

CHAPITRE 7

PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

L'extraction d'un arbre de son conteneur suivi de sa plantation dans le sol est probablement l'image archétype de la restauration forestière. Cette opération représente l'aboutissement de plusieurs mois de planification, de collecte de graines et de travail en pépinière. Cependant, elle ne constitue pas la phase finale du processus de la restauration forestière. Les sites déboisés sont des lieux difficiles – exposés, chauds et ensoleillés – souvent avec une alternance de dessèchement et d'engorgement d'eau. Si les arbres ne reçoivent pas suffisamment de soins et d'entretien au cours des deux premières années après la plantation, beaucoup mourront et les efforts consacrés à leur production resteront en vain. La main-d'œuvre et les matériels nécessaires qui garantissent les bonnes performances des arbres plantés sont souvent sous-estimés.

Souvent, les budgets s'épuisent ou la main-d'œuvre devient indisponible, ce qui entraîne parfois l'échec du projet et la nécessité de tout recommencer. Par conséquent, la réduction de l'entretien post-plantation constitue une fausse économie. Le suivi est une autre tâche souvent négligée qui s'avère pourtant importante, non seulement pour fournir des données sur la survie et la croissance des arbres, mais aussi pour tirer des leçons des succès et des échecs passés. Le suivi constitue désormais un volet obligatoire de tous les projets de restauration qui sont financés par le marché du carbone.

7.1 Préparatifs de la plantation

Optimisation du calendrier de la plantation d'arbres

Le moment optimal pour la plantation d'arbres dépend de la disponibilité en eau du sol. Dans les régions qui ont un climat saisonnier, il est recommandé de planter les arbres au début de la saison des pluies, une fois que les précipitations sont devenues régulières et considérables. Cela donne aux arbres le maximum de temps pour développer un système racinaire qui pénètre profondément dans le sol, leur permettant d'obtenir suffisamment d'eau pour survivre à la première saison sèche après la plantation. Là où les pluies sont plus uniformément réparties pendant toute l'année (c.-à-d. 100 mm de précipitation mensuelle), il est possible de planter les arbres à tout moment.

Préparation du site de restauration

Tout d'abord, prenez des mesures pour protéger les arbres résiduels, les plantules et les jeunes arbres issus de la régénération naturelle, ou les souches d'arbres vivants. Inspectez soigneusement les parcelles, tenant compte de la présence des petits plants d'arbres qui pourraient être cachés par les mauvaises herbes. Placez un poteau de bambou de couleur vive à côté de chaque plante et utilisez une houe pour enlever les mauvaises herbes en formant un cercle de 1,5 m de diamètre autour de chaque plante. Cela permet aux ouvriers de repérer facilement les sources naturelles de régénération de la forêt, de manière à éviter de les endommager lors du sarclage ou de la plantation d'arbres. Faites comprendre à tous ceux qui travaillent dans les parcelles l'importance de la préservation de ces sources naturelles de la régénération forestière.

Environ 1 à 2 semaines avant la date de plantation, désherbez l'ensemble du site afin d'améliorer l'accès et de réduire la concurrence entre les mauvaises herbes et les arbres (à la fois plantés et naturels). La technique de mise sous presse des mauvaises herbes, souvent utilisée pour la RNA, détaillée dans la **Section 5.2**, pourrait être efficace pour les sites dominés par les graminées et les herbes molles (non ligneuses). Dans le cas où la mise sous presse des mauvaises herbes est inefficace, ces dernières doivent être déracinées. Coupez les mauvaises herbes jusqu'à une taille d'environ 30 cm, puis déterrez-les avec une houe et laissez-les sécher sur la surface du sol. Assurez-vous de toujours se munir d'une trousse de premiers soins pour faire face à tout accident.

Déracinement des mauvaises herbes

Le simple débroussaillage favorise la repousse de bon nombre d'espèces de mauvaises herbes. En repoussant, les mauvaises herbes absorbent plus d'eau et de nutriments du sol que si elles n'avaient jamais été coupées dans un premier temps. Cela intensifie réellement la compétition racinaire entre les mauvaises herbes et les arbres plantés, au lieu de la réduire. Donc, le déracinement des mauvaises herbes est essentiel, même si le coût des mains d'œuvre est élevé. Malheureusement, le déracinement perturbe également le sol, ce qui augmente le risque d'érosion. En outre, il y a un risque important de couper accidentellement les plantules ou les jeunes arbres issus de la régénération naturelle. Pour ces raisons, et pour réduire les coûts de main-d'œuvre, il est recommandé d'utiliser le glyphosate pour nettoyer les parcelles de plantation (mais PAS pour le sarclage après la plantation).

Utilisation d'un herbicide

L'utilisation d'un herbicide systémique à large spectre à action lente, comme le glyphosate (disponible sous diverses formulations) peut considérablement augmenter l'efficacité du sarclage, réduire les coûts et éviter la perturbation du sol. De tels herbicides tuent la plante entière, et empêchent ainsi sa régénération rapide par croissance végétative.



Attendez que les mauvaises herbes coupées commencent à repousser avant de répandre d'un herbicide non résiduel, tel que le glyphosate, sur elles. Portez des vêtements de protection appropriés selon les directives de la fiche d'information accompagnant le produit – habituellement des gants, des lunettes de sécurité, des bottes en caoutchouc et des vêtements imperméables.

Coupez les mauvaises herbes pour ramener leur hauteur au dessous du genou, au moins 6 semaines avant la date de plantation. Laissez la végétation coupée sur place, car elle aidera à protéger le sol contre l'érosion et peut ensuite être utilisée comme paillis autour des arbres plantés. Attendez au moins 2 à 3 semaines pour que les mauvaises herbes commencent de nouveau à croître, puis pulvérisez du glyphosate sur les nouvelles pousses.

Comment fonctionne le glyphosate?

Le glyphosate tue la plupart des plantes, seules quelques espèces lui sont résistantes. Il se décompose rapidement dans le sol (c'est-à-dire qu'il n'est pas résiduel) et donc, contrairement à certains autres pesticides (par exemple, le DDT), il ne s'accumule pas dans l'environnement. Le produit chimique est absorbé par les feuilles et se déplace vers toutes les autres parties de la plante, y compris les racines. Les mauvaises herbes meurent lentement, brunissent progressivement pendant 1 à 2 semaines, et elles peuvent seulement recoloniser le site à partir de la germination des graines. Cela prend plus de temps que la re-germination à partir des pousses coupées. Ainsi, les arbres nouvellement plantés ont environ 6 à 8 semaines de liberté sans la concurrence avec les mauvaises herbes. Pendant ce temps, les racines des arbres peuvent coloniser des sols ultérieurement occupés dans leur intégralité par les racines des mauvaises herbes.

Comment devrait être appliqué le glyphosate?

Appliquez les herbicides pendant un temps sec et sans vent pour éviter leur dérive sur les plants d'arbres issus de la régénération naturelle. Ne pulvérisez pas si la pluie est annoncée dans les 24 heures après l'application. Quelques heures après la pulvérisation, la pluie et même la rosée rendent le produit chimique inefficace.

Les grandes pompes montées sur des camionnettes et les longs tuyaux qui sont utilisés pour pulvériser les cultures pourraient être disponibles dans les communautés agricoles, mais ils n'ont pas la précision nécessaire pour éviter de pulvériser les plantes issues de la régénération naturelle. Par conséquent, nous recommandons à la place l'utilisation des réservoirs dorsaux d'une capacité 15 litres, munis de pulvérisateurs orientables, montés sur des tubes-rallonges.

Versez 150 ml du concentré de glyphosate dans un pulvérisateur dorsal muni d'un réservoir de 15 litres et ajouter de l'eau propre jusqu'à la marque indiquant 15 litres. Vous devrez répéter ceci 37 à 50 fois (en utilisant 5,6 à 7,5 litres de concentré) par hectare. Vous devez également y ajouter un agent mouillant pour faciliter l'absorption de la substance chimique par les mauvaises herbes.

Vérifiez la direction du vent et travaillez avec le vent derrière vous, de sorte que le jet d'herbicide est soufflé vers l'avant plutôt qu'en arrière dans votre visage. Pressez sur le réservoir dorsal avec la main gauche et manipulez le pulvérisateur avec la main droite. Utilisez une faible pression pour produire de grosses gouttelettes, qui s'infiltreront rapidement dans le sol, avant qu'elles ne puissent dériver très loin. Parcourez lentement le site, en pulvérisant des bandes de 3 m de large en faisant des balayages doux de gauche à droite devant vous. Si vous avez accidentellement pulvérisé une plantule ou un jeune arbre, arrachez immédiatement les feuilles sur lesquelles les gouttes de l'herbicide sont tombées de telle sorte que le produit chimique ne soit pas absorbé par la plante et transporté vers les racines. Pour éviter de pulvériser la même zone deux fois, ajoutez un colorant au glyphosate, de sorte que vous pouvez voir où vous avez déjà pulvérisé. Si vous avez accidentellement pulvérisé le produit chimique sur votre peau ou dans les yeux, rincer abondamment à l'eau et consultez un médecin.

