, la dormance des graines est plus fréquente, et les plantules peuvent croître plus lentement dans la pépinière. Tous ces facteurs présentent des enjeux à la production des plants en pépinière dans les zones tropicales sèches et nécessitent des recherches considérables.

Cependant, les plus grands obstacles à la restauration des forêts tropicales sèches sont le climat chaud et sec, les sols pauvres et le feu. Les sites qui sont disponibles pour la restauration sont pour la plupart ceux qui sont trop infertiles pour l'agriculture (Aronson *et al.*, 2005). Les sols sont souvent latéritiques et durs, ce qui rend difficile et coûteuse la trouaison pour la mise en terre des plants. Pendant la saison sèche, les couches supérieures du sol se dessèchent rapidement. Pendant la saison des pluies, elles se gorgent d'eau à cause du mauvais drainage, en étouffant les racines et en tuant les arbres plantés. Ces problèmes peuvent être surmontés par l'amélioration des sols avant la plantation d'arbres, par exemple, en utilisant de l'engrais vert, en ajoutant les gels polymères qui absorbent de l'eau aux trous de plantation, en arrosant les plants immédiatement après la mise en terre et en appliquant l'engrais organique. Toutes ces mesures peuvent réduire la mortalité après plantation, mais elles impliquent également une augmentation des coûts. Les mauvaises herbes poussent assez lentement sur les sites secs, faisant ainsi que le désherbage soit moins fréquent que sur les sites humides, mais l'application fréquente et abondante d'engrais est essentielle tout au long des 2 à 3 premières saisons de croissance.

Les herbes séchées et les feuilles mortes fournissent le combustible idéal pour le feu. Par conséquent, les mesures de prévention des incendies sont particulièrement importantes lors de la restauration des forêts tropicales sèches. Parmi les autres pressions intenses exercées par l'homme, figurent l'introduction d'espèces végétales envahissantes et le broutage par le bétail. Les programmes de sensibilisation des populations locales sont essentiels dans la résolution de ces problèmes. Néanmoins, dans certains endroits, la résilience des forêts sèches perturbées peut être suffisamment élevée pour que la régénération des forêts soit simplement initiée par la prévention des incendies et le déplacement du bétail (voir **Section 5.1**).

### Les forêts tropicales de montagne

Avec l'altitude croissante sous les tropiques, les précipitations augmentent généralement alors que les températures moyennes baissent (en moyenne de 0,6°C pour chaque ascension de 100 m), ce qui se traduit par des taux d'évapotranspiration plus faibles et une décomposition plus lente. La matière organique s'accumule donc dans les sols à des altitudes plus élevées, ce qui a augmenté leur capacité de rétention de l'eau. Par conséquent, les forêts de montagne sont plus froides et plus humides que celles qui se poussent sur les basses terres adjacentes. En outre, leur structure, leur taille, leur composition en espèces et la phénologie de leur feuillaison peuvent tous brusquement changer sur de courtes distances. Dans les régions tropicales sèches, les forêts décidues au pied des montagnes cèdent la place aux forêts mixtes décidues plus haut, avec les forêts sempervirentes se limitant aux pentes supérieures et aux sommets. Du point de vue floristique, l'ascension d'une montagne sous les tropiques est analogue à l'éloignement de l'équateur: les genres d'arbres typiques des basses terres tropicales sont progressivement remplacés par ceux plus généralement associés aux forêts tempérées.

Les forêts de montagne ont toujours été divisées en forêts de haute montagne et forêts de basse montagne, bien que la transition entre la flore des deux forêts soit souvent indistincte, et l'altitude à laquelle elles poussent est très variable, en fonction de la latitude, de la topographie et du climat dominant. Les plus vastes écosystèmes forestiers tropicaux de montagne se trouvent à l'Est des tropiques et sur les Andes en Amérique du Sud. Les forêts de montagne sont moins étendues en Afrique, où on peut les trouver au Cameroun et le long de la berge orientale du bassin du Zaïre.

Forêt de basse montagne, au nord de la Thaïlande.

### Les forêts tropicales de basse montagne

La transition de la forêt de plaine à la forêt de basse montagne est progressive et peut se produire n'importe où entre 800 et 1.500 m d'altitude. Les forêts de basse montagne sont en grande partie sempervirentes dans les régions tropicales humides ou mixtes (sempervirentes et décidues) à des latitudes plus saisonnières. Les arbres ont tendance à être plus courts que ceux des forêts de plaine (15 à 33 m de hauteur) et on y trouve peu ou pas d'arbres émergents. Les arbres étayés, cauliflores et les lianes sont moins visibles, alors que les épiphytes sont plus répandues. La diversité des espèces est généralement élevée parce que les variations d'altitude, de paysage et de pente peuvent entraîner des changements nets des précipitations, de la direction du vent et de la température.

### Les forêts tropicales de haute montagne et les forêts nébuleuses (ou forêts de nuages)

Le changement le plus important dans les forêts de montagne se produit lorsque les montagnes rencontrent les nuages: au-dessus de 1.000 m sur les montagnes côtières et insulaires ou au-dessus de 2.000 à 3.500 m à l'intérieur des terres. Continuellement ou fréquemment trempées par la brume, les forêts nébuleuses (encore appelées forêts «moussues») se caractérisent par des arbres nains (ou rabougris) et tordus avec des troncs et des branches noueux (généralement étouffés dans les épiphytes) et des cimes compactes, composées de petites feuilles épaisses.





## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES



Forêt nébuleuse, Irian Jaya (Photo:A. McRobb)

Même si la diversité des espèces est généralement plus faible ici que dans les forêts de basse montagne, les niveaux d'endémisme y sont plus élevés parce que les populations végétales et animales propres à l'habitat s'évaluent dans un isolement génétique.

La matière organique s'accumule dans les sols (parce que la décomposition se fait lentement dans le climat de montagne froid), ce qui les rend très acides. La pluviométrie est élevée, mais jusqu'à 60% de l'eau qui atteint le sol peut provenir des gouttelettes de brouillard qui sont capturées par les cimes des arbres (appelées «gouttes de brouillard» ou «désorption des nuages»). En outre, les sols riches en matière organique des forêts de haute montagne ont un très grand potentiel de stockage d'eau, ce qui rend ces forêts des bassins versants les plus importants pour l'approvisionnement en eau de nombreux pays tropicaux. Malgré cela, les forêts nébuleuses (encore appelées forêts de nuages) sont maintenant parmi les écosystèmes terrestres les plus menacés de la planète (Scatena *et al.*, 2010). Partout en Amérique centrale et dans les Andes sud-américaines, les forêts de nuages sont déboisées pour l'agriculture de subsistance et l'horticulture, en dépit de leurs sols pauvres et du terrain accidenté. Dans les Amériques et en Afrique, les forêts de nuages continuent à être défrichées pour l'élevage du bétail. Les autres menaces sont, entre autres, l'exploitation forestière, la récolte du bois de feu, les incendies, l'exploitation minière, la construction de routes et la chasse.

**Tableau 2.1. Caractéristiques générales des forêts de montagne dans les régions tropicales humides (une adaptation de Whitmore (1998)).**

Caractéristiques	Plaine	Basse montagne	Haute montagne
Hauteur des canopées	25–45 m	15–33 m	1,5–18 m
Arbres émergents	Caractéristique (jusqu'à 60 m de hauteur)	Souvent absents (jusqu'à 37 m de hauteur)	Généralement absents (jusqu'à 26 m de hauteur)
Feuilles pennées	Fréquentes	Rares	Très rares
Taille des feuilles (plantes ligneuses)	Mésophylle	Mésophylle	Microphylle
Arbres étayés	Fréquents, grands	Rares, petits	généralement absents
Arbres cauliflores	Fréquents	Rares	Absents
Grandes plantes grimpanes	Abondantes	Moins abondantes	Rares ou absentes
Epiphytes vasculaires	Fréquentes	Abondantes	Fréquentes
Epiphytes bryophytes	Occasionnelles	Répandues	Abondantes

### **Les défis de la restauration des forêts tropicales de montagne**

Travailler sur les montagnes tropicales humides raides présente des problèmes logistiques. L'accès est souvent le plus grand obstacle. Le mauvais état des routes et la nécessité d'avoir des véhicules tout terrain à quatre roues motrices peuvent augmenter considérablement les coûts de la restauration. Les glissements de terrain périodiques bloquent les routes et engouffrent les sites de restauration, et l'érosion des sols est un problème continu. Rien de moins que d'importants travaux d'ingénierie peut empêcher les glissements de terrain, mais l'érosion du sol peut être réduite (sur une petite échelle) par l'application du paillis.

Les basses températures ralentissent la croissance des arbres plantés, et dans les dépressions et les ravins, le gel peut les tuer pendant l'hiver. Plus les cimes des arbres sont proches de la terre, plus grand est le risque de dégâts dus au gel. Les arbres à croissance rapide, qui soulèvent leurs cimes au-dessus de la zone dangereuse, sont donc moins enclins aux dégâts provoqués par le gel. La coupe des mauvaises herbes autour des arbres plantés réduit la hauteur à laquelle l'air froid est recueilli. Dégager le paillis aux abords des troncs d'arbres très jeunes et les emballer avec du papier journal peut également aider à réduire le risque de dégâts dus au gel.

L'exposition des arbres plantés à des vents violents est également un problème particulier sur les montagnes. Une solution à long terme peut consister à planter les premiers arbres comme brise-vent occupant une position stratégique. Les brise-vent protègent alors les arbres plantés par la suite contre les vents et peuvent agir comme corridors pour les agents de dispersion de graines (surtout s'ils sont connectés au reste de la forêt), améliorant ainsi le recensement des espèces d'arbres (Harvey, 2000).

La disparition des animaux dispersant les graines des forêts de montagne isolées ou très fragmentées peut sérieusement réduire le taux de recrutement des plantules de nouvelles espèces d'arbres (non plantées) dans les parcelles restaurées, et retarder ainsi le rétablissement de la biodiversité. Attirer les oiseaux qui dispersent les graines en plantant des arbres à croissance rapide, chargés de fruits charnus (la méthode des espèces «framework», voir **Section 5.3**), ou en plaçant des perchoirs artificiels à oiseaux à travers les sites de restauration peut aider à atténuer le problème (Kappelle & Wilms, 1998; Scott *et al.*, 2000).

Selon des prévisions, de vastes superficies de terres agricoles qui autrefois étaient la forêt nébuleuse pourraient être abandonnées en Amérique latine au fur et à mesure que les gens se déplacent vers les zones urbaines, créant ainsi des opportunités considérables pour la restauration (Aide *et al.*, 2011). Ces zones peuvent, toutefois, devenir des prairies entretenues par le feu, qui empêchent la succession naturelle. Par conséquent, le défrichage de la végétation herbacée peut être nécessaire avant que les plants ou les graines, dans certains cas, ne soient mis en terre. La plantation d'arbres indigènes des forêts nébuleuses a été entravée par un manque de connaissances de base sur la biologie de la reproduction, le traitement des semences, la propagation et la sylviculture de la plupart des espèces (Alvarez-Aquino *et al.*, 2004).