Dès que possible après la pulvérisation, prenez une douche et lavez tous les vêtements portés lors de la pulvérisation. Nettoyez tous les équipements utilisés (sacs à dos, bottes et gants) avec de grandes quantités d'eau propre. Faites en sorte que les eaux usées ne s'écoulent pas dans une source d'approvisionnement en eau potable; laissez ces eaux s'infiltrer lentement dans un puisard ou dans le sol où il n'y a pas de végétation, loin de tout cours d'eau.

Le glyphosate est-il dangereux?

Selon «the United States Environmental Protection Agency (EPA)» (l'Agence américaine de protection environnementale) le glyphosate a une toxicité relativement faible et n'a pas d'effets cancérigènes. Se décomposant rapidement dans l'environnement, il ne s'accumule pas dans le sol et il est jugé moins dangereux par rapport à d'autres herbicides et pesticides. Néanmoins, si les consignes de sécurité de base sont ignorées, le glyphosate peut nuire à la santé des personnes et à l'environnement; il est donc recommandé de lire les instructions fournies par le fournisseur avant de l'utiliser et de les suivre attentivement. L'ingestion de la solution concentrée peut être mortelle.

Lorsqu'il est dilué aux fins d'utilisation, le glyphosate a une faible toxicité pour les mammifères (y compris les humains), mais il est toxique pour les animaux aquatiques; il ne faut donc pas nettoyer aucun matériel contaminé dans les ruisseaux ou les lacs. Des travaux de recherche commencent également à montrer que le glyphosate peut affecter les organismes du sol. Ces effets mineurs potentiellement néfastes de ce produit chimique sur l'environnement doivent, cependant, être comparés aux conséquences nuisibles à long terme de la non-restauration des écosystèmes forestiers. Le glyphosate est utilisé une seule fois, au début du processus de restauration de la forêt. L'utilisation des herbicides après la plantation d'arbres n'est pas recommandée (en. wikipedia.org/wiki/Glyphosate).

Le feu ne devrait pas être utilisé pour le nettoyage des parcelles

Le feu détruit tous les jeunes arbres naturellement en place tout en stimulant la repousse de certaines graminées vivaces et d'autres mauvaises herbes. Il tue également les micro-organismes bénéfiques tels que les champignons mycorhiziens et empêche l'utilisation des mauvaises herbes coupées comme paillis. Si le feu est utilisé, la matière organique est brûlée et les nutriments du sol se perdent dans la fumée. En outre, les feux qui visent à nettoyer une parcelle de plantation peuvent se propager en échappant à notre contrôle et alors endommager la forêt ou les cultures à proximité.

Combien de jeunes arbres devrait-on introduire?

La densité finale combinée des arbres plantés et de ceux établis naturellement devrait être d'environ 3.100 par ha, de sorte que le nombre requis de jeunes arbres livrés devrait être ce chiffre moins le nombre d'arbres établis naturellement ou de souches d'arbres vivants estimé au cours de l'étude du site (voir **Section 3.2**). Cela se traduit par un espacement moyen d'environ 1,8 m entre les jeunes arbres plantés ou par la même distance entre les jeunes arbres plantés et les arbres établis naturellement (ou souches vivantes). Cet espacement est beaucoup plus étroit que celui utilisé dans la plupart des plantations forestières commerciales, car l'objectif est la fermeture rapide du couvert qui ombragera les mauvaises herbes et éliminera les coûts de sarclage. L'ombre est l'herbicide le plus rentable et le plus écologique. La plantation d'une faible quantité d'arbres se traduit par la nécessité continue du sarclage pendant de nombreuses années et, par conséquent, augmente le coût total de main-d'œuvre jusqu'à l'atteinte de la fermeture du couvert.

L'espacement utilisé entre les arbres dans la restauration des forêts est également plus étroit que celui entre les arbres dans la plupart des forêts naturelles, de sorte qu'une certaine éclaircie concurrentielle aura lieu. Ceci offre à l'écosystème restauré une première source de bois mort, une ressource vitale pour de nombreux champignons et insectes forestiers. Planter à des densités encore plus élevées est contre-productif, car cette pratique laisse trop peu de place pour l'établissement de nouvelles essences recrutées et, par conséquent, retarde le rétablissement de la biodiversité (Sinhaseni, 2008).

Combien d'espèces d'arbres faudrait-il planter?

Pour une parcelle dont la dégradation se situe au stade 3, comptez le nombre d'espèces d'arbres qui sont bien représentées par les sources de la régénération naturelle enregistrées dans l'étude du site (voir **Section 3.2**) et ajoutez suffisamment d'espèces pour avoir au moins 30, soit environ 10% de la richesse spécifique estimée (si elle est connue) du type forestier cible (voir **Section 4.2**). Pour une parcelle dont la dégradation se situe au stade 4, plantez autant que possible d'espèces du type forestier cible. Les peuplements d'arbres nourriciers peuvent être des monocultures d'espèces individuelles ou des mélanges de quelques espèces (par exemple *Ficus* spp + légumineuses; voir **Section 5.5**).

Transport des jeunes arbres

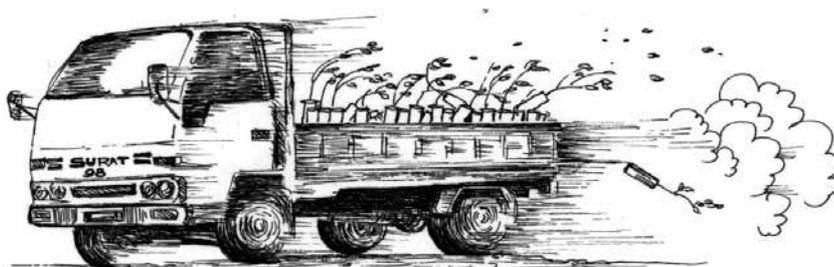
Les jeunes arbres sont très vulnérables, en particulier au vent et à l'exposition au soleil, une fois en dehors de la pépinière. Prenez donc soin d'elles lors de leur transport vers le site. Sélectionnez ceux qui sont les plus vigoureux en pépinière après classement et endurcissement (voir **Section 6.5**). Étiquetez ceux que vous comptez inclure dans votre programme de suivi, puis placez toutes les jeunes arbres debout (de façon à empêcher tout émiettement du terreau) dans des paniers solides. Arrosez les jeunes arbres juste avant leur chargement dans le véhicule, et transportez-les vers la parcelle de plantation la veille de la plantation.

Si des sacs en plastique sont utilisés comme récipients de croissance, ne les serrez pas trop dans le véhicule au point de leur faire perdre leur forme. En outre, il faut éviter d'empiler les conteneurs (récipients) les uns sur les autres, car cela écrase les pousses et brise les tiges. Si un camion ouvert est utilisé, couvrez les jeunes arbres avec un filet de protection solaire pour les protéger contre les dégâts du vent et de la déshydratation. Roulez lentement. Une fois arrivé aux parcelles de plantation, placez les jeunes arbres en position verticale sous l'ombre et, si possible, arrosez-les légèrement à nouveau. Il est plus prudent de les garder dans les paniers, du moment que cela facilite leur transport à travers la parcelle le jour de plantation.

Protégez les jeunes arbres sur le chemin qui mène au site de restauration.



ROULEZ LENTEMENT! Ne dilapidez pas une année de travail dans la pépinière sur le trajet menant au site de plantation. Lors du transport de gaules, conduisez avec prudence.



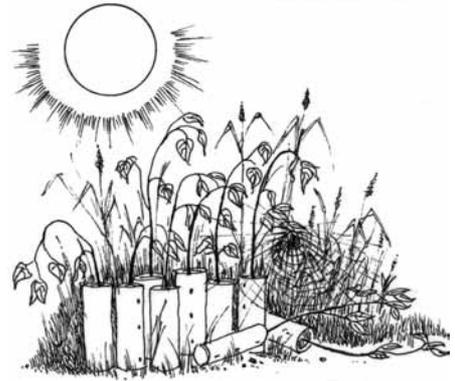
7.1 PRÉPARATIFS DE LA PLANTATION



Transportez les jeunes arbres sur le site de restauration de cette manière ...



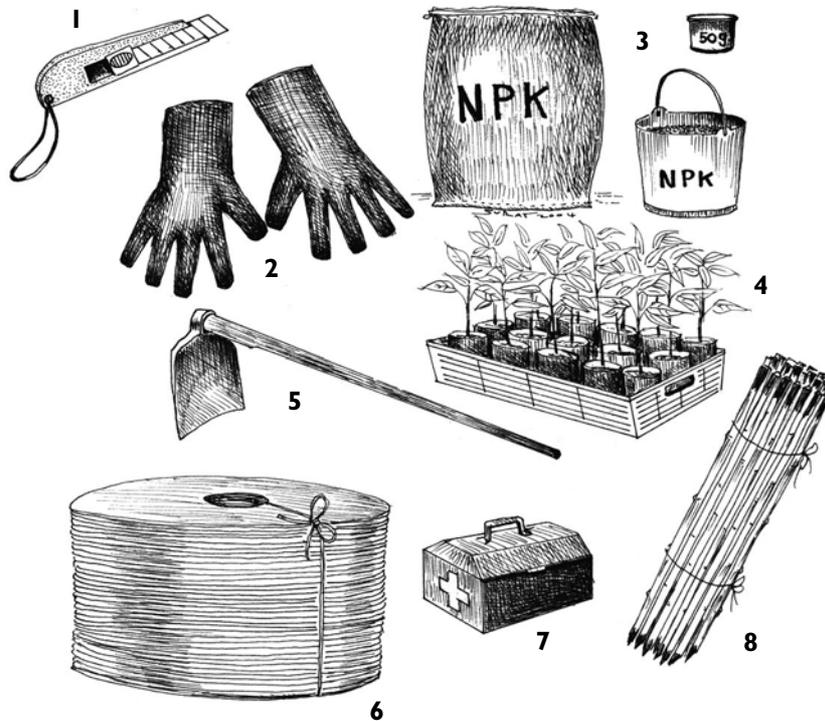
... pas de cette manière (cela endommage la tige) ...