### **Les effets du substrat**

Le type de sol et la roche sous-jacente peuvent considérablement influencer sur la structure et la composition en espèces de la forêt tropicale. Par exemple, les podzols très riches en acides (pH <4) et pauvres en éléments nutritifs de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud supportent les **landes**. Ici, de petits arbres à feuilles persistantes, étroitement espacés, souvent de quelques espèces dominantes, forment un couvert forestier bas, non stratifié et constitué principalement d'espèces microphylles sur des sous-bois ligneux. La restauration de telles forêts peut être entravée par les sols sableux très acides et sujets à l'érosion, qui provoquent une forte mortalité parmi les arbres plantés et corrodent les étiquettes métalliques attachées pour suivi.



Lande, Irian Jaya  
(Photo:A. McRobb).

Le **calcaire** supporte également la végétation unique et souvent riche en espèces, avec de nombreuses espèces endémiques, principalement dans les régions tropicales saisonnières de l'Asie du Sud et des Caraïbes. La nature poreuse du calcaire conduit à des pénuries d'eau toute l'année, ce qui entraîne une forêt rabougrie, xéromorphe, semi-décidue et des broussailles, avec une faible densité d'arbres. Le relief accidenté, les sols peu profonds et des niveaux élevés d'endémisme constituent tous des obstacles à la restauration. L'engorgement du substrat ou l'inondation par l'eau douce, de façon saisonnière ou permanente, génère également des types de forêts uniques. Confinées à l'Asie du Sud, les **forêts des marécages tourbeux** (ou forêts «tourbeuses») poussent dans les zones plates de faibles altitudes, où la décomposition de la matière organique morte est ralentie par l'engorgement. Il en résulte une accumulation de la tourbe acide, pour finalement former des dômes de 13 m de profondeur, qui peuvent s'étaler sur 20 km (Whitmore, 1998). On peut distinguer jusqu'à six communautés forestières poussant plus ou moins sur des bandes concentriques du centre du dôme à son bord (Anderson, 1961). Chaque communauté a seulement quelques espèces d'arbres dont plusieurs sont propres à un habitat et sont sensibles aux niveaux d'eau dans la tourbe. Ceci, avec la nature semi-fluide du substratum, complique la restauration. Une fois sèche, la tourbe est très inflammable et les feux de tourbe sont notoirement difficiles à éteindre. Par conséquent, le rétablissement du régime hydrologique (c.-à-d. le «remouillage» de la tourbe en endiguant les canaux de drainage) est souvent la première étape pour restaurer les forêts marécageuses (Page *et al.*, 2009). Il empêche les incendies, préserve les stocks de carbone et crée de meilleures conditions pour l'établissement des arbres.

Forêt se collant  
aux roches calcaire,  
Sud de la Thaïlande.  
La pénurie d'eau  
est l'obstacle aux  
plantes qui poussent  
dans cet habitat.







**Les forêts marécageuses d'eau douce** (ou forêts marécageuses) sont une gamme variée de types de forêts qui sont inondées périodiquement, par endroits, pendant une période pouvant atteindre 9 mois chaque année, et qui poussent le plus intensément le long des plus grands fleuves tropicaux de la planète (Amazonie, Congo et Mékong). Dans ces forêts, les palmiers et les dicotylédones poussent et peuvent atteindre 30 m de hauteur, formant souvent deux strates du couvert. Plus la période d'inondation de ces forêts est longue chaque année, plus faible est leur richesse en espèces d'arbres. Les forêts marécageuses s'appuient sur l'accumulation de la végétation herbacée morte pour pouvoir prendre racine. Les arbustes s'établissent d'abord; ils sont souvent suivis par des palmiers et plus tard par de grands arbres. Il en résulte un gradient de différents types de forêts lorsqu'on s'éloigne de la bordure de l'eau. La prise en compte de cette zonalité par la manipulation de la succession naturelle et/ou la plantation d'arbres sur les sites inondés est très problématique, mais grâce à des sols riches en nutriments, la restauration peut évoluer rapidement, une fois l'établissement d'arbres ayant eu lieu.

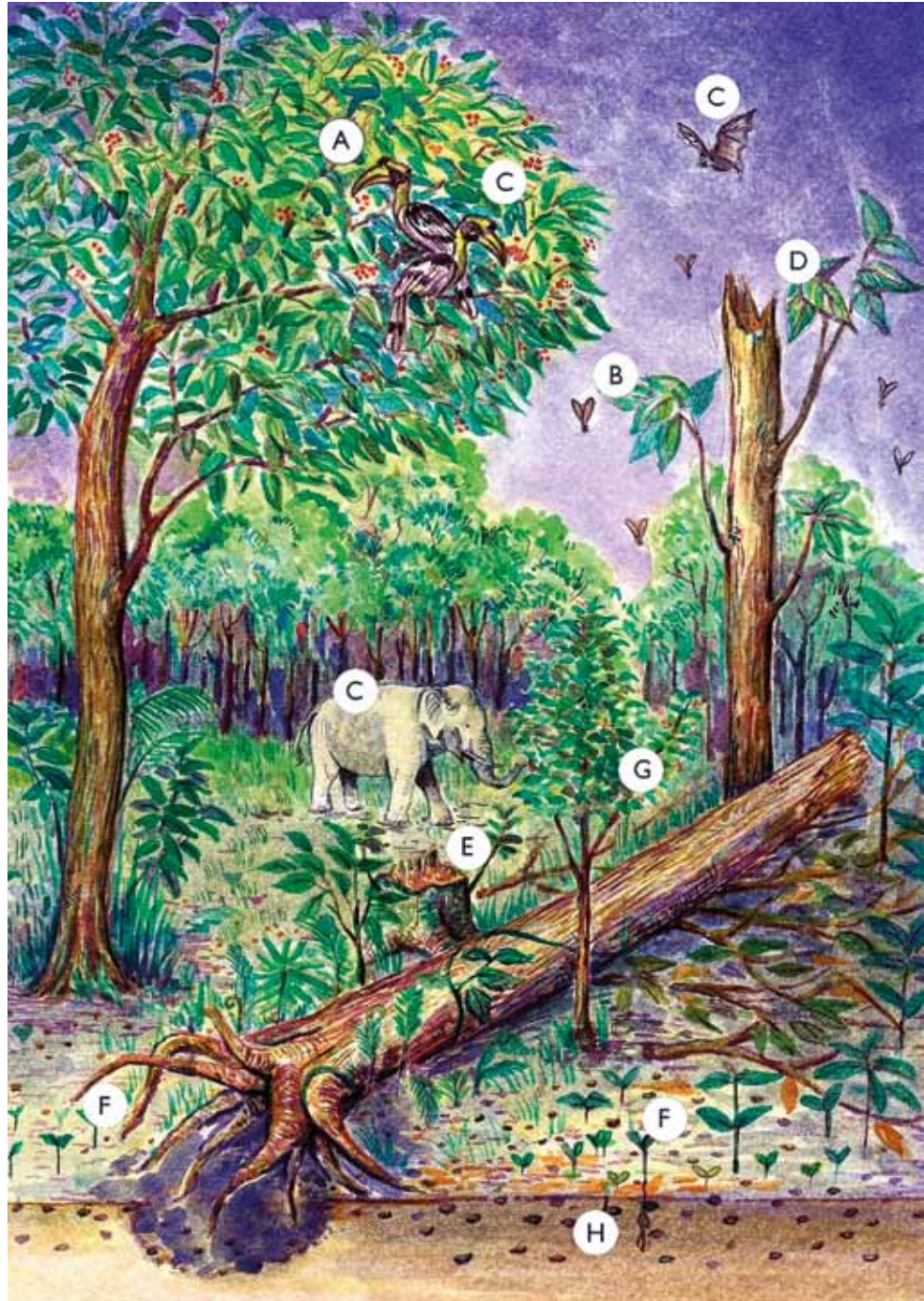
Forêt marécageuse  
riche en sagoutiers,  
Irian Jaya  
(Photo:A. McRobb)

Dans les estuaires tropicaux et le long des côtes, les forêts marécageuses d'eau douce cèdent la place aux **mangroves** dans la zone intertidale. Les mangroves sont dominées par quelques espèces d'arbres tolérantes au sel, souvent aux caractéristiques pneumatophores (les racines exposées pour les échanges gazeux) qui permettent aux plantes de surmonter les conditions anaérobies des sédiments sur lesquels elles poussent. Comme d'autres forêts marécageuses, les mangroves sont implantés dans différents types de forêts le long d'un gradient d'humidité. La plupart des mangroves produisent des graines dispersées par l'eau, annuellement, en grande quantité et quelques-unes sont vivipares (c'est-à-dire les graines germent sur l'arbre avant leur dispersion). Les projets de restauration sur les vasières à marée sont à la fois difficiles et dangereux. La plantation de propagules ou de petits plants connaît très peu de succès tandis que celle de grands plants donne de meilleurs résultats, bien que plus coûteuse. La dessiccation, une forte salinité et les attaques par les insectes herbivores sont les problèmes les plus courants (Elster, 2000).

Mangroves, Irian Jaya  
(Photo:A. McRobb)







La succession se produit rapidement au sein des forêts intactes où les trouées de lumière sont créées par les chutes d'arbres. (A) Les arbres fruitiers à proximité fournissent (B) une pluie dense de graines. La forêt environnante fournit un habitat (C) aux animaux qui dispersent les graines. (D) Les arbres endommagés et (E) les souches d'arbres repoussent. (F) Les plantules et les (G) jeunes arbres, autrefois étouffés par le couvert forestier dense, poussent maintenant rapidement. (H) Les graines se trouvant dans la banque de graines du sol germent. Dans les grandes régions déboisées, bon nombre de ces mécanismes naturels de régénération de la forêt sont réduits ou entièrement bloqués par les activités humaines.

### Les variations régionales

Jusqu'ici, notre travail n'a fait que passer brièvement en revue les plus grands types de forêts tropicales. Dans chacun de ceux-ci, les systèmes de classification des forêts de chaque pays distinguent plusieurs sous-types, souvent avec des terminologies incompatibles.

## 2.2 Comprendre la régénération des forêts

La restauration des forêts concerne tout ce qui a trait à l'accélération de la succession forestière naturelle; de ce fait, son succès dépend de la compréhension et de l'amélioration des mécanismes naturels de la succession forestière.

### Qu'est-ce que la succession?

La succession est une série de changements prévisibles dans la structure et la composition des écosystèmes qui se produisent après une perturbation. Si on la laisse suivre son cours, la succession débouche finalement sur un écosystème final dit climacique, avec une biomasse maximale, une complexité et une biodiversité structurelles dans les limites imposées par les conditions pédologiques et climatiques au niveau local.

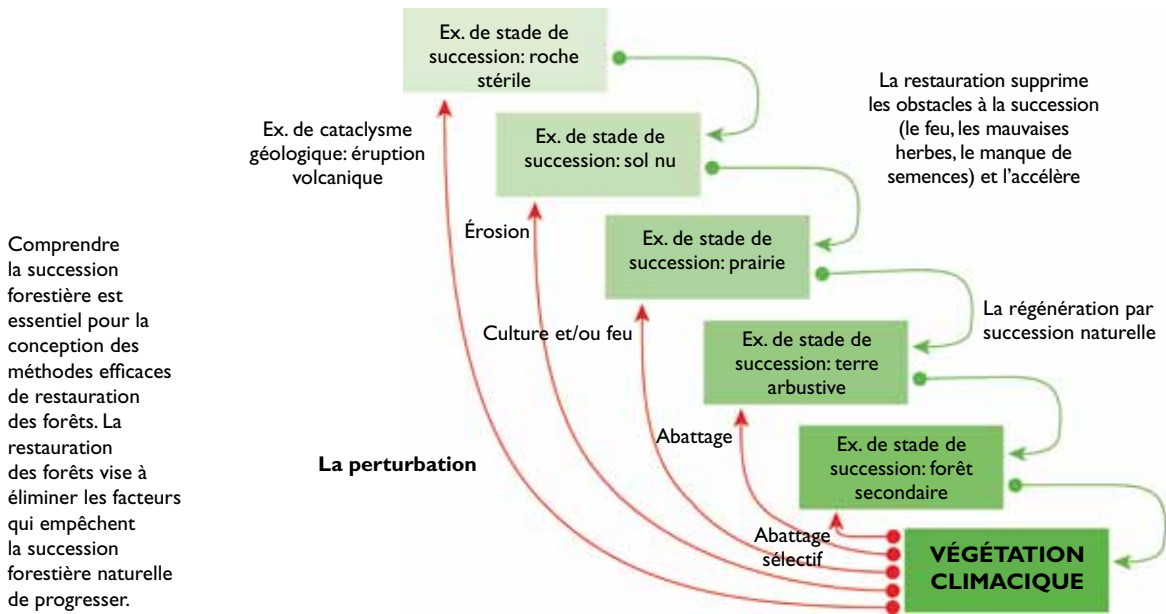
Une forêt tropicale climacique n'est pas un système stable et immuable mais plutôt un équilibre dynamique subissant des perturbations et un renouvellement constants. Des trouées de lumière se forment avec la mort des grands arbres, mais elles sont rapidement comblées au fur et à mesure que les jeunes arbres et les plants croissent. Ainsi, une forêt climacique est une mosaïque en perpétuelle évolution, constituée de trouées de lumière de différentes dimensions dues aux chutes d'arbres, de parcelles de régénération et d'un peuplement vieux, avec la composition des espèces variant en fonction du micro-habitat, des perturbations qui se sont déjà produites, des contraintes de dispersion des graines et des événements aléatoires. Tous ces facteurs contribuent à la grande diversité d'espèces qui est caractéristique de la plupart des forêts tropicales climaciques.

Une perturbation plus généralisée de la forêt climacique peut entraîner le retour à un stade antérieur, à un écosystème temporaire ou à «stade de succession» dans le groupement végétal préclimacique. La nature du stade de succession dépend de la gravité de la perturbation. Une perturbation majeure, comme une éruption volcanique, détruit complètement la communauté végétale et le sol, entraînant le retour de la terre au premier stade de succession: la roche nue. Des perturbations moins graves, telles que l'exploitation forestière, l'agriculture et le feu, transforment les forêts en terrains couverts d'herbes et d'arbustes. Une fois que la perturbation cesse, les changements séquentiels dans la composition des espèces se produisent en raison des interactions entre les plantes, les animaux et leur environnement. La roche nue est colonisée par les lichens et les mousses, processus connu sous le nom de «succession primaire». Les terrains couverts d'herbes et d'arbustes subissent «la succession secondaire», à travers laquelle les arbustes font de l'ombre aux herbes, les arbres pionniers qui nécessitent beaucoup de soleil privent les arbustes de lumière, et beaucoup plus tard, les arbres pionniers sont eux-mêmes privés de lumière par les arbres climaciques tolérants à l'ombre. Ainsi, la forêt devient progressivement plus dense, plus complexe sur le plan structurel et plus riche en espèces au fur et à mesure que la succession la fait avancer vers l'état climacique.

Même dans les meilleures conditions, ce processus peut prendre 80 à 150 ans pour s'achever, et dans certaines circonstances une perturbation humaine continue peut empêcher complètement la réalisation de la forêt climacique. Par conséquent, la restauration active est nécessaire là où un retour plus rapide à la forêt climacique est souhaité.



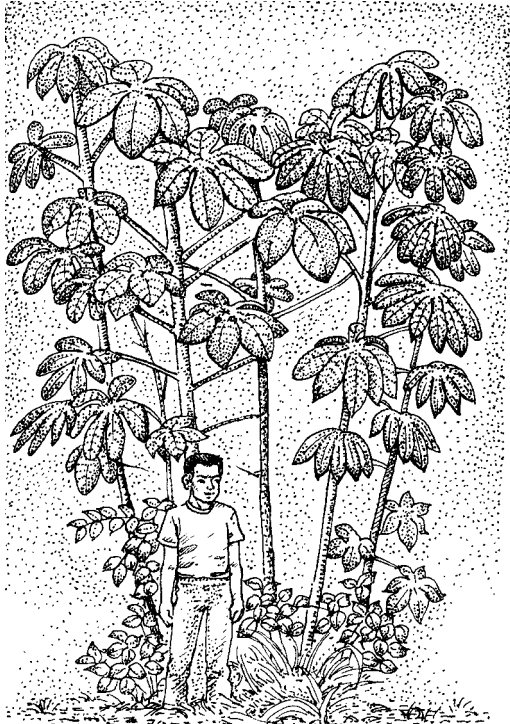
## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES



### Les essences pionnières et climaciques

Les espèces d'arbres peuvent être divisées en deux grands groupes, en fonction du moment de leur apparition dans l'ordre de la succession forestière. Les essences pionnières sont les premières à coloniser les sites déboisés, alors que les essences forestières climaciques s'établissent plus tard, seulement après la création par les pionnières des conditions plus ombragées, plus froides et plus humides. Les principales différences entre les deux groupes sont que les graines des essences pionnières ne peuvent germer qu'en plein soleil et leurs plantules ne peuvent pas grandir à l'ombre, tandis que les graines d'arbres climaciques peuvent germer à l'ombre et leurs plantules sont tolérantes à l'ombre.

*Cecropia*, le plus grand genre des arbres pionniers dans la région néotropicale.



Les graines d'arbres pionniers peuvent rester en dormance dans le sol, jusqu'à ce que la formation d'une trouée de lumière et l'augmentation de l'intensité lumineuse activent la germination. Cependant, une fois que le couvert forestier se ferme, plus aucune plantule des espèces pionnières ne peut atteindre maturité. Par conséquent, les arbres pionniers croissent rapidement et produisent habituellement un grand nombre de petits fruits et de graines à un jeune âge. Ces dernières sont dispersées sur de longues distances par le vent ou de petits oiseaux, trouvant ainsi de nouvelles zones perturbées à coloniser. Les espèces pionnières peuvent être divisées en deux groupes: les premiers arbres pionniers (par exemple, *Cecropia*, *Macaranga*, *Trema*, *Ochroma*, *Musanga*, *Acronychia* et *Melochia*) et les essences secondaires ou post pionnières (par exemple, *Acacia*, *Alstonia*, *Octomeles*, *Neolamarckia*, *Terminalia* et *Ceiba*). Les premières sont celles qui colonisent les zones ouvertes, mais vivent rarement plus de 20 ans, tandis que les secondes poussent pendant 60 à 80 ans et peuvent survivre même après que les essences climaciques ont commencé à atteindre la canopée (bien que leurs semis soient absents de la couche de terre).

## 2.2 COMPRENDRE LA RÉGÉNÉRATION DES FORÊTS

Les essences climaciques poussent lentement pendant de nombreuses années, en consolidant progressivement leur position dans la forêt avant la floraison et la fructification. Elles ont tendance à produire de grosses graines dispersées par les animaux, graines qui ont une faible capacité de dormance (ou inexistante), et de grandes réserves alimentaires qui peuvent soutenir les plantules dans des conditions ombragées. Par conséquent, les essences climaciques peuvent se régénérer sous leur propre ombre, donnant lieu à une composition des espèces relativement stable de la forêt climacique. Elles peuvent vivre pendant des centaines d'années.

En réalité, la division entre les essences pionnières et climaciques peut être trop simpliste. De nombreuses essences climaciques poussent très bien quand elles sont plantées dans des sites déboisés. Leur absence de ces zones est habituelle non pas à cause des conditions sèches, chaudes et ensoleillées des sites déboisés mais due au fait que leurs grosses graines ne parviennent pas à se disperser naturellement dans de telles zones. La plupart des essences forestières climaciques sont *tolérantes* à l'ombre, mais *ne dépendent pas* de l'ombre. Cela signifie que les programmes de plantation d'arbres ne doivent pas se limiter aux espèces pionnières. La plantation d'essences climaciques soigneusement sélectionnées aux côtés d'essences pionnières raccourcit la succession et permet d'avoir une forêt climacique plus rapidement que par la méthode naturelle.

Ashton *et al.* (2001) fournissent une vue plus précise de l'état de succession des espèces d'arbres en reconnaissant six guildes d'arbres. Les essences pionnières, qui ont une courte durée de vie (c.-à-d. les premiers arbres plantés), sont les premiers arbres à former une canopée qui prive les mauvaises herbes de lumière. «Les essences pionnières de l'exclusion des tiges» (c.-à-d. les essences secondaires ou post pionnières) se développent pour dominer la canopée plus tard. Elles continuent à vivre pendant que les essences du couvert du stade final (c.-à-d. le couvert climacique) poussent à leurs côtés, que la biomasse forestière augmente, et que la composition en espèces d'arbres et la structure de la forêt se diversifient davantage. Les plantules des espèces pionnières disparaissent avec le développement d'un sous-étage, marquant ainsi une étape cruciale dans la progression de la succession. Ashton *et al.* (2001) subdivisent les espèces d'arbres du dernier stade de succession en quatre groupes, en fonction de la position de leurs cimes dans le couvert végétal: les espèces dominantes (abondantes dans la canopée ou comme arbres émergents), les espèces non-dominantes (moins abondantes dans la canopée), les espèces du sous-canopée et du sous-bois. Toutes les six guildes peuvent être présentes sous forme de plantules au début de la succession (si la dispersion des graines n'est pas limitative). Si possible, la restauration des forêts devrait, par conséquent, tenter d'imiter cette approche en intégrant les espèces représentatives de toutes les six guildes d'arbres parmi les essences plantées ou celles dont on encourage la régénération.

Phases de développement d'un peuplement (une adaptation de Ashton *et al.* (2001))

### PHASES DE DÉVELOPPEMENT D'UN PEUPEMENT



Espèces pionnières de la mise en place (*Macaranga, Trema*)



Espèces non dominantes du dernier stade de succession (*Mangifera indica, Bhesa ceylanica*)



Espèces pionnières de l'exclusion des tiges (*Alstonia, Schumacheria*)



Sous-canopée du dernier stade de succession (*Garcinia hermonii, Semecarpus*)



Espèces dominantes du dernier stade de succession (*Shorea, Dipterocarpus*)



Sous-bois du dernier stade de succession (*Psychotria, Stelis macrophylla*)

### Les contraintes en matière de restauration écologique

Au-delà d'un certain «seuil», la perturbation peut bouleverser les mécanismes écologiques généralement efficaces pour la régénération des forêts, ce qui provoque l'entrée de la végétation dans un «état alternatif». Une bonne analogie est fournie par la bande élastique. Après un étirement modéré, la bande peut facilement revenir à sa forme d'anneau d'origine. Toutefois, si vous étirez trop la bande, elle se casse, devenant une courte bande de caoutchouc extensible, c'est-à-dire qu'elle entre dans un autre état. Les propriétés qui lui ont permis de revenir à l'état d'un anneau ont été détruites. Elle ne reprendra jamais sa forme d'anneau d'origine sans intervention humaine pour remettre les deux extrémités ensemble et restaurer l'anneau.