... et ne les laissez pas dans des endroits exposés.

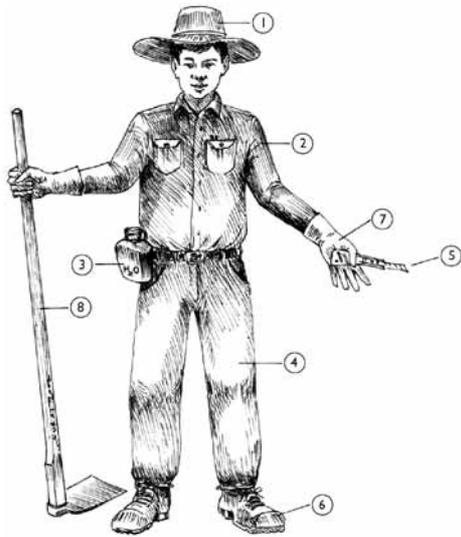
Matériels et équipements de plantation

A la veille de la plantation, transportez tous les matériels de plantation ainsi que les jeunes arbres vers les parcelles. Ces matériels comprennent, entre autres, des piquets en bambou, du paillis (si nécessaire) ainsi que des engrais. Protégez ces matériels contre la pluie.



1. Couteau
2. Gants
3. Engrais, seau et tasses pré-mesurées pour appliquer des dosages précis
4. Paniers pour la distribution des jeunes arbres
5. Houes pour creuser le trou
6. Tapis de paillis
7. Trousse de premiers soins
8. Piquets en bambou.

Autres préparatifs du grand jour?



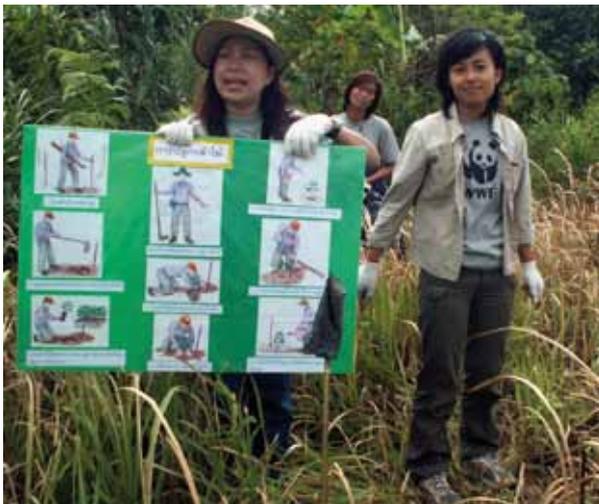
Le planteur parfaitement préparé, avec (1) un chapeau pour la protection solaire; (2) une chemise à manches longues; (3) beaucoup d'eau à boire; (4) un pantalon long; (5) un couteau polyvalent pour ouvrir les sacs en plastique en un mouvement de cisaillement; (6) des bottes solides; (7) des gants et (8) une houe pour creuser les trous de plantation.

Quelques jours avant la plantation, tenez une réunion de toutes les personnes impliquées dans l'organisation du projet. Nommez un chef d'équipe pour chaque groupe de planteurs. Assurez-vous que tous les chefs d'équipe connaissent bien chacun les techniques de plantation d'arbres et leur zone de plantation, ainsi que le nombre d'arbres à planter. Utilisez un taux de plantation de 10 arbres par heure pour calculer le nombre de personnes requises pour mener à bien la plantation dans le délai souhaité.

Assurez-vous que les chefs d'équipe demandent aux membres de leurs équipes d'apporter des gants, des couteaux polyvalents (pour ouvrir les sacs en plastique en un mouvement de cisaillement), des seaux, des houes ou de petites pelles (pour remplir les trous de plantation) et (si l'engrais doit être appliqué) des tasses. En outre, les chefs d'équipes doivent recommander aux planteurs d'emporter une bouteille d'eau et de porter un chapeau, des chaussures robustes, une chemise à manches longues et des pantalons longs.

Faites une estimation du nombre de personnes invitées à participer à l'événement de plantation. Arrangez assez de véhicules pour transporter tout le monde sur les parcelles et suffisamment de nourriture et de boisson pour assurer une bonne alimentation et une bonne hydratation des participants. Mettez au point des plans d'urgence en cas de mauvais temps. Enfin, voyez si le projet et la communauté locale pourraient bénéficier de la couverture médiatique de la manifestation et, si c'est le cas, contactez des journalistes et des reporters.

7.2 Plantation



L'enthousiasme seul ne suffit pas. Une toute petite formation au début d'un événement de plantation peut aider à éviter des erreurs coûteuses.

Les événements de plantation d'arbres valent bien plus qu'une simple mise en terre des arbres. Elles offrent aux gens ordinaires une occasion de s'impliquer directement dans l'amélioration de leur environnement. Elles constituent également des manifestations sociales, contribuant à développer l'esprit communautaire. En outre, la couverture médiatique d'un événement de plantation peut donner une image positive des membres de la communauté en tant que premiers responsables de leur environnement naturel. La plantation d'arbres peut aussi avoir une fonction éducative. Les participants peuvent apprendre non seulement comment planter des arbres, mais aussi pourquoi on le fait. Au début de l'événement, prenez le temps de démontrer les techniques de plantation à utiliser et de faire en sorte que chacun comprenne les objectifs du projet de restauration forestière. En outre, profitez de l'occasion pour les inciter à participer dans les activités de suivi, comme le sarclage, l'épandage d'engrais et la prévention des incendies.

Espacement

Tout d'abord, marquez l'endroit où chaque arbre sera planté avec un piquet en bambou fendu de 50 cm de hauteur. Espacez les piquets de 1,8 m ou à la même distance à partir des arbres établis naturellement ou les souches d'arbres. Essayez de ne pas placer les piquets sous la forme de rangées droites. Un arrangement aléatoire donnera une structure plus naturelle à la forêt restaurée. Le repérage des parcelles peut se faire soit le jour de la plantation ou quelques jours à l'avance.



Méthode de plantation

Utilisez des paniers pour transporter les jeunes arbres aux différents emplacements des piquets. Mélangez les espèces de manière à éviter une plantation côte à côte des jeunes arbres de la même espèce. Cette plantation «aléatoire» est connue sous le nom de «mélange intime».

Utilisez des piquets de bambou fendu pour espacer les arbres.



Des paniers et des charrettes peuvent être utilisés pour transporter les jeunes arbres où ils seront plantés.

À côté de chaque piquet en bambou, utilisez une houe pour creuser un trou dont le volume est au moins deux fois supérieur à celui du conteneur du jeune arbre, de préférence avec des côtés obliques (la brisure du sol autour du système racinaire aidera également les racines à s'établir). En même temps, utilisez la houe pour racler les mauvaises herbes mortes dans un cercle de 50 à 100 cm de diamètre autour du trou.

Si les jeunes arbres sont dans des sacs en plastique, fendez chaque sac sur un côté avec une lame tranchante, en prenant soin de ne pas endommager la motte de racines à l'intérieur, et décollez doucement le sac en plastique. Essayez de maintenir le terreau autour de la motte intact, et laissez les racines exposées à l'air pendant une durée n'excédant pas quelques secondes si possible.



Creusez des trous dont la taille est deux fois supérieure à celle du conteneur.



Ouvrez soigneusement les sacs en plastique en les coupant et retirant le plastique.



La journée de plantation peut être vécue par toute la famille.

Placez le jeune d'arbre en position verticale dans le trou et remplissez l'espace autour de la motte avec de la terre meuble, en faisant en sorte que le collet de la racine de la plante soit finalement placé au niveau de la surface du sol. Si le jeune d'arbre a été marquée pour son suivi plus tard, faites en sorte que l'étiquette ne soit pas enfouie dans la terre. Avec les paumes de vos mains, tassez bien le sol autour de la tige de la plante pour l'affermir. Cela permet de joindre les pores du terreau de la pépinière avec ceux du sol de la parcelle afin de rétablir rapidement un approvisionnement en eau et en oxygène des racines des jeunes arbres. En général, il n'est pas nécessaire de lier le jeune arbre au piquet de soutien. Les piquets sont utilisés uniquement pour indiquer l'emplacement de plantation de chaque arbre.

Ensuite, appliquez 50–100 g d'engrais dans un anneau sur la surface du sol à une distance d'environ 10 à 20 cm de la tige du jeune arbre planté. La combustion chimique peut se produire si l'engrais entre en contact avec la tige même. Utilisez des gobelets en plastique pré-mesurés pour appliquer la dose d'engrais correcte. Notez que les engrais chimiques sont d'habitude coûteux et ne sont pas forcément indispensables pour tous les sites.



Tassez bien le sol autour de la tige pour l'affermir.



Utilisez des tasses à mesurer pour appliquer la dose d'engrais correcte.



Les tapis de paillis de carton sont particulièrement efficaces sur des sols secs dégradés. Sur les sols plus humides et fertiles, ils disparaissent trop rapidement.

Puis (en option) placez un tapis de paillis de carton de 40–50 cm de diamètre autour de chaque jeune arbre planté. Fixez le tapis de paillis au sol en le transperçant avec le piquet en bambou et empilez les mauvaises herbes mortes sur le tapis de paillis de carton.

S'il y a une source d'approvisionnement en eau à proximité, arrosez chaque jeune arbre planté avec au moins 2 à 3 litres à la fin de l'événement de plantation. Un camion-citerne d'eau peut être loué pour fournir de l'eau aux sites accessibles, mais éloignés de sources naturelles d'approvisionnement en eau. Pour les sites inaccessibles et avec une difficulté d'approvisionnement en eau, fixez la date de plantation à une période où les prévisions météorologiques annoncent la pluie.



Pour les sites secs inaccessibles, plantez les arbres quand la pluie est prévue, mais s'il est possible d'arroser les arbres après la plantation, faites-le. Pompez l'eau d'un ruisseau ou acheminez-la par un camion-citerne.



Enlevez les sachets en plastique pour nettoyer le site.

La dernière tâche consiste à enlever tous les sacs en plastique, les piquets ou les tapis de paillis de carton inutiles, ainsi que les ordures sur le site. Les chefs d'équipe devraient personnellement remercier toutes les personnes qui participent à la plantation. Une manifestation sociale pour marquer l'occasion est également une bonne façon de remercier les participants et de préparer le soutien aux futurs événements.

Choix d'un engrais chimique ou inorganique

L'observation des carences nutritives du sol d'un site nécessite des analyses chimiques coûteuses et l'accès à un laboratoire (voir **Section 5.5**). Cela vaut rarement le coût parce que, indépendamment de la fertilité des sols, la plupart des arbres tropicaux croissent convenablement par l'application d'un engrais chimique usuel (N:P:K 15:15:15) 3 à 4 fois par an pendant 2 ans après la plantation. Utilisez des doses de 50 à 100 g par arbre et par application. Leur utilisation a pour effets de stimuler la croissance des jeunes arbres pendant les premières années après la plantation, d'accélérer la fermeture de la canopée, de priver les plantes herbacées de lumière et de «reconquérir» le site. Répandre l'engrais dans un anneau autour de la base de l'arbre est plus efficace que de placer l'engrais dans le trou de plantation car les nutriments s'infiltrent dans le sol au moment où les racines commencent à pousser dans le sol environnant.

Sur les sites de plaine aux sols latéritiques pauvres, l'utilisation d'engrais organique semble être plus efficace que les engrais chimiques (données non publiées de FORRU-CMU), probablement parce qu'il se décompose et est lessivé du sol plus lentement. Ainsi, il fournit uniformément des nutriments aux racines des arbres pour une période plus longue.



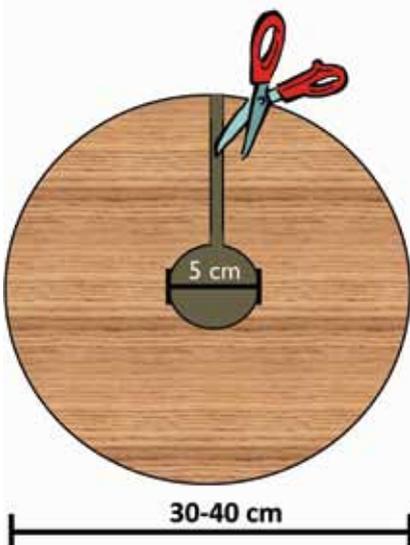
Le coût de l'engrais chimique varie avec le prix du pétrole. Les coûts ont donc fortement augmenté ces dernières années et ont tendance de s'élever continuellement. Les engrais organiques sont très variables dans leur composition, mais ils sont beaucoup moins chers que les engrais chimiques. Trouvez un approvisionnement fiable d'une marque locale efficace et restez-y fidèle, ou commencez à travailler avec les communautés locales dans la production d'engrais à partir de déchets d'origine animale. Le projet de restauration pourrait apporter une nouvelle source de revenu pour les communautés locales en achetant les engrais organiques qu'elles produisent.

Le paillage pour réduire l'assèchement et la croissance de mauvaises herbes

Le paillis est un matériau fixé au sol autour d'un plant, ce qui peut augmenter sa survie et sa croissance, notamment en réduisant le risque d'assèchement juste après la plantation. Le paillage est particulièrement recommandé lors de la plantation sur des sols très dégradés dans les zones plus sèches. Son effet est moindre dans les parcelles des sols de montagne fertiles ou dans des zones tropicales humides. Les matériaux de paillage sont très variables: les roches, les cailloux, les copeaux de bois, la paille, la sciure de bois, la fibre de la noix de coco, la fibre du palmier à huile et le carton.



Le carton ondulé donne un excellent tapis de paillis. Il est facile à trouver et relativement bon marché. Demandez à votre supermarché local ses déchets de carton ou d'autres matériaux d'emballage pour la fabrication de tapis de paillis. Coupez le carton en cercles de 40 à 50 cm de diamètre. Faites un trou d'environ 5 cm de diamètre au milieu du cercle et faites une fente étroite du périmètre du cercle à son centre. Ouvrez le cercle le long de la fente et placez le trou central autour de la tige de l'arbre. Faites en sorte que le carton ne touche pas la tige, car cela pourrait l'écorcher, en aboutissant à des blessures qui peuvent être infectées par des champignons. Enfoncez un piquet en bambou dans le tapis pour le fixer. Dans la forêt tropicale saisonnière, les tapis en carton durent une saison des pluies, en pourrissant peu à peu, ajoutant ainsi de la matière organique au sol. Le remplacement du tapis au début de la deuxième saison des pluies ne semble pas apporter des avantages supplémentaires (données de FORRU-CMU).



La germination de la plupart des graines de mauvaises herbes est stimulée par la lumière. Le paillage autour des jeunes arbres plantés bloque la lumière et empêche ainsi les mauvaises herbes de recoloniser le sol dans le voisinage immédiat des arbres plantés. En outre, le paillage refroidit le sol, ce qui réduit l'évaporation de l'humidité du sol. Les invertébrés du sol sont attirés par les conditions fraîches et humides sous le paillis. Ils remuent le sol autour des gaules plantées, en améliorant le drainage et l'aération.

Les tapis de paillis, coupés à partir du carton ondulé recyclé, ne coûtent pas cher et jouent un rôle efficace dans la réduction de la mortalité après-plantation immédiate des arbres plantés, en particulier sur les sites exposés à la sécheresse et aux sols pauvres. Ils étouffent la croissance des mauvaises herbes et réduisent ainsi les coûts de main-d'œuvre pour le sarclage. L'engrais est appliqué dans un anneau autour de la base de l'arbre. Les tapis en carton durent environ un an si l'on prend soin de les garder intacts pendant les opérations de sarclage.

Le gel polymère peut être utilisé pour améliorer l'hydratation

Le gel polymère hydrophile peut aider à garder hydratées les racines des arbres plantés et à réduire le stress de transplantation. Sur les sites des hautes terres bien arrosées, il est généralement inutile, mais quand il est utilisé en combinaison avec des tapis de paillis de carton, il peut considérablement réduire la mortalité après plantation des arbres dans les zones sèches sur des sols pauvres (voir **Section 5.5**).

Contrôle de qualité

Malgré une bonne démonstration des techniques de plantation avant l'événement, il est inévitable que certains arbres ne soient pas plantés correctement. Une fois que les planteurs ont quitté le site, les chefs d'équipe doivent inspecter les arbres plantés et corriger les erreurs. Assurez-vous que tous les arbres sont bien dressés, que le sol autour d'eux a été correctement tassé, et que les étiquettes de suivi sont présentes. Recherchez des jeunes arbres qui n'ont pas été plantés et soit plantez-les soit retournez-les à la pépinière. Remplissez de terre tous les trous qui ne contiennent pas d'arbres. Retirez du site les piquets en bambou non utilisés, les sacs d'engrais, les sacs en plastique et tous les autres déchets.

Semis direct

Le coût de la technique de semis directe est considérablement réduit par rapport à la réalisation de mise en pépinière des plants d'arbre avant leur plantation sur terrain, mais actuellement cette technique n'est efficace que pour quelques espèces d'arbres (**Tableau 5.2**). À l'heure actuelle, la méthode reste complémentaire à la plantation d'arbres classique. Les avantages et les inconvénients ont été décrits à la **Section 5.3**, tandis que les techniques pratiques sont présentées ci-dessous.