Par analogie, la déforestation à grande échelle, suivie par une perturbation continue, détruit les mécanismes naturels de la succession qui permettent la régénération des forêts. Les grandes zones déboisées deviennent souvent occupées par un stade de succession préclimacique persistante (appelé «plagioclimax»), tel que des prairies, ou par une communauté complètement nouvelle dominée par les espèces exotiques envahissantes. Là où les activités humaines entravent la succession, l'intervention humaine est nécessaire pour rétablir les mécanismes de régénération des forêts et permettre que la succession avance vers le stade climacique.

Les modèles de la «dynamique des seuils» visent à expliquer et prévoir ces changements irréversibles. Ils montrent comment les mécanismes de «rétroaction positive» maintiennent l'écosystème dans son état dégradé, même après la fin de la perturbation. Par exemple, la coupe d'arbres dans une forêt tropicale augmente les niveaux d'éclairage, ce qui conduit à une augmentation de la couverture herbeuse. Les prairies chaudes et sèches brûlent plus facilement que la forêt fraîche et humide, ce qui donne davantage lieu au feu qui détruit les plants d'arbres. Ce nouveau régime de feu empêche le retour du site à son état initial de forêt, même si la coupe des arbres est arrêtée.

Comprendre ces seuils et les mécanismes de rétroaction qui entraînent les écosystèmes forestiers de rester dans un état dégradé persistant est très utile dans l'élaboration des stratégies appropriées à la restauration des forêts.

### La régénération dans les vastes étendues déboisées

Dans les vastes étendues déboisées, la mise en place des arbres forestiers dépend habituellement de la disponibilité des sources de semences locales et de la dispersion des graines dans les sites déboisés. Les semences doivent tomber là où les conditions sont propices à la germination et doivent échapper aux granivores, connus sous le nom «prédateurs de graines». Après la germination, les plantules doivent faire face à une rude concurrence avec les mauvaises herbes pour la lumière, l'humidité et les nutriments. Il faut aussi éviter que les arbres qui poussent soient brûlés par les feux ou mangés par les bovins.

#### ***Les contraintes en matière de régénération à partir de la banque de semences***

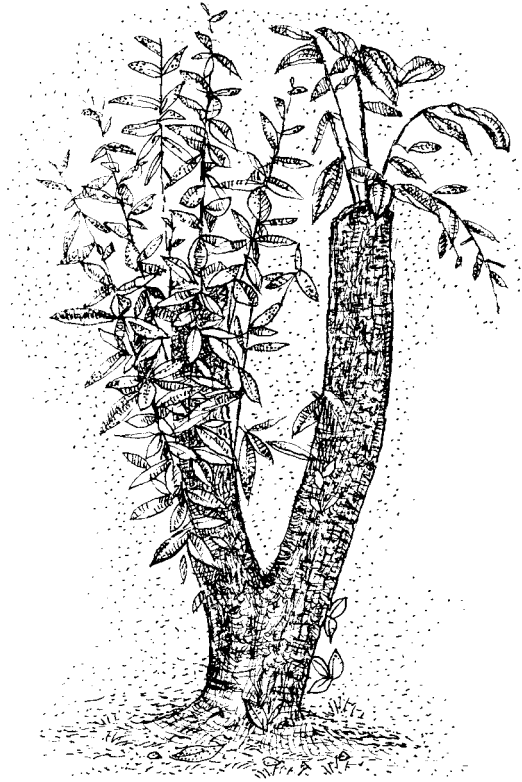
Quand une forêt est abattue, un grand nombre de graines restent à l'intérieur du sol (la banque de semences). Cependant, la grande majorité des essences tropicales produisent des graines qui ne sont viables que pour de courtes périodes. Donc, si une forêt est défrichée et que le site est ensuite brûlé et cultivé pendant plus d'un an, voire deux, la plupart des graines issues de la banque de semences de la forêt climacique d'origine meurent, parce qu'elles n'ont soit pas de capacité de dormance (Baskin & Baskin, 2005) ni une capacité de dormance de très courte durée (c'est-à-dire qu'elles doivent germer pendant une période de 12 semaines (Forest Restoration Research Unit, 2005; Garwood, 1983; Ng, 1980)). Par conséquent, la régénération des forêts dépend presque entièrement des graines qui sont dispersées dans les sites déboisés à partir des vestiges des forêts survivantes ou à partir des arbres isolés dans le paysage environnant.



### **Le recépage**

Certaines espèces d'arbres peuvent repousser à partir de vieilles souches d'arbres ou des fragments de racines de plusieurs années après la première coupe d'arbre (Hardwick *et al.*, 2000). Les bourgeons dormants autour du collet des racines d'une souche d'arbre peuvent pousser spontanément, en produisant souvent plusieurs nouvelles pousses. C'est ce qu'on appelle le recépage. Certaines des essences climaciques et pionnières peuvent repousser de cette façon. En utilisant les réserves alimentaires qui sont stockées dans les racines, les jeunes pousses issues du recépage peuvent se multiplier rapidement au-dessus des mauvaises herbes qui les entourent et qui ont une plus grande résilience au feu et au broutage que les plantules. Les grandes souches ont tendance à produire des pousses plus vigoureuses au plus grand nombre que les petites souches. En outre, les grandes souches survivent mieux au feu, au broutage et à la concurrence avec les mauvaises herbes que les plus petites, car les pousses sont généralement au-dessus de la hauteur de la perturbation. Par conséquent, la protection des souches d'arbres donne à la régénération des forêts un bon départ.

Cependant, les espèces d'arbres qui se régénèrent à partir des souches ne représentent généralement qu'une faible proportion de la communauté des essences forestières climaciques. Bien que ces arbres puissent accélérer le rétablissement de la structure des forêts, de nouvelles semences sont toujours essentielles pour restaurer l'intégralité de la richesse des essences de la forêt climacique.



Les souches d'arbres sont une source importante de régénération naturelle, en particulier dans les forêts récemment exploitées.

### **L'importance des arbres semenciers**

Tous les arbres commencent leur vie sous forme de graines, alors la succession forestière dépend finalement de la présence d'arbres fruitiers à côté. Dans un paysage fortement déboisé, certaines espèces d'arbres peuvent être représentées par quelques individus épars, isolés, qui ont en quelque sorte échappé à la tronçonneuse, ou il peut exister des parcelles de forêts résiduelles qui produisent des semences d'un grand nombre d'espèces d'arbres. Les arbres fruitiers fournissent non seulement des semences pour la régénération des forêts, mais également pour attirer les animaux frugivores disperseurs des graines. Par conséquent, dans un paysage déboisé, la protection de tous les arbres matures restants favorise beaucoup la régénération naturelle des forêts.

### **La dissémination des graines**

La dissémination des graines concerne toutes les graines qui tombent sur n'importe quel site en particulier, qu'elles y soient soufflées par le vent ou déposées par les animaux. La densité et la composition des graines des espèces d'arbres disséminées sur un site déboisé dépendent de la proximité des arbres fruitiers et de l'efficacité des mécanismes de dissémination des graines. La dissémination des graines est plus abondante et contient la plupart des espèces d'arbres à proximité de la forêt intacte, et est rare au centre des vastes étendues déboisées. La diminution de la dispersion des graines est une des causes les plus importantes de l'absence de régénération des forêts ou d'une faible biodiversité des espèces chez les communautés d'arbres qui colonisent les sites déboisés. Par conséquent, encourager la dispersion des graines est un aspect essentiel de la restauration des forêts.

### ***La dispersion des semences d'arbres par le vent***

Dans les régions tropicales humides, relativement peu d'espèces d'arbres produisent des graines dispersées par le vent. Celles qui le font sont généralement les plus grands arbres de la forêt, souvent émergents (par exemple, les diptérocarpacées). La dispersion par le vent est plus fréquente dans les régions tropicales saisonnières ou sèches, mais même là, moins de la moitié des espèces d'arbres sont dispersées par le vent (bien que ces espèces puissent représenter jusqu'à 60% du nombre total d'arbres (FORRU, 2005)).

Les graines dispersées par le vent ont tendance à être petites et légères, et elles ont souvent des ailes ou d'autres structures qui ralentissent leur chute, leur permettant d'être transportées par les courants d'air. La plupart est déposée à quelques centaines de mètres de l'arbre-mère, mais certaines sont soulevées par les vents forts et transportées sur de nombreux kilomètres. Afin de maximiser leurs distances de dispersion, de nombreuses essences tropicales dont les graines sont dispersées par le vent donnent des fruits à la fin de la saison sèche, lorsque les vitesses moyennes maximales de la rafales du vent sont les plus élevées. En conséquence, les espèces d'arbres dispersées par le vent sont capables de coloniser des sites déboisés sur une distance de 5 à 10 km à partir des sources de semences. Si les conditions du site permettent que de telles espèces s'établissent naturellement, il serait moins nécessaire de les intégrer dans des programmes de plantations d'arbres.

### ***La dispersion des graines par les animaux***

Avec les espèces vivant dans toutes les régions tropicales, les pigeons frugivores sont les «bêtes de somme» de la régénération des forêts naturel, en raison de leur capacité de dispersion de graines. Ici, les colombar chanteurs savourent les fruits de *Hovenia dulcis*.

La plupart des essences tropicales dépendent des animaux pour la dispersion de leurs graines. Les animaux frugivores retirent les graines ou les avalent, en les régurgitant ou déféquant plus tard, à une certaine distance de l'arbre mère (appelé dispersion «endozoochore»). Les fruits qui contiennent les graines dispersées par les animaux ont tendance à avoir des couleurs plus vives pour attirer les animaux et être charnus, produisant une récompense alimentaire aux animaux disperseurs de leurs graines.

La dispersion des graines des arbres forestiers dans les sites déboisés dépend des animaux qui se déplacent régulièrement entre les deux habitats. Malheureusement, peu nombreux sont les animaux de la forêt qui s'aventurent dans des zones ouvertes, de peur de s'exposer à des prédateurs. Mis à part les oiseaux et les chauves-souris, peu d'animaux effectuent un long déplacement entre l'ingestion d'un fruit et le rejet de la graine. En outre, de nombreuses graines sont broyées par des dents ou détruites par les sucs digestifs.



La taille maximale des graines qui peuvent être dispersées par un animal dépend de la taille de la bouche de l'animal. Les espèces animales de petite taille sont encore relativement répandues dans les régions tropicales, mais la plupart des espèces de plus grande taille, capables de disperser de grosses graines, sont maintenant rares ou ont été chassées. Dans le passé, les grands herbivores étaient sans doute les plus importants disséminateurs de graines provenant de la forêt des zones déboisées. Les éléphants, les rhinocéros, les tapirs, les bœufs sauvages et quelques cerfs consomment souvent des fruits dans la forêt, avant de s'aventurer dans des zones ouvertes la nuit pour brouter ou paître. Avec leurs grandes bouches, les longues durées de rétention et les longues distances qu'ils parcourent, ces animaux peuvent avaler la plus grande quantité de graines et les transporter sur de longues distances. L'élimination de la plupart de ces grands mammifères sur une grande partie de leurs anciennes aires de répartition au cours de ces dernières décennies empêche désormais la dispersion d'un grand nombre d'essences à grosses graines (Stoner & Lambert, 2007).