Calendrier optimal pour le semis direct

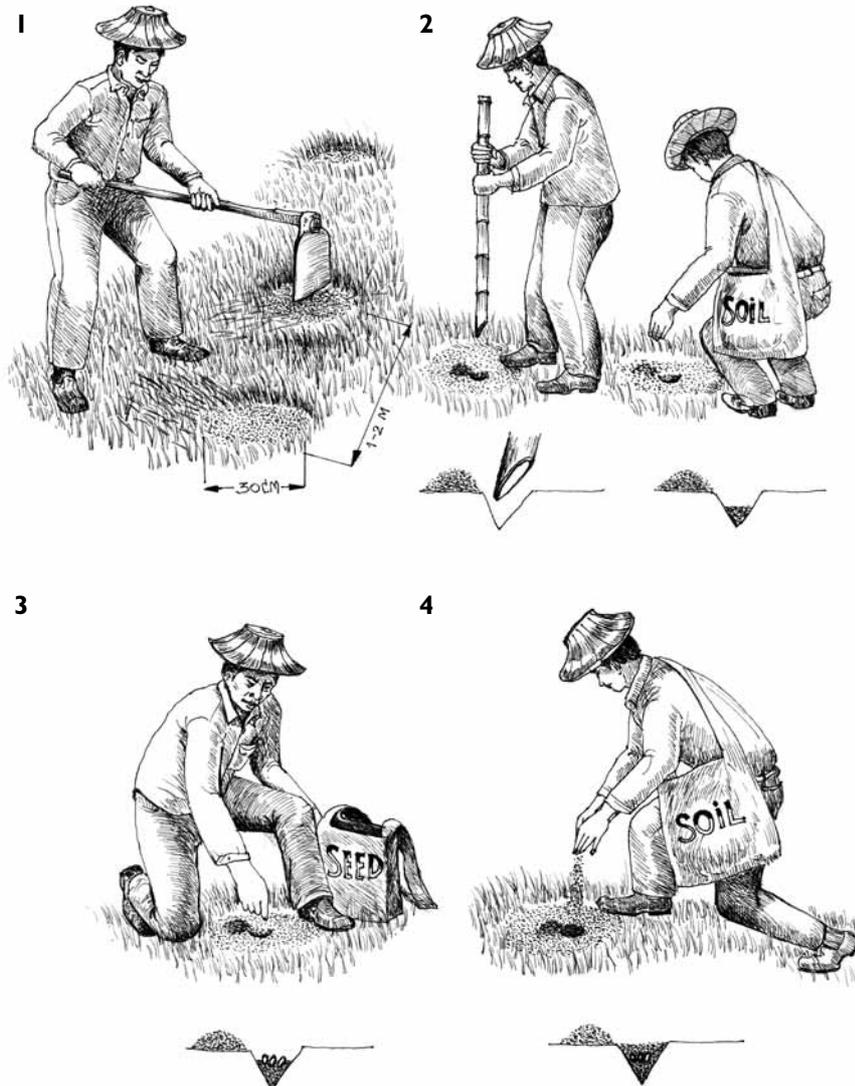
Dans les régions tropicales humides, le semis direct peut être mis en œuvre à tout moment (sauf en période de sécheresse). Dans les zones saisonnièrement sèches, le semis direct doit être effectué au début de la saison des pluies (en association avec la plantation d'arbres classique). Cela donne suffisamment de temps aux semis en germination de développer des systèmes racinaires qui sont capables d'avoir suffisamment accès à l'humidité du sol pour permettre aux jeunes plants de survivre à la première saison sèche après le semis. Malheureusement, la saison des pluies est aussi la période faste de l'année à la fois pour la croissance des mauvaises herbes et la reproduction des rongeurs – prédateurs de graines. Le contrôle de ces deux facteurs est donc particulièrement important. Il a été suggéré d'éviter ces problèmes en procédant au semis direct à la fin de la saison des pluies, mais des résultats récents ont confirmé que l'ensemencement précoce, pour atteindre une croissance racinaire étendue avant la saison sèche, constitue la considération primordiale (Tunjai, 2011).

Assurer la disponibilité des graines

Les graines doivent être stockées du moment de la fructification au début de la saison des pluies. De nombreuses essences tropicales produisent des graines récalcitrantes qui perdent leur viabilité rapidement pendant le stockage, mais la période de stockage requise pour le semis direct est de moins de 9 mois et ainsi le stockage pourrait être possible. Voir les **Sections 6.2** et **6.6** pour plus d'informations sur le stockage des graines.

Techniques de semis direct

Au début de la saison des pluies, faites des récoltes de graines des essences cibles (ou prenez-les du magasin de stockage). Appliquez tous les traitements de pré-semis qui sont reconnus pour accélérer la germination de l'espèce concernée. Enlevez les mauvaises herbes des «points de semis» d'environ 30 cm de diamètre, espacés d'environ 1,5 à 2 m (ou de la même distance de plants issus de la régénération naturelle, s'il en existe). Creusez un petit trou dans le sol et mettez-y légèrement du sol forestier. Cela garantit la présence des micro-organismes symbiotiques bénéfiques (par exemple, les champignons mycorhiziens) lors de la germination de la graine. Enfoncez plusieurs graines dans chaque trou à une profondeur d'environ deux fois le diamètre de la graine et recouvrez le trou avec davantage de sol forestier. Placez le paillis, comme les mauvaises herbes enlevées, autour des points de semis pour empêcher les mauvaises herbes de croître à nouveau. Au cours des deux premières saisons des pluies après le semis, arrachez à la main les mauvaises herbes au niveau des points de semis, si nécessaire. Si plusieurs plants poussent à un point de semis, retirez les plus petits et les plus faibles, afin qu'ils n'entrent pas en concurrence avec le plus grand des semis. Réalisez des expériences pour déterminer les espèces et les techniques les plus prospères en matière de semis direct sur un site particulier.



1. Tout d'abord, arrachez les mauvaises herbes des points de semis.
2. Ensuite, faites de petits trous et ajoutez-y du sol forestier.
3. Puis, enfoncez plusieurs graines dans le sol meuble.
4. Enfin, couvrez le trou avec du sol forestier.

7.3 Entretien des arbres plantés

Dans les sites déboisés, les arbres plantés sont exposés à la chaleur, à la sécheresse et au soleil direct ainsi qu'à la compétition avec les mauvaises herbes à croissance rapide. Les mesures de protection (comme décrites dans la **Section 5.1**) doivent être mises en œuvre pour empêcher les incendies et les bovins de tuer les arbres plantés ainsi que ceux issus de la régénération naturelle qui sont présents. Le désherbage et l'application d'engrais (voir **Section 5.2**) sont également essentiels pendant au moins 18 à 24 mois après la plantation afin de maximiser la croissance des arbres et d'accélérer la fermeture du couvert. L'entretien n'est plus nécessaire après la fermeture du couvert.

Prévention des incendies et exclusion du bétail

La mise en place des pare-feu, l'organisation des équipes d'extinction des incendies et l'exclusion du bétail des sites de restauration sont décrites dans la **Section 5.1**.

Le sarclage

Le sarclage réduit la concurrence entre les arbres plantés ou établis naturellement et les plantes herbacées. Sur la quasi-totalité des sites tropicaux, le sarclage est essentiel pour prévenir la mortalité élevée des arbres au cours des deux premières années après la plantation. Les méthodes de désherbage des anneaux de croissance et aplatissement des mauvaises herbes décrites dans la **Section 5.2** peuvent être appliquées aussi bien aux arbres plantés qu'aux arbres issus de la régénération naturelle.

Fréquence du sarclage

La fréquence du sarclage dépend du rythme de croissance des mauvaises herbes. Visitez le site fréquemment pour observer la croissance des mauvaises herbes et effectuez le désherbage bien avant que les mauvaises herbes poussent au-dessus des cimes des arbres plantés. La croissance des mauvaises herbes est plus rapide pendant les saisons pluvieuses. Après la plantation, procédez au sarclage autour des arbres plantés à des intervalles de 4 à 6 semaines, tant que les pluies continuent. Si la croissance des mauvaises herbes est lente, il peut être possible de réduire la fréquence du sarclage. Le sarclage ne devrait pas être nécessaire pendant les saisons sèches.