Parce que les oiseaux et les chauves-souris peuvent voler, ils peuvent disperser les graines sur de longues distances. Les

oiseaux forestiers tels que les aras, les perroquets, les calaos, les pigeons, les colombes, les corneilles frugivores, les geais, les tityras et les bulbul sont particulièrement importants parce que certaines espèces de ces groupes sont à l'aise aussi bien dans les sites forestiers que déboisés et elles peuvent disperser les graines entre les deux. Les chauves-souris frugivores sont également d'importants disséminateurs de graines, car elles volent sur des longues distances et laissent tomber les graines en plein vol. Contrairement à la plupart des oiseaux, les chauves-souris sont nocturnes et ne peuvent pas être identifiées à l'aide de jumelles. Par conséquent, peu de recherches ont été effectuées sur leur rôle dans la régénération des forêts. La recherche sur les chauves-souris constitue, par conséquent, une grande priorité pour l'amélioration des techniques de restauration des forêts. Les espèces de mammifères non volants qui restent relativement répandues et sont susceptibles de disperser des graines entre les forêts et les zones dégradées sont, entre autres, les cochons sauvages, les singes, les cerfs, les civettes et les blaireaux. Mais encore, en grande partie en raison de leurs habitudes nocturnes, très peu d'informations sont disponibles sur les capacités de dispersion de graines de ces animaux des projets de restauration avec des différents défis. des projets de restauration avec des différents défis.

### ***Sur quelle distance sont dispersées les graines?***

La plupart des semences d'arbres tombent à quelques mètres de l'arbre-mère, et la densité de l'«ombre des semences» d'un seul arbre décroît fortement avec l'éloignement de l'arbre. Néanmoins, selon Clark (1998), environ 10% des semences d'arbres sont dispersées sur des distances beaucoup plus longues de 1 à 10 km. On dispose de peu de connaissances sur la dispersion des graines sur de longues distances, car elle est très difficile à mesurer, mais elle est vitale pour le rétablissement de la biodiversité dans tout site de restauration qui est à plus de quelques centaines de mètres de la forêt intacte. En l'absence de la dispersion naturelle des graines sur de longues distances, les humains doivent collecter les graines de la forêt et à les «dispenser» dans des sites ciblés pour la restauration, afin de restaurer la communauté des essences forestières climatiques. La dispersion des graines faite par les humains peut être la seule façon de s'assurer que les essences à grosses graines sont représentées dans les forêts restaurées.

### **La prédation des graines**

Un seul arbre produit un grand nombre de graines au cours de sa vie, même si, pour son propre remplacement, il n'a besoin de produire qu'une seule graine qui pousse finalement pour devenir un adulte reproducteur mature. Cette grande production de semences est nécessaire parce que la plupart des graines tombent lorsque les conditions sont défavorables à la germination ou sont détruites par les animaux. Les réserves alimentaires riches contenues dans les graines en font des repas nutritifs pour les animaux. Certaines graines peuvent rester intactes tout en voyageant à travers le tube digestif des animaux, mais beaucoup d'autres sont mâchées et digérées.

La prédation des graines est la destruction du potentiel de germination quand un animal broie ou digère son embryon. Elle peut se produire lorsque les graines sont encore attachées à l'arbre-mère (prédation avant dispersion), pourtant elle a plus d'impact sur la régénération des forêts lorsque les graines déjà dispersées dans les zones déboisées sont avalées (prédation après dispersion).

### ***Les niveaux de prédation des graines***

La prédation des graines peut sérieusement limiter la régénération naturelle des forêts. Les niveaux de prédation des graines sont très imprévisibles, variant de 0% à 100%, en fonction des espèces d'arbres, de la végétation, de l'emplacement, de la saison et ainsi de suite. Dans les sites déboisés, la prédation des graines est généralement suffisamment forte pour réduire de façon significative la survie des semences de la plupart des essences (Hau, 1999), mais elle est faible au fur et à mesure que la canopée devient dense et que la régénération des forêts progresse. La prédation des graines affecte de manière significative à la fois la distribution et l'abondance des espèces d'arbres. Elle est également un facteur déterminant de l'évolution, contraignant les arbres à développer différents mécanismes morphologiques et chimiques pour défendre leurs semences contre les attaques, par exemple, les poisons, les téguments résistants et bien d'autres mécanismes.



### ***Les animaux frugivores dans la régénération des forêts***

Les petits rongeurs et les insectes, en particulier les fourmis, sont les prédateurs de graines les plus abondants, susceptibles d'affecter la régénération des forêts (Nepstad *et al.*, 1996; Sanchez-Cordero et Martínez-Gallardo, 1998). Les rongeurs se développent dans les mauvaises herbes et la végétation herbacée qui dominent la plupart des sites déboisés, mais leurs populations s'affaiblissent dès que la fermeture de la canopée commence pour l'ombrage des mauvaises herbes (Pena-Claros & De Boo, 2002). Les stades de succession plus jeunes supportent également mieux les densités élevées de fourmis que ceux les plus avancées (Vasconcelos & Cherret, 1995).

### ***La vulnérabilité des graines à la prédation***

La théorie écologique laisse entendre que la vulnérabilité de toute essence particulière à la prédation des graines dépend de la valeur alimentaire de ses graines. Les animaux doivent consommer les graines qui leur fournissent le maximum d'éléments nutritifs tout en exigeant le moins d'effort pour les trouver. Une plus grande attention a été accordée à l'influence de la taille des graines sur la vulnérabilité à la prédation. Les grosses graines offrent d'importantes récompenses alimentaires à ces prédateurs de graines qui sont capables de les transformer. Les animaux sont en mesure de localiser facilement les grosses graines, parce qu'elles sont plus visibles et dégagent plus d'odeur que les petites graines, mais les petits rongeurs ont des difficultés à gérer les très grosses graines. Par contre, les petites graines ont une faible valeur alimentaire et sont souvent négligées (Vongkamjan, 2003; Mendoza & Dirzo, 2007; Forget *et al.*, 1998). Plus longue est la période de dormance d'une graine dans le sol avant la germination, plus grande est la probabilité qu'un prédateur la découvre. Par conséquent, les graines qui ont de longues périodes de dormance présentent généralement des taux de prédation plus élevés.

La nature du tégument de la graine est importante dans la protection de cette dernière contre la prédation. Un tégument robuste, épais et lisse, rend très difficile l'accès des rongeurs au contenu des semences riches en nutriments. De faibles taux de prédation des graines aux téguments épais ou durs ont été remarqués pour de nombreuses essences forestières (par exemple, Hau, 1999; Vongkamjan, 2003). Il peut y avoir un compromis, cependant, entre les effets de l'épaisseur du tégument et la durée de la dormance sur la prédation des graines. Un tégument épais provoque souvent une dormance prolongée, ce qui prolonge la période pendant laquelle les graines sont exposées à l'attaque des prédateurs. Pourtant même le tégument le plus dur doit se ramollir juste avant la germination, en présentant une occasion aux prédateurs de graines. Vongkamjan (2003) a observé que les semences de plusieurs espèces d'arbres à téguments durs sont attaquées au cours de cette période de vulnérabilité.

Les dents de rats ne font qu'une bouchée de grosses graines, mais les rats peuvent agir comme des disséminateurs de graines minuscules.



Le mode de dispersion peut également influencer sur la probabilité de prédation. Il est difficile aux prédateurs de trouver les graines dispersées sur une grande surface (un mode qui résulte souvent de la dispersion par le vent), alors qu'un mode de dispersion groupée (caractéristique de la dispersion par les animaux) signifie qu'une fois une graine a été découverte, l'amoncellement entier sera dévoré. D'importantes cultures fruitières sporadiques peuvent surmonter ce problème en rassasiant les populations de prédateurs de graines: les prédateurs de graines ne peuvent pas probablement manger toutes les graines se trouvant dans de telles grandes cultures, ce qui permet ainsi à de nombreuses graines d'échapper à la prédation.

Quand il s'agit de la prédation des graines, la littérature abonde en déclarations contradictoires et des points de vue antagoniques. Les effets de la prédation des graines dépendent sans aucun doute des interactions complexes entre plusieurs variables, dont la nature de l'environnement, la disponibilité de sources alimentaires de substitution et les préférences individuelles des prédateurs ainsi que les capacités de ces derniers à manipuler les graines. Mais, la prédation des graines est certainement un facteur qui doit être pris en compte dans les projets de restauration des forêts, en particulier ceux qui comprennent l'ensemencement direct. Les modèles qui prédisent avec précision les effets globaux de la prédation des graines n'ont pas encore été mis au point; par conséquent, les effets de la prédation des graines doivent être évalués pour chaque site.

### La dormance des graines

Après avoir été déposée dans un site déboisé, une graine peut rester sans germination immédiate. La période de dormance est la durée pendant laquelle une graine mûre ne parvient pas à germer dans des conditions favorables. Elle permet la dispersion des graines au moment optimal, leur survie aux obstacles de la dispersion (tel que le fait d'être avalées par un animal), et puis leur germination lorsque les conditions sont favorables pour l'établissement des semis.

En général, les espèces d'arbres qui poussent dans les climats frais et secs sont plus susceptibles de produire des graines dormantes que celles qui poussent dans les climats plus chauds, plus humides. Par conséquent, la dormance est plus fréquente chez les essences feuillues et montagneuses que chez les essences à feuilles persistantes de plaine. Dans une enquête portant sur plus de 2.000 essences tropicales climaciques des forêts sempervirentes, semi-sempervirentes, décidues, de montagne et de savane, Baskin et Baskin (2005) ont signalé que 43%, 48%, 65%, 62% et 66% des espèces, respectivement, ont affiché une période de dormance de plus de 4 semaines. La dormance physiologique (développement inhibé de l'embryon) est le mécanisme le plus fréquent de la dormance chez les essences forestières à feuilles persistantes, semi-persistantes et montagneuses, tandis que la dormance physique (causée par des téguments imperméables qui limitent l'absorption de l'humidité et l'échange gazeux) est plus fréquente chez les essences forestières feuillues et celles des savanes.

### La germination

La transition de la graine à la plantule est une période délicate dans la vie d'un arbre. La dormance des graines doit se terminer et il faut qu'il y ait des niveaux d'humidité et de lumière appropriés pour déclencher la germination. En raison de sa petite taille, de ses faibles réserves énergétiques et de sa faible capacité photosynthétique, un jeune plant est très vulnérable aux changements des conditions environnementales, à la concurrence des autres plantes et aux attaques des herbivores. Une seule chenille peut complètement détruire un jeune plant en quelques minutes, tandis que les grandes plantes sont plus résistantes aux attaques.

### ***Le moment de la germination***

Dans les régions tropicales toujours humides près de l'équateur, où l'humidité du sol est élevée en permanence, les conditions pour la germination des graines restent favorables toute l'année. Mais dans les zones tropicales à saisons marquées, le période optimale de germination des semences d'arbres est courte après le début de la saison des pluies. Les plantules s'établissant au cours de cette période ont toute la durée de la saison des pluies pour constituer des réserves énergétiques et s'enraciner dans le sol. Un système racinaire étendu permet aux plants de survivre à la chaleur desséchante de leur première saison sèche en accédant à l'humidité stockée en profondeur du sol. Une autre raison pour que la germination commence au début de la saison des pluies est la libération d'éléments nutritifs du sol pendant cette période. Les incendies de la saison sèche libèrent des nutriments sous forme de cendres, que les premières pluies lessivent ensuite dans le sol. Avec l'augmentation de l'humidité du sol, la décomposition de la matière organique s'accélère, en libérant encore davantage de nutriments dans le sol.