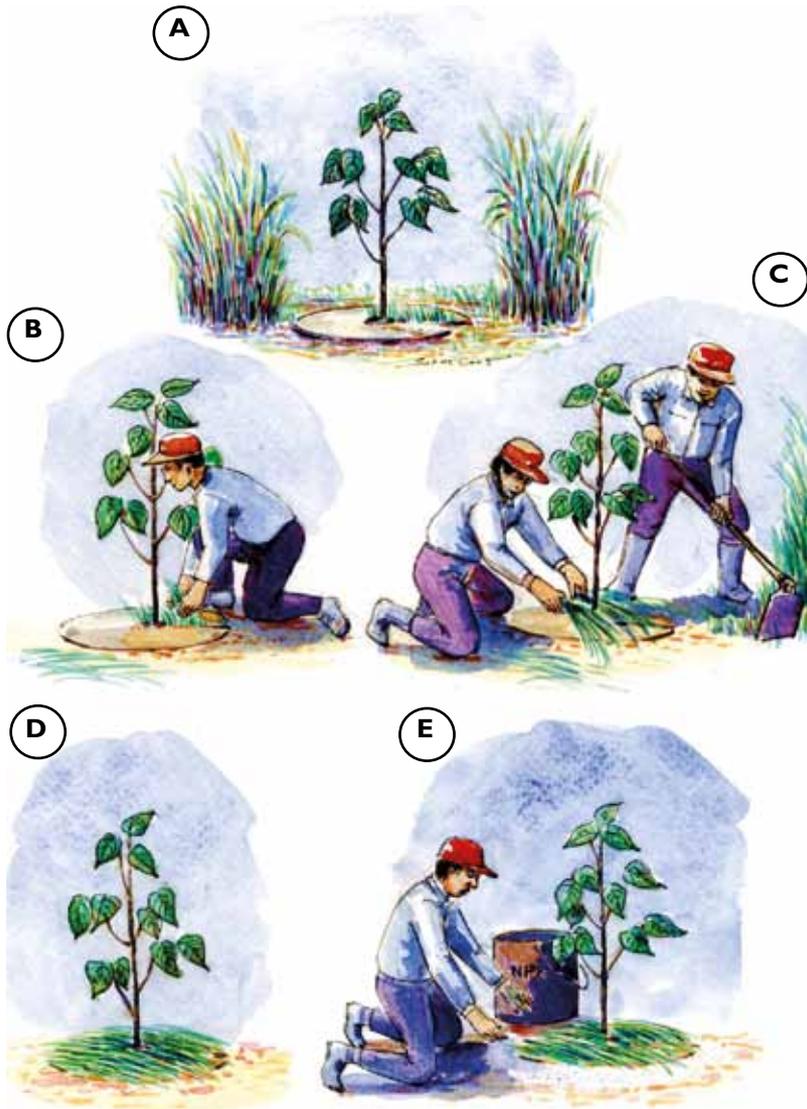
Dans les forêts saisonnières, laissez pousser les mauvaises herbes à une certaine hauteur avant la fin de la saison des pluies pour donner de l'ombre aux arbres plantés et, partant, pour empêcher la dessiccation, quand le temps est chaud et sec. N'oubliez pas, cependant, que cela augmente aussi le risque d'incendie; il est donc recommandé d'adopter cette méthode là où des mesures de prévention des incendies sont efficaces. Là où les risques d'incendie sont particulièrement élevés, essayez de garder les parcelles plantées exemptes de mauvaises herbes en tout temps. La main-d'œuvre nécessaire pour le sarclage varie avec la densité des mauvaises herbes, mais, à titre d'illustration, préparez un budget pour 18 à 24 jours de travail par hectare.

Pendant combien de temps faut-il poursuivre le sarclage?

Le sarclage est généralement nécessaire pendant deux saisons des pluies après la plantation. Pendant la troisième année après la plantation, la fréquence du sarclage peut être réduite si les cimes des arbres plantés commencent à se rencontrer pour former un couvert forestier. Dès la quatrième année, l'ombre du couvert forestier devrait être suffisante pour empêcher une nouvelle croissance des mauvaises herbes.

CHAPITRE 7 PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

Le sarclage est essentiel pour garder les arbres en vie pendant les premières années après la plantation. (A) Un tapis de paillis de carton peut aider à maintenir les mauvaises herbes à un minimum immédiatement autour de la tige du jeune arbre. (B) Arrachez toutes les mauvaises herbes qui poussent près de la base de l'arbre à la main (portez des gants) pour éviter d'endommager les racines des arbres. Essayez de garder le tapis de paillis intact. (C) Ensuite, utilisez une houe pour extirper les mauvaises herbes dans un anneau autour du tapis de paillis et (D) posez les mauvaises herbes déracinées au-dessus du tapis de paillis. (E) Enfin, appliquez l'engrais (50–100 g) dans un anneau autour du tapis de paillis.



Techniques de sarclage

La méthode d'aplatissement des mauvaises herbes décrite dans la **Section 5.2** peut être utilisée pour aplatir les mauvaises herbes qui poussent entre les arbres. Si les mauvaises herbes ne sont pas sensibles à l'aplatissement, utilisez des machettes ou un «coupe-herbe» (un dispositif mécanique manuel pour couper les mauvaises herbes), en gardant bien à l'écart les arbres plantés et les arbres naturels pour éviter de les couper accidentellement.

Une méthode plus délicate est nécessaire autour des arbres eux-mêmes. Portez une paire de gants et déterrez doucement les mauvaises herbes qui poussent à proximité des troncs (tiges) d'arbres, y compris celles qui poussent à travers le paillis. Essayez de garder le paillis intact. Utilisez une houe pour enlever les mauvaises herbes à proximité de la zone paillée par leurs racines. Posez les mauvaises herbes enlevées autour des arbres au-dessus du paillis existant. Ceci donne de l'ombre à la surface du sol et inhibe la germination des graines de mauvaises herbes, même si le paillis organique se décompose. Essayez de faire en sorte que les mauvaises herbes déracinées ne touchent pas les tiges des jeunes arbres, car un tel contact peut favoriser une infection fongique. Appliquez de l'engrais autour de chaque arbre immédiatement après le sarclage.

Fréquence de l'application d'engrais

Même pour les sols fertiles, la plupart des espèces d'arbres nécessitent l'ajout d'engrais supplémentaires au cours des deux premières années après la plantation. Cette application permet aux arbres de croître plus vite et au-dessus des mauvaises herbes pour leur faire de l'ombre, réduisant ainsi les coûts de sarclage. Appliquez 50 à 100 g d'engrais, à des intervalles de 4 à 6 semaines, immédiatement après le désherbage, dans un anneau d'environ 20 cm autour de la tige de l'arbre. Si un tapis de paillis de carton a été posé, appliquez l'engrais sur le bord du tapis de paillis. L'engrais chimique (N:P:K 15:15:15) est recommandé pour les sites des hautes terres, tandis que des pastilles organiques produisent des résultats nettement meilleurs sur les sols latéritiques des basses terres (mais voir la **Section 7.2**). Le sarclage avant l'application d'engrais fait en sorte que ce soient les arbres plantés et non les mauvaises herbes qui bénéficient des éléments nutritifs.

7.4 Suivi de l'état d'avancement

Tous les projets de plantation d'arbres doivent faire l'objet d'un suivi, mais il existe une variété de méthodes de suivi, telle que le suivi photographique de base, l'évaluation des taux de survie des arbres (décrite ici) et les systèmes complexes d'essais en champs visant à étudier le rendement des espèces, les effets des traitements sylvicoles et le rétablissement de la biodiversité (décrits à la **Section 7.5**).

Pourquoi le suivi est-il nécessaire?

Les bailleurs de fonds veulent être informés sur le succès du projet de plantation d'arbres qu'ils ont financé, de sorte que le suivi des résultats constitue généralement une composante essentielle des rapports de projet. Dans un premier temps, il s'agit de vérifier si les arbres plantés ont survécu et ont bien développé pendant les premières années après la plantation, mais la mesure ultime du succès, c'est le rythme avec lequel la forêt restaurée devient semblable à l'écosystème forestier cible en termes de structure et de fonction (voir la **Section 1.2**), ainsi que la composition spécifique (voir **Section 7.5**). L'intérêt porté aux techniques de suivi évolue rapidement et les systèmes de suivi proposés sont de plus en plus complexes et rigoureux. Cet état de choses s'explique par la valeur actuellement mise sur les forêts comme réservoirs de carbone. De petites erreurs en matière de suivi peuvent se traduire par le gain ou la perte d'importantes sommes d'argent dans le commerce du carbone. Par conséquent, si votre projet est financé par un mécanisme de compensation du carbone (ex.: REDD+), assurez-vous de suivre les protocoles de suivi établis par le bailleur de fonds et soyez prêts à voir tous les aspects de votre programme de suivi passés au crible.

Simple suivi au moyen de la photographie

La façon la plus simple d'évaluer les effets de la plantation d'arbres est de prendre des photos avant la plantation et à intervalles réguliers (une fois par saison ou par an) par la suite. Un site voisin, où aucune restauration forestière n'a été mise en œuvre, peut être photographié de la même manière, afin de pouvoir comparer la restauration à la régénération naturelle non assistée. Repérez les points avec une vue dégagée des sites plantés et des points de repère remarquables. Marquez la position des points avec un poteau métallique ou en béton ou peignez une flèche sur un gros rocher. Réglez l'appareil photo à la résolution la plus élevée et au zoom le plus large et essayez d'utiliser la caméra de la même manière pour toutes les photos. Encadrez chaque photo de sorte qu'un point de repère est placé sur le bord gauche ou le bord droit de l'image et de telle sorte que l'horizon soit aligné au voisinage du bord supérieur (c.-à-d. qu'il faut minimiser la proportion de l'horizon dans l'image). Enregistrez la date, le numéro de point, la localisation (coordonnées, si vous avez un GPS),

CHAPITRE 7 PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

et l'âge de la parcelle et utilisez une boussole pour mesurer la direction dans laquelle la caméra est orientée. Les photos figurant dans la **Section 1.3** constituent de bons exemples. Dans ces images, la grosse souche d'arbre noire sert de point de référence.

Dès que possible, téléchargez les photos sur un ordinateur et sauvegardez-les dans un périphérique de stockage ou sur l'Internet. Utilisez un système de nommage logique des fichiers de telle sorte que les photos puissent être facilement organisées dans l'ordre chronologique et par localisation du point (par exemple, 2013_Point1_Parcelle141231). Quand vous revenez pour prendre plus de photos, emportez les précédentes, de manière à pouvoir utiliser les points de repère pour positionner les nouvelles prises de vues de façon qu'elles soient aussi proches que possible des précédentes photos.