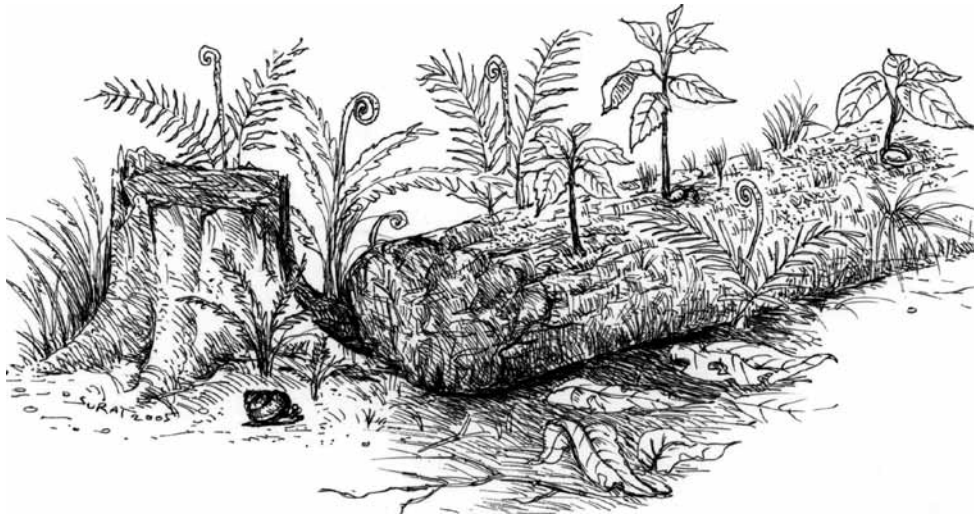
Bien que le nombre d'essences qui germent soit à son plus haut niveau au début de la saison des pluies, la dispersion des graines, au niveau de la plantation communautaire d'arbres, se produit tout au long de l'année. Ce phénomène s'explique par le fait que le temps optimal pour la dispersion des semences de chaque essence dépend d'une gamme variée de facteurs, tels que la disponibilité saisonnière des pollinisateurs, le temps nécessaire pour développement d'un fruit mûr à partir d'une fleur fécondée et la disponibilité saisonnière des disséminateurs. La variation de la durée de dormance des graines entre les espèces permet à chaque espèce de disperser ses graines au moment optimal, tout en germant à la période la plus favorable, au début de la saison des pluies. Par exemple, les graines qui sont dispersées au début de la saison des pluies ont tendance à avoir une très courte dormance ou à germer immédiatement, tandis que celles qui sont dispersées six mois plus tôt ont tendance à avoir une dormance d'environ 6 mois. Ce phénomène a été bien documenté à la fois pour l'Amérique centrale et l'Asie du Sud-Est (Garwood, 1983; Forest Restoration Research Unit, 2005) et il joue un rôle crucial dans la production des plants en pépinières (voir **Chapitre 6**).

### ***Conditions nécessaires à la germination***

La germination des graines dépend de nombreux facteurs, dont les plus importants sont la suffisance d'humidité et les bonnes conditions de lumière (non seulement les niveaux de luminosité, mais aussi la qualité de la lumière). Les grands sites déboisés, généralement dominés par la densité des mauvaises herbes, présentent un environnement hostile aux semences d'arbres. Sur ces sites, les températures fluctuent considérablement entre le jour et la nuit. L'humidité est faible, la vitesse des vents est plus élevée et les conditions du sol sont beaucoup plus sévères que celles d'une forêt. Beaucoup de graines sont étouffées par le feuillage des mauvaises herbes; dans ces conditions, elles se dessèchent et meurent, avant même d'atteindre le sol.

Même pour les semences qui passent à travers le feuillage des mauvaises herbes, les mauvaises herbes posent un autre problème. Un ratio élevé de lumière du rouge au rouge vif stimule la germination de nombre d'essences pionnières, en particulier celles aux petites graines (Pearson *et al.*, 2003). En absorbant proportionnellement plus de lumière rouge que de lumière rouge vif, un couvert végétal dense du feuillage des mauvaises herbes supprime ce stimulus essentiel. Par conséquent, la germination de la plupart des essences forestières dépend de la présence de ce qu'on appelle «microsites de germination», où les conditions sont favorables. Il s'agit de sites minuscules avec une couverture de mauvaises herbes réduite et une humidité du sol suffisante pour induire la germination des graines. Ces sites sont, entre autres, les termitières en décomposition, les rochers couverts de mousse et en particulier les bûches en décomposition. Ces dernières fournissent un excellent milieu riche en humidité et en éléments nutritifs pour la germination des graines et sont généralement exemptes de mauvaises herbes.





Des troncs d'arbres morts en décomposition constituent d'excellents microsites dans lesquels les graines d'arbres peuvent germer.

### ***Les animaux peuvent améliorer la germination des graines***

Le passage de semences à travers le système digestif d'un animal peut affecter à la fois le taux total de germination et le rythme de la germination. Pour la plupart des arbres tropicaux, le passage à travers l'intestin d'un animal n'a pas d'effet sur la germination, mais pour les espèces qui montrent une réaction, la germination est améliorée le plus souvent. Travaset (1998) a signalé que l'ingestion par les animaux a augmenté le taux de germination de 36% des essences examinées; elle a réduit le taux de germination de 7% seulement. Les graines de 35% des essences figurant dans l'étude ont germé plus rapidement après leur passage dans le tube digestif d'un animal; seulement 13% ont connu un retard de germination. Néanmoins, les réactions sont très variables: les semences d'espèces à l'intérieur d'un même genre, ou même provenant de différents individus de la même espèce, peuvent avoir des réactions différentes. Ainsi, la consommation de graines par les animaux peut être essentielle pour la dispersion, mais elle joue un rôle moins important dans l'amélioration de la germination.

### **L'établissement des plantules**

Après la germination d'une graine, les plus grandes menaces à la survie des plantules dans les zones déboisées sont la concurrence avec les mauvaises herbes, la dessiccation et le feu.

### ***Les mauvaises herbes peuvent étouffer la régénération***

Les zones déboisées sont généralement dominées par quelques espèces de graminées, d'herbes et d'arbustes qui nécessitent beaucoup de lumière. Ces plantes exploitent rapidement le sol et développent une couverture végétale dense, qui absorbe la majeure partie de la lumière disponible pour la photosynthèse. Les capacités d'une couverture végétale dense de mauvaises herbes à étouffer les nouvelles graines et à inhiber leur germination en altérant la qualité de la lumière ont déjà été mentionnées. Mais, même si les graines germent sous la couverture végétale des mauvaises herbes, les plantules qui émergent sont ensuite étouffées par les mauvaises herbes qui les prive de lumière, d'humidité et de nutriments.

Parce que les arbres se sont développés pour devenir grands, ils doivent dépenser beaucoup d'énergie et de carbone pour produire la substance ligneuse, la lignine, qui supporte leur future taille massive contre la gravité. Sans produire la lignine, les herbes peuvent croître beaucoup plus vite que les arbres. Ce n'est que quand la cime d'un arbre éclipse les mauvaises herbes environnantes, et que son système racinaire va au-delà de celui des mauvaises herbes, que cet arbre prend un avantage. À ce stade, les mauvaises herbes qui nécessitent beaucoup de

## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

lumière sont rapidement tuées par l'ombre de l'arbre. Pourtant, la concurrence des mauvaises herbes tue généralement les plants d'arbres bien avant qu'ils ne prennent le dessus sur les mauvaises herbes.

Les mauvaises herbes empêchent aussi la régénération des forêts en fournissant un combustible aux feux de la saison sèche. La plupart des mauvaises herbes herbacées survivent au feu grâce aux graines, bulbes ou tubercules enfouis dans le sol, ou alors elles (par exemple, les graminées) possèdent des points de croissance bien protégés qui repoussent après un incendie. Chez les arbres, les points de croissance sont non-protégés, situés à l'extrémité des branches. Par conséquent, lors d'un incendie, les jeunes plants sont souvent complètement incinérés par les feux intenses du fait des mauvaises herbes séchées et chaudes. La re-germination des plants plus âgés est possible, mais seulement après sa première année.

Les mauvaises herbes qui sont les plus capables d'étouffer la régénération des forêts sont presque toujours des espèces exotiques qui ont été délibérément introduites et qui sévissent maintenant dans les aires de répartition de leurs ennemis naturels. Beaucoup de mauvaises herbes en Afrique et en Asie proviennent de l'Amérique centrale ou du Sud. Plusieurs appartiennent aux familles des légumineuses et des astéracées (composées) et elles ont généralement en commun les caractéristiques suivantes: i) elles sont des plantes vivaces à croissance rapide qui fleurissent et donnent des fruits à un âge très jeune; ii) elles produisent un très grand nombre de graines (ou spores) qui peut survivre dans un état de dormance et donc s'accumuler dans la banque de graines du sol; iii) elles sont résilientes après avoir été brûlées (même si leurs parties aériennes peuvent être totalement détruites, elles peuvent se régénérer rapidement à partir du porte-greffe); iv) elles produisent des substances chimiques qui inhibent la germination des graines et/ou la croissance des plantules des espèces végétales (allélopathie), et v) elles peuvent aussi produire des substances chimiques qui sont toxiques pour les potentiels animaux disperses des graines. De nombreux cas de toxicité des plantes exotiques envahissantes nuisant au bétail sont connus, et ces plantes sont probablement aussi toxiques pour la faune. Certaines des espèces les plus répandues sont énumérées dans le **Tableau 2.2**.



Les graminées, la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) et les espèces de la famille Asteraceae (Compositae) (par exemple, *Chromolaena odorata* illustrée ici) sont parmi les mauvaises herbes tropicales les plus omniprésentes qui sont capables d'étouffer la régénération naturelle des forêts.

Tableau 2.2. Mauvaises herbes dominantes capables d'étouffer la régénération des forêts.

Espèces	Famille	Comportement	Origines	Exotique envahissante	Allélopathique	Toxique pour les ongulés	Observations
<i>Dicranopteris linearis</i>	Gleicheniaceae	Fougère grimpante	Asie, Afrique Australasie, Pacifique	—	Oui	Inconnu	Forme un fourré de 2m de hauteur sur un terrain nu dégradé. Non tolérante au feu ou à l'ombre.
<i>Chromolaena</i> spp.	Asteraceae (Compositae)	Herbe ou arbuste	Nouveau Monde	Afrique de l'Ouest, Asie, Australie	Oui	Oui	Syn. <i>Eupatorium</i> (Asteraceae (Compositae)). Graines dispersées par le vent.
<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	Arbuste, épineux et touffu	Nouveau Monde	Afrique centrale, Australie, Inde, Asie du Sud Est, Iles du Pacifique	Oui	Oui	Introduite comme plante ornementale. Fruits vénéneux, dispersés par les oiseaux. Résiste bien aux taillis.
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosae	Petit arbre	Belize, Mexique	Iles du Pacifique, Australie du Nord	Oui	Oui (en grandes doses)	Introduite pour la production de bois de feu, de fourrage et de biomasse. Le feu favorise la germination de leurs graines.
<i>Mikania micrantha</i>	Asteraceae (Compositae)	Plante grimpante	Nouveau Monde	Népal, Inde	Oui	Non	Introduite pour le camouflage militaire. Plante grimpante dispersée par le vent qui étouffe les arbres. Menace l'habitat des rhinocéros et des tigres au Népal.
<i>Mimosa pigra</i>	Leguminosae	Arbuste épineux	Nouveau Monde	Afrique, Inde, Asie du Sud Est, Australie, Iles du Pacifique	Oui	Non connu	Introduite pour la stabilisation des berges. Accumule des banques de graines denses. Se développe dans les zones humides et sur les sols perturbés.
<i>Pteridium aquilinum</i>	Dennstaedtiaceae	Fougère	Région pantropicale	—	Oui	Oui	A un effet comburant. Est résistante au feu. Cancérogène.
Graminées (ex. <i>Imperata</i> , <i>Pennisetum</i> , <i>Andropogon</i> , <i>Panicum</i> , <i>Phragmites</i> , <i>Saccharum</i> et plusieurs espèces d'autres genres)	Poaceae	Herbes	Nombreuses	Nombreuses	Quelques espèces	Non	A un effet comburant. Est résistante au feu.