Les photos sont faciles à prendre et à partager, et elles facilitent la compréhension de l'état d'avancement des projets de restauration. Toutefois, les bailleurs de fonds exigent souvent un certain type de suivi usuel de la survie et de la croissance des arbres. Dans ce cas, donnez une étiquette à un sous-ensemble des arbres plantés et mesurez-les à intervalles réguliers.

Echantillonnage des arbres aux fins de suivi

Un suivi adéquat exige au minimum un échantillonnage de 50 individus ou plus pour chaque espèce plantée. Plus l'échantillonnage est grand, meilleur est le suivi. Choisissez au hasard les arbres à inclure dans l'échantillonnage; étiquetez-les dans la pépinière avant de les transporter vers le site de plantation. Plantez-les au hasard dans l'ensemble du site, mais assurez-vous que vous pouvez les repérer. Placez un piquet en bambou de couleur près de chaque arbre à suivre; notez le numéro d'identification de l'étiquette de l'arbre sur la tige de bambou avec un marqueur résistant aux intempéries et dessinez un croquis cartographique pour vous aider à trouver les arbres échantillonnés dans l'avenir.

Étiquetage des jeunes arbres plantés

Les bandes métalliques souples utilisées pour lier les câbles électriques, disponibles dans les magasins de matériaux de construction, forment d'excellentes étiquettes pour les petits arbres. Elles peuvent former des anneaux autour des troncs d'arbres. Utilisez des poinçons à frapper chiffres ou un clou pointu pour graver un numéro d'identification sur chaque étiquette et pliez-la sous forme d'anneau autour de la tige au-dessus de la plus basse branche (s'il y en a) pour éviter



Avant la plantation, placez des bandes d'étiquettes métalliques autour des tiges des gaules. Faites en sorte qu'elles ne soient pas enterrées lors de la plantation. Les numéros d'étiquette pourraient contenir des informations sur les espèces, l'année de plantation, le numéro de la parcelle et le numéro de l'arbre. Exemple: 22–48 12–3 pourrait signifier le 48^{ème} individu de l'espèce numéro 22, planté dans la parcelle 3 en 2012. Tenez des registres précis de votre système de numérotation.

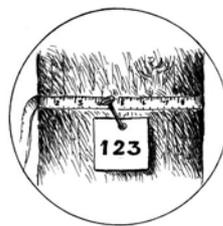
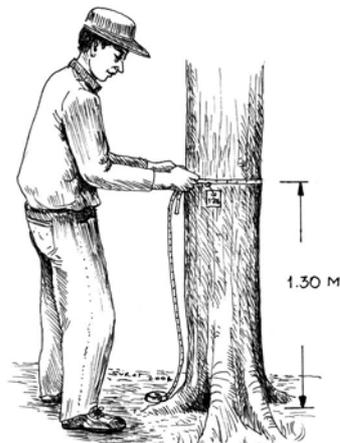
7.4 SUIVI DE L'ÉTAT D'AVANCEMENT

que l'étiquette est enfoncé dans le sol lors de la plantation. Il est aussi possible de découper des canettes de boissons pour former de bonnes étiquettes. Coupez le haut et le bas des canettes et tranchez les flancs des canettes en bandes. Utilisez un stylo-bille résistant ou un clou pour marquer les numéros d'identification dans ces bandes de feuilles métalliques souples (sur la surface intérieure). Les bandes peuvent être pliées sous forme d'anneaux desserrés autour des tiges des gaules.

Garder les étiquettes en place sur les arbres à croissance rapide est difficile, car au fur et à mesure que les arbres se développent, leurs troncs font sortir les étiquettes. Si le suivi est effectué fréquemment, vous pourrez replacer ou remplacer les étiquettes avant leur perte.



Une fois que les arbres ont développé une circonférence de 10 cm ou plus, mesurée à 1,3 m au-dessus du sol (circonférence à hauteur de poitrine ou CHP), il faut fixer des étiquettes plus permanentes sur les troncs, en marquant le point de mesure de la circonférence à 1,3 m. Utilisez des clous galvanisés à tête plate de 5 cm de long. Enfoncez seulement environ un tiers de la longueur des clous dans le tronc en prévision de la croissance des arbres. Des plaques de métal à partir de canettes de boisson, coupées en gros carrés, avec le numéro d'identification lisible à une grande distance, constituent d'excellentes étiquettes pour les grands arbres.



Une fois que les arbres se sont développés, le suivi de la performance par la suite peut être basé sur l'augmentation de la circonférence à hauteur de poitrine (CHP).

Suivi de la performance des arbres

Pour suivre la performance des arbres, travaillez en paires; le premier prend les mesures et l'autre assure l'enregistrement des données sur des fiches établis au préalable. Chaque pair peut collecter au maximum des données sur 400 arbres par jour. Préparez des feuilles d'enregistrement qui comprennent une liste des numéros d'identification de tous les arbres marqués à l'avance (voir **Section 7.5**). Emmenez les croquis faits lorsque les arbres marqués ont été plantés pour vous aider à les trouver. En outre, prenez une copie des données recueillies au cours de la précédente séance de suivi. Cela peut vous aider à régler les problèmes d'identification des arbres, en particulier pour les arbres qui auraient perdu leurs étiquettes.

Quand faut-il procéder au suivi?

Mesurez les arbres 1 à 2 semaines après la plantation pour fournir des données de référence pour les calculs de croissance et pour évaluer la mortalité immédiate, à cause du choc de transplantation ou d'une manipulation brutale pendant le processus de plantation. Ensuite, procédez au suivi annuel des arbres; dans les forêts saisonnières, cette tâche devrait être entreprise à la fin de chaque saison des pluies. Cependant, le suivi le plus important s'effectue à la fin de la deuxième saison des pluies après la plantation (ou après environ 18 mois), lorsque les données de performance en champs peuvent être utilisées pour quantifier l'adaptabilité de chacune des espèces d'arbres aux conditions qui prévalent sur le site (voir **Section 8.5**).

Quelles sont les mesures à prendre?

Le suivi rapide de la performance des arbres peut consister en un simple comptage des arbres survivants et des arbres morts, mais l'enregistrement de l'état des arbres plantés à chaque fois suivi permet d'identifier précocement d'éventuelles anomalies. Attribuez un simple score de santé à chaque arbre et enregistrez des notes descriptives sur les problèmes de santé particuliers observés. Une simple échelle de 0 à 3 est généralement suffisante pour enregistrer la santé globale. Attribuez zéro si l'arbre semble être mort. Pour les espèces d'arbres à feuilles caduques, ne confondez pas un arbre sans feuilles pendant la saison sèche à un arbre mort. Ne cessez pas le suivi des arbres tout simplement parce qu'ils enregistrent zéro à une occasion. Les arbres qui semblent morts au-dessus du sol pourraient encore avoir des racines vivantes à partir desquelles ils pourraient germer à nouveau. Attribuez 1 si un arbre est en mauvais état (quelques feuilles, la plupart des feuilles décolorées, graves dommages d'insectes, etc.). Attribuez 2 pour des arbres présentant des signes de dégâts, mais conservant un feuillage sain. Attribuez 3 pour les arbres en parfaite santé ou quasiment parfaite.

Mesurez la hauteur des arbres plantés du collet au méristème apical (point végétatif).



7.4 SUIVI DE L'ÉTAT D'AVANCEMENT

Un suivi plus détaillé de la performance des arbres consiste à mesurer la hauteur des arbres et /ou le diamètre (pour le calcul du taux de croissance) et la largeur de la cime. Un ou deux ans après la plantation, la hauteur des arbres peut être mesurée avec des mètres à ruban de 1,5 m montés sur des bâtons. Mesurez la hauteur de l'arbre du collet au méristème apical (extrémité de la pousse). Pour les grands arbres atteignant 10 m de hauteur, les bâtons de mesure télescopique peuvent être utilisés. Ces bâtons sont disponibles sur le marché, mais peuvent être fabriqués localement. Les mesures de la circonférence à hauteur de poitrine (CHP), plutôt que de la hauteur, sont plus faciles à réaliser pour les arbres de grande taille et peuvent être utilisées pour calculer les taux de croissance.

Les calculs des taux de croissance des arbres basés sur la hauteur peuvent parfois ne pas être fiables, les pousses pouvant parfois être endommagées ou mortes, ce qui se traduit par des taux de croissance négatifs pour les jeunes arbres de petite taille, même si l'arbre poussait vigoureusement. Par conséquent, les mesures de diamètre au collet (RCD) ou de la CHP fournissent souvent une évaluation plus stable de la croissance des arbres. Pour les petits arbres, utilisez le pied à coulisse vernier pour mesurer le RCD au point le plus large (en ce qui concerne l'utilisation du pied à coulisse, voir **Section 6.6**). Pour un arbre ayant atteint une CHP de 10 cm, mesurez à la fois le RCD et la CHP la première fois et uniquement la CHP par la suite.