### *Les prédateurs des semis*

En termes de biomasse et d'espèces, les insectes sont de loin les herbivores les plus abondants, mais dans les forêts tropicales, la plupart des espèces d'insectes ne mangent qu'une ou quelques espèces végétales. Par conséquent, les insectes herbivores ne sont capables d'occasionner une forte mortalité que chez les plants qui poussent près de l'arbre-mère. Ceci s'explique par le fait que les insectes qui sont attirés par les arbres-mères trouvent et mangent aussi les plantules poussant à côté (Coley & Barone, 1996). Dans les sites déboisés, toutefois, les petits plants épars sont beaucoup plus difficiles à trouver, donc les insectes herbivores entravent rarement la régénération des forêts.

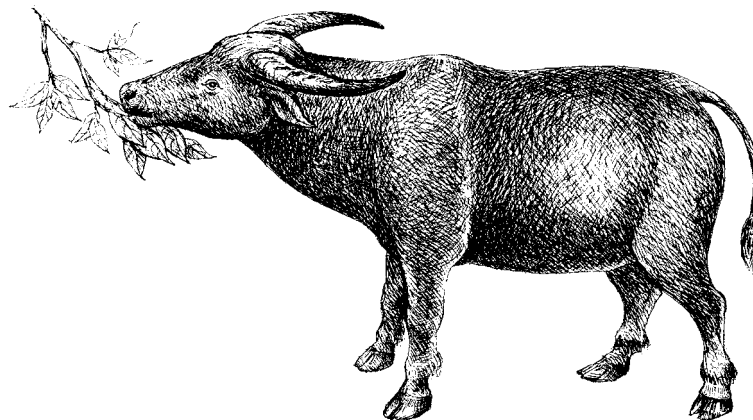
En revanche, les grands mammifères herbivores peuvent avoir un impact grave sur la régénération des forêts. Les grands herbivores sauvages, comme les éléphants, les rhinocéros et les bœufs sauvages, sont maintenant si rares qu'ils affectent rarement la régénération des forêts, sauf à l'échelle locale. Quant aux bovins domestiques, ils sont omniprésents et ils empêchent la régénération des forêts sur de grandes surfaces. Dans la plupart des pays tropicaux, il est fréquent de trouver des animaux domestiques parcourant librement les forêts dégradées. Leur impact sur la régénération des forêts dépend de la densité de la population. Un petit troupeau de bovins pourrait n'avoir aucun effet significatif (ou il pourrait même avoir un impact bénéfique), mais, là où les populations sont denses, il peut complètement arrêter la succession naturelle.

L'impact le plus évident des bovins est le broutage de la végétation des jeunes arbres. Les bovins peuvent être très sélectifs, mangeant souvent le feuillage des espèces d'arbres agréables au goût, tout en ignorant celles au goût désagréable. Les arbres au goût désagréable ou épineux peuvent ainsi devenir dominants, tandis que ceux qui sont comestibles sont progressivement éliminés. Les bovins peuvent également piétiner les jeunes plants sans discernement.

Les éventuels effets bénéfiques des bovins sont, entre autres, la réduction de la concurrence entre les mauvaises herbes et les plantules du fait du pâturage ou du broutage, même si, comme mentionné ci-dessus, plusieurs des mauvaises herbes typiques des sites déboisés contiennent des toxines qui les protègent contre les herbivores. Un autre effet potentiellement bénéfique du bétail pourrait être la dispersion des graines. Là où les grands ongulés sauvages ont disparu, les bovins domestiques peuvent être les seuls animaux présents capables de disperser les grosses graines de la forêt dans les trouées de lumière. En outre, les empreintes de leurs sabots peuvent fournir des microsites pour la germination des graines, dans lesquels l'humidité et les nutriments s'accumulent et les mauvaises herbes ont été écrasées.

L'équilibre entre ces effets positifs et négatifs et leur relation avec la densité du troupeau, les conditions du site et le type de végétation ne sont pas pleinement compris. Par conséquent, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour nous permettre de prévoir l'ensemble des effets du bétail sur la régénération forestière dans un site particulier.

Trop de bovins peuvent dévaster lentement une forêt en empêchant la régénération, mais ils peuvent aussi éliminer les mauvaises herbes et agir comme disséminateurs de graines.





### Le feu

Les incendies sont un obstacle majeur à la régénération des forêts. Des feux occasionnels de faible intensité peuvent ralentir la succession et modifier la composition et la structure de la végétation en cours de régénération (Slik *et al.*, 2010; Barlow & Pérés, 2007). Pourtant, des feux fréquents peuvent complètement empêcher la régénération, ce qui conduit à la persistance des prairies où les forêts auraient autrement poussé.

Les incendies peuvent se produire naturellement dans tous les types de forêts tropicales, même dans les plus humides. En Amazonie, au Bornéo et au Cameroun, des couches de dépôts de charbon de bois en profondeur dans le profil du sol montrent que les forêts tropicales ont été consumées par le feu au moins périodiquement au cours des derniers millénaires, à des intervalles de plusieurs centaines ou milliers d'années (Cochrane, 2003). Si l'on se réfère à l'histoire, ces incendies se sont limités à des périodes de sécheresses sévères, mais maintenant, la dégradation accrue des forêts, la fragmentation et les changements climatiques sont autant de facteurs qui augmentent la fréquence des feux, même dans les régions tropicales humides (Slik *et al.*, 2010). Les essences des forêts tropicales humides sempervirentes ont généralement une écorce mince, ce qui les rend très vulnérables aux dommages causés par le feu. Même les feux de faible intensité dans des forêts tropicales humides entraînent une mortalité élevée des arbres et des changements considérables et rapides de la composition en essences, en particulier là où les incendies se reproduisent à des intervalles courts (Barlow & Pérés, 2007).

C'est dans les régions tropicales saisonnièrement sèches *que* les incendies constituent la menace la plus répandue de la régénération des forêts. À la fin de la saison des pluies, la végétation adventice a souvent poussé plus haut la taille humaine devenant pratiquement impénétrable. Pendant la

Le feu peut consumer tous les types de forêts, mais il consomme régulièrement les forêts saisonnièrement sèches.



saison chaude, cette végétation meurt, se dessèche et devient hautement inflammable. Chaque fois qu'une forêt est consumée par le feu, la plupart des plantules qui prennent des racines avec les mauvaises herbes sont tués, tandis que les mauvaises herbes et les graminées survivent, repoussent à partir des racines en attente ou des graines protégées sous le sol. Ainsi, la végétation riches en mauvaises herbes crée des conditions propices aux feux et, ce faisant, empêche la mise en place des arbres qui pourraient mettre des ombres aux mauvaises herbes. La rupture de ce cycle est la clé de la restauration des forêts tropicales saisonnièrement sèches.

### ***Les causes du feu***

Les incendies peuvent être provoqués par des phénomènes naturels comme la foudre et les éruptions volcaniques. Mais, ces incendies naturels sont rares, ce qui laisse beaucoup de temps aux arbres entre chaque catastrophe de pousser suffisamment pour développer une certaine résistance au feu. Cependant, de nos jours, la plupart des feux sont allumés par l'homme. La raison la plus ordinaire pour ces feux anthropiques est le défrichage des terres pour les cultures. Les feux se propagent et atteignent les régions environnantes, où ils tuent les jeunes arbres, en empêchant effectivement la régénération des forêts. Les incendies sont également utilisés comme une arme dans les différends fonciers, pour stimuler la croissance des graminées pour le bétail et pour attirer les animaux sauvages pour la chasse. En plus des dommages écologiques, les incendies sont un risque sanitaire majeur. La pollution par la fumée provoque des problèmes respiratoires, cardiovasculaires et oculaires chez des centaines de milliers de personnes chaque année.

Les feux d'origine humaine sont en augmentation partout sous les tropiques, à la fois en termes de fréquence et d'intensité. La cause sous-jacente est la croissance de la population humaine qui nécessite le défrichage de toujours plus de terres agricoles. Il en résulte la fragmentation des zones forestières, ce qui expose davantage les lisières des forêts où les incendies peuvent se propager à partir des zones environnantes. Dans les fragments de forêts, la dégradation crée plus de conditions propices aux incendies en ouvrant le couvert forestier. Cela permet aux herbes hautement inflammables de profiter de la lumière, et d'envahir le milieu aussi bien qu'au bois mort de s'entasser. En outre, le changement climatique global se traduit par des conditions plus chaudes et plus sèches qui favorisent le feu dans de nombreuses régions tropicales, en particulier pendant la saison sèche.

### ***Les effets du feu sur la régénération***

Des incendies fréquents réduisent à la fois la densité et la richesse en espèces des communautés de plantules et de jeunes plants (Kodandapani et al., 2008). Le feu réduit la dispersion de graines (en tuant les arbres producteurs de semences) et l'accumulation de graines viables dans la banque de graines du sol. Le feu favorise la mise en place des essences pionnières transportées par le vent et à forte demande de lumière au détriment des espèces climaciques tolérantes à l'ombre (Cochrane, 2003; Meng, 1997; Kafle, 1997). Le feu consomme la matière organique du sol, conduisant à une réduction de la capacité de rétention de l'humidité par le sol (plus le sol est sec, moins il est favorable à la germination des semences d'arbres). Il réduit également les nutriments du sol. Le calcium, le potassium et le magnésium se perdent sous forme de fines particules dans la fumée, tandis que l'azote, le phosphore et le soufre se perdent sous forme de gaz. En détruisant la végétation, le feu augmente l'érosion du sol. Il tue aussi les microorganismes bénéfiques du sol, en particulier les champignons mycorhiziens et les microbes qui décomposent la matière organique morte et recyclent les nutriments. Les études de comparaison entre les zones fréquemment consumées par le feu et celles qui sont protégées contre les incendies montrent que la prévention des incendies accélère la régénération des forêts.

### ***Le feu et la germination***

L'exposition directe au feu tue les semences de la grande majorité des essences tropicales ou réduit de manière significative leur germination. Les graines se trouvant à la surface du sol sont presque toutes tuées par les incendies, même de faible intensité, mais celles qui sont enterrées

même à quelques centimètres dans le sol peuvent généralement survivre (Fandey, 2009). La germination d'un très petit nombre d'espèces d'arbres peut, toutefois, être stimulée par le feu. Si le feu perturbe le tégument de la graine sans tuer l'embryon, l'eau entrant dans la graine peut déclencher la germination, et les substances présentes dans la fumée ou provenant du bois carbonisé peuvent parfois stimuler chimiquement la germination. Parmi les essences dont la germination peut être stimulée par le feu, figurent le bois de teck (*Tectona grandis*) et quelques arbres légumineux des forêts tropicales sèches (Singh & Raizada, 2010).

### **Le feu tue-t-il les arbres?**

Les plantules et les jeunes arbres sont généralement tués par le feu, mais les plus grands arbres peuvent survivre aux feux occasionnels de faible intensité (c.-à-d. les feux se limitant à la litière des feuilles ou à la végétation au sol). Alors, quel doit-être le niveau de croissance d'un arbre pour pouvoir survivre à un incendie? L'épaisseur de l'écorce, plutôt que le taux de croissance global, semble être le principal facteur de survie (Hoffman *et al.*, 2009; Midgley *et al.*, 2010). Les grands arbres ont une écorce épaisse, qui fait isoler leur système vasculaire vital (le cambium) de la chaleur des feux, alors ils survivent mieux que les petits arbres. A titre indicatif, les arbres avec une écorce de 5 mm d'épaisseur ont plus de 50% de chance de survie après un incendie de faible intensité (Van Nieuwstadt & Sheil, 2005). Pour qu'une écorce de cette épaisseur se développe les arbres doivent atteindre au moins 23 cm de diamètre à hauteur de poitrine d'homme (dhp), ce qui prend un minimum de 8 à 10 ans. Par conséquent, il est probable que la régénération des forêts soit sévèrement entravée là où les incendies se produisent plus fréquemment qu'une fois tous les 8 ans. En général, les arbres de forêts humides sempervirentes ont une écorce relativement mince, et sont donc plus vulnérables aux dommages causés par le feu que ceux des forêts saisonnièrement sèches ou sèches décidues (Slik *et al.*, 2010).

Même si le feu tue les parties aériennes d'un arbre, les racines isolées de la chaleur par le sol peuvent encore survivre. Les réserves alimentaires stockées dans les racines peuvent alors être mobilisées pour soutenir la croissance des rejets (ou taillis) à partir des bourgeons dormants à proximité du collet des racines ou de la tige (bourgeons gourmands). La capacité de re-germination varie beaucoup entre les espèces et est plus fréquente chez les essences forestières décidues que chez les essences sempervirentes des forêts humides. Habituellement, un arbre doit croître pendant au moins un an avant de pouvoir se re-germer. Ainsi, des incendies fréquents réduisent également les chances de régénération des forêts à partir de la re-germination.

## **2.3 Le changement climatique et la restauration**

Les changements climatiques menacent sévèrement les forêts tropicales, réduisant les aires bioclimatiquement appropriées pour certaines espèces (Davis, 2012) et augmentant les risques de dépérissement à grande échelle des forêts dans certaines régions (Nepstad, 2007). Les négociations internationales ont lamentablement échoué pour faire passer l'économie mondiale dépendante du carbone à une économie neutre en émission de carbone (mais se poursuivent). La combustion de combustibles fossiles et la destruction des forêts tropicales continuent toutes deux à un rythme croissant. Donc, il semble inévitable que les concentrations de dioxyde de carbone, de méthane et d'autres gaz à effet de serre vont augmenter au cours des prochaines décennies (GIEC, 2007).

La relation entre l'augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique est bien établie. Par conséquent, les prévisions du réchauffement à venir dépendront des futurs niveaux des émissions de gaz à effet de serre, qui, à leur tour, dépendent de la taille de la population humaine et de l'activité économique. Les modèles informatiques prévoient que, avec une croissance économique modérée et l'adoption rapide de technologies vertes, l'air en surface se réchauffera de 1,8°C en moyenne (intervalle de variation 1,1 à 2,9°C) d'ici la fin de ce siècle. Mais, avec la croissance économique rapide et la dépendance continue en combustibles

## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

fossiles, cette «meilleure estimation» grimpe jusqu'à 4,0°C (intervalle de variation 2,4 à 6,4°C) (GIEC, 2007). Ce qui est absolument évident, c'est que des mesures d'extrême urgence sont désormais nécessaires pour faire face à ces changements climatiques sans précédent.

Le régime des précipitations va aussi changer, les avis sont partagés entre les météorologues concernant le rythme. Le réchauffement atmosphérique se traduira par une plus grande évaporation des plans d'eau et du sol, faisant en sorte que certaines régions deviennent plus arides. Dans ces zones, les feux de forêt deviendront plus fréquents, en ajoutant encore plus de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. D'autre part, l'augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère doit se traduire par davantage de précipitations dans l'ensemble, mais les changements dans les courants atmosphériques à l'échelle planétaire sont incertains, ce qui fait qu'il y a un désaccord sur le moment et le lieu où il y aura augmentation des précipitations. Les derniers modèles informatiques prévoient que les précipitations augmenteront dans les régions tropicales de l'Afrique et de l'Asie et diminueront légèrement dans les régions tropicales de l'Amérique du Sud (près de +42, +73 et -4 mm par an, respectivement, avec un réchauffement de 2°C; doublez ces valeurs avec un réchauffement de 4°C) (Zelazowski *et al.*, 2011). Dans les zones tropicales à saisons marquées, les

Selon les prévisions, le changement climatique devrait se traduire par la diminution des précipitations en Amérique du Sud où, pendant les années de sécheresse, notamment en 2005 et 2010, des zones de la forêt amazonienne sont passées du statut de puits de carbone à celui de source de carbone.





## 2.3 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA RESTAURATION

saisons sèches deviendront très probablement plus sèches et les saisons de pluies plus humides. La plupart des modèles informatiques prévoient une augmentation des précipitations pendant la saison de la mousson estivale en Asie du Sud et du Sud-Est et en Afrique de l'Est (GIEC, 2007). Les sécheresses peuvent également provoquer plus d'émissions de dioxyde de carbone que d'absorptions chez les forêts tropicales (en raison de la mort d'arbres et du feu), aggravant ainsi le problème des émissions de gaz à effet de serre (Lewis *et al.*, 2011).

Ces changements climatiques planétaires peuvent modifier à la fois la distribution des types de forêts et les mécanismes de régénération des forêts décrits ci-dessus. Le type de forêt climacique dépendant du climat, les changements de température et de précipitations vont modifier le type de forêt climacique adapté à un site particulier. L'achèvement de la formation d'une forêt climacique est le but ultime de la restauration, et ainsi le changement climatique aura des conséquences profondes pour la planification et l'exécution des projets de restauration forestière (voir **Section 4.2**). Les derniers modèles prévoient que les zones d'Amérique du Sud qui ont actuellement un climat capable de supporter les forêts tropicales humides vont se rétrécir sensiblement, tandis que de telles zones s'étendront en Afrique et en Asie du Sud-Est (Zelazowski *et al.*, 2011). En Amérique du Sud, les anciennes forêts fluviales humides pourraient devenir des forêts saisonnièrement sèches ou même des savanes. En revanche, en Afrique, et en Asie du Sud-Est, il est improbable que les forêts tropicales humides s'étendent naturellement dans de nouvelles zones humides à cause de la dispersion des graines limitée, de l'occupation et de l'utilisation actuelles des terres. Le changement climatique affectera aussi la distribution des types de forêts de montagne. Dans les zones plus sèches, les températures plus élevées pourraient permettre aux types de forêts sèches de se développer sur des montagnes plus hautes<sup>1</sup>, en déplaçant les forêts sempervirentes, mais là où les précipitations augmentent, la forêt sempervirente pourrait s'étendre à des altitudes plus basses.

Les effets du réchauffement climatique sur les mécanismes de régénération des forêts seront également importants. Les changements climatiques, en particulier les changements de saisons, se traduiront par les changements des périodes de floraison et de fructification des plantes, ainsi que des cycles de vie des pollinisateurs et des disséminateurs des graines. Ceci pourrait se traduire par un «dé-couplage» des mécanismes de reproduction. Par exemple, les fleurs s'ouvrent lorsque leurs insectes pollinisateurs ne volent pas. D'autre part, la pollinisation et la dispersion des graines par le vent pourraient bénéficier du réchauffement climatique, car les vitesses des rafales du vent et la fréquence des tempêtes capables de soulever même les grosses graines dispersées par le vent vont toutes deux augmenter. La germination et le développement des semis précoces sont à la fois très sensibles aux niveaux de température et d'humidité. Ils sont également particulièrement vulnérables à la propagation des mauvaises herbes, des ravageurs et des maladies qui sont favorisés par le changement climatique.

Une augmentation des feux, avec tous les impacts associés décrits ci-dessus, semble inévitable, en particulier dans les zones qui devraient devenir plus sèches en Amérique du Sud. Dans ces zones, ces feux plus fréquents devraient apporter des «changements substantiels dans la structure et la composition des forêts, avec des changements en cascade de la composition des forêts après chaque nouvel incendie» (Barlow & Pères, 2007).

### La nature a-t-elle besoin d'aide?

Certaines personnes estiment qu'il faudrait laisser les sites déboisés se reconstituer naturellement et que la restauration forestière est une «intervention contraire à la nature». Ce point de vue méconnaît que la situation actuelle dans la plupart des grandes zones déboisées est loin d'être «naturelle». Les êtres humains n'ont pas seulement détruit la forêt, mais ils ont également détruit les mécanismes naturels de régénération des forêts. Tous les obstacles à la régénération des forêts décrits dans ce chapitre sont causés par les humains. La chasse menace la dispersion

<sup>1</sup> Leur température limite supérieure idéale augmentera, en moyenne, de près de 100 m d'altitude pour chaque augmentation de 0,6°C de la température.

## CHAPITRE 2 COMPRENDE LES FORÊTS TROPICALES

des graines par les animaux. La plupart des incendies de forêt sont d'origine anthropique et les êtres humains introduisent de nombreuses mauvaises herbes envahissantes qui empêchent aujourd'hui l'établissement des plantules. La restauration des forêts n'est qu'une tentative pour supprimer ou surmonter ces obstacles «peu naturels» à la régénération des forêts.

Même dans les circonstances les plus favorables, la régénération naturelle des forêts se produit lentement. Dans son texte de référence, *The Tropical Rain Forest*, P.W. Richards (1996) a procédé à un examen approfondi de la succession forestière sous les tropiques. Il a conclu: «si le stade de succession est laissé au repos, la succession aboutit finalement à la restauration de la forêt semblable au climax climatique. Ce processus ... prend sans doute plusieurs siècles, même lorsque la superficie défrichée ne représente qu'une faible portion de la forêt intacte.»

Les taux de perte de biodiversité et de changement climatique, sans précédent, nécessitent une action urgente. Attendre des siècles pour que les forêts se régénèrent naturellement n'est plus une option s'il faut sauver les espèces menacées d'extinction ou s'il faut que le stockage du carbone par les forêts ait un impact sur le changement climatique. Les problèmes d'origine humaine exigent des solutions proposées par l'homme... et la restauration des forêts est l'une d'entre elles.



Un paysage montagneux dégradé. La dégradation des bassins versants, l'érosion des sols et les glissements de terrain menacent l'agriculture. Des arbres résiduels isolés, des fragments de forêt, accrochés aux crêtes montagneuses, peuvent encore fournir des semences pour la restauration des forêts, mais sans restauration active, ce paysage, sa faune et ses communautés ont un avenir appauvri.