L'inhibition de la croissance des mauvaises herbes (une caractéristique type importante) peut aussi être quantifiée. La mesure de la largeur de la cime et l'utilisation d'un système de notation de la couverture des mauvaises herbes peuvent aider à déterminer le degré de contribution de chaque espèce d'arbre à la «reconquête» du site. Utilisez un mètre à ruban pour mesurer la largeur de la cime des arbres à leur point le plus large. Imaginez un cercle d'environ 1 m de diamètre autour de la base de chaque arbre. Attribuez 3 si la couverture des mauvaises herbes est dense au-dessus du cercle entier; 2 si la couverture des mauvaises herbes et la couverture de la litière de feuilles sont toutes deux modérées; 1 si seules quelques mauvaises herbes poussent dans le cercle et 0 pour aucune mauvaise herbe (ou quasi-absence de mauvaises herbes). Faites-le avant de procéder au sarclage.



Mesurez la largeur de la cime au point le plus large pour évaluer la fermeture du couvert et la «reconquête» du site.

CHAPITRE 7 PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

Analyse des données

Pour chaque espèce, calculez le taux de survie à la fin de la deuxième saison des pluies après la plantation (ou après 24 mois) comme suit:

$$\% \text{ de survie estimée} = \frac{\text{Nbre d'arbres marqués avant survécu}}{\text{Nbre d'arbres marqués plantés}} \times 100$$

Utilisez le taux de survie des arbres étiquetés de l'échantillon pour estimer le nombre d'arbres de chaque espèce ayant survécu à travers l'ensemble du site. Il faut ensuite déterminer le pourcentage de survie du nombre total d'arbres plantés, comme l'indique le **Tableau 7.1**.

Tableau 7.1. Exemple de calcul de taux de survie des espèces.

Espèce	Nbre d'arbres marqués dans l'échantillon	Nbre d'arbres marqués ayant survécu	Estimation du % de survie (%S)	Nbre total des arbres plantés (AP)	Estimation du nbre de survivants (AP × %S/100)
E004	50	46	92	1.089	1.002
E017	50	34	68	678	461
E056	50	45	90	345	311
E123	50	48	96	567	544
E178	50	23	46	358	165
Totaux				3.037	2.482
Estimation du % total de survie		81,7			

Pour déterminer les différences significatives de survie entre les espèces, utilisez le test de distribution du khi-carré (χ^2). Remplissez un tableau avec le nombre d'arbres morts et vivants des deux espèces que vous souhaitez comparer comme suit:

Espèce	Vivants	Mort	Totaux
E123	48	2	50
E178	23	27	50
Totaux	71	29	100
	a	b	a+b
	c	d	c+d
	a+c	b+d	a+b+c+d

Calculez la variable aléatoire khi-carré (χ^2), en utilisant la formule:

$$\chi^2 = \frac{(ad-bc)^2 \times (a+b+c+d)}{(a+b) \times (c+d) \times (b+d) \times (a+c)}$$

Une différence significative de la survie est indiquée par un calcul du khi-carré dont la valeur est supérieure à 3,841 (avec une probabilité <5% d'erreur). Cette valeur critique est indépendante du nombre d'arbres dans les échantillonnages. Dans l'exemple ci-dessus, 30,35 dépasse largement la valeur critique, de sorte que nous pouvons être très confiants que E123 survit beaucoup mieux que E178 (pour plus d'informations, allez à www.math.hws.edu/javamath/ryan/ChiSquare.html). Retirez les espèces à faibles taux de survie des futures plantations et conservez ceux à taux de survie plus élevés (voir **Section 8.5**).

Calculez la moyenne de la hauteur et du RCD des arbres de chaque espèce et calculez les taux de croissance relatifs (TCR, voir **Section 7.5**). Pour montrer des différences significatives entre les espèces, utilisez le test statistique, l'analyse de la variance (voir **l'annexe A2.2**).

Suivi d'autres aspects de la restauration forestière

Les méthodes d'enquête détaillées qui sont utilisées pour déterminer la restauration des forêts sont décrites dans la **Section 7.5**, mais si vous n'avez pas la capacité ni les ressources pour les mettre en œuvre, un simple suivi informel peut au moins donner aux parties prenantes le moindre résultat pour soutenir leur intérêt pour le projet. Faites des suivis réguliers des parcelles plantées et enregistrez le moment des premières fleurs, des premiers fruits ou lorsque les nids d'oiseaux sont vus, sur chacune des essences plantées. Enregistrez toute observation d'animaux (ou leurs signes), en particulier les disperseurs de graines. Une fois que la fermeture du couvert se produit, étudiez les parcelles des plantules ou gaules établies naturellement et enregistrez le retour d'espèces remarquables. Cela contribue à donner une impression du rythme avec lequel la forêt restaurée commence à ressembler à la forêt cible et du rythme du rétablissement de la biodiversité.

Suivi de l'accumulation du carbone

De nombreux bailleurs de fonds veulent savoir le volume de carbone qui est stocké par les arbres dans un projet de restauration afin de pouvoir compenser leurs empreintes carbone ou tirer profit du commerce du carbone. Par conséquent, les bailleurs de fonds exigent souvent que les exécutants de projets suivent les normes internationales en matière d'accréditation et de suivi, qui comprennent des audits indépendants pour vérifier l'accumulation du carbone. Il existe une variété de normes en matière de carbone forestier qui diffèrent dans la manière dont elles sont utilisées pour surveiller les projets forestiers de compensation du carbone. Les quatre normes les plus pertinentes pour les projets de restauration forestière sont énumérées dans le **Tableau 7.2**. Si votre projet est enregistré auprès de l'un de ces organismes de normalisation, veillez à suivre les protocoles de suivi qu'ils prévoient. L'élaboration des documents de conception du projet, la «validation» et la «vérification» du stockage du carbone, ainsi que l'enregistrement des crédits de carbone peuvent atteindre un coût oscillant entre 2.000 et 40.000 dollars américains. Ces frais élevés excluent la participation des petits organismes dans ces projets, sauf dans le cas où de nombreux organismes regroupent leurs projets pour obtenir la certification. En outre, les organisations communautaires ne disposent pas souvent de l'expertise nécessaire pour mener à bien les procédures de demande et de vérification complexes. Nous conseillons les petits organismes de trouver le sponsoring par le biais des mécanismes de responsabilité sociale des entreprises («RSE») qui sont indépendants du financement du carbone.

Tableau 7.2. Organismes de normalisation du carbone.

Organisme	Remarques	site web
CarbonFix Info	Norme simplifiée et conviviale qui garantit des crédits de carbone de haute qualité. Adaptable aux besoins des promoteurs et bailleurs de fonds de projets. Recommandée pour les projets de restauration.	www.carbonfix.info
Verified Carbon Standard (VCS)	Norme de haute qualité qui garantit que les crédits de carbone sont réels, vérifiés, permanents, supplémentaires et uniques. Fournit des méthodologies détaillées pour quantifier la réduction des émissions de carbone.	www.v-c-s.org
Plan Vivo	Les projets sont autorisés à développer leurs propres méthodologies en association avec les instituts de recherche ou les universités. Les objectifs incluent un impact positif sur les communautés rurales. La quantification de l'accumulation de carbone manque la rigueur générale d'autres normes.	www.planvivo.org
Climate, Community & Biodiversity (CCB)	Quantifie les avantages partagés des facteurs socio-économiques et de biodiversité, mais recommande l'utilisation des normes de compensation du carbone volontaire pour certifier les crédits de carbone.	www.climate-standards.org

Pour estimer l'accumulation de carbone dans une forêt qui est en cours de restauration, il vous faut connaître la masse d'arbres par unité de surface. Les troncs d'arbres et les racines contiennent la majeure partie du **carbone forestier aérien** dans une forêt, la quantité de carbone dans les feuilles des arbres et la flore du sol est presque négligeable par rapport à celle contenue dans les troncs et les racines.

Des mesures simples des circonférences des troncs d'arbres sur une superficie connue peuvent fournir une estimation de la majorité du carbone forestier aérien, calculée en utilisant les équations publiées (appelées équations «allométriques») qui décrivent la relation entre le diamètre à hauteur de poitrine d'un arbre (et/ou la hauteur de l'arbre) et sa masse sèche au-dessus du sol en kilogrammes. Ces équations sont préparées par des chercheurs qui abattent des arbres aux diamètres très variés, qu'ils sèchent et pèsent par la suite morceau par morceau. Différentes équations sont utilisées pour différents types de forêts et même pour différentes espèces d'arbres, donc les promoteurs de projets doivent parcourir des documents pour trouver l'équation la plus proche du type de forêt en cours de restauration (voir Brown, 1997; Chambers *et al.*, 2001; Chave *et al.*, 2005; Ketterings *et al.*, 2001; Henry *et al.*, 2011). L'utilisation de ces équations impliquant des calculs difficiles; sollicitez l'aide d'un mathématicien si vous ne les comprenez pas.

S'ils n'existe pas d'équations allométriques valables pour le type de forêt requis, utilisez des valeurs par défaut du type de forêt sur la base de sources internationales, nationales ou locales. Les valeurs par défaut à l'échelle internationale sont répertoriées dans le **Table 7.3**.

Pour échantillonner l'accumulation du carbone sur le terrain, utilisez des poteaux métalliques pour marquer au moins 10 points d'échantillonnage permanents à travers le site de restauration. Utilisez un morceau de ficelle de 5 m de long pour déterminer les arbres qui se trouvent à 5 m

7.4 SUIVI DE L'ÉTAT D'AVANCEMENT

des poteaux, puis mesurez leurs circonférences à hauteur de poitrine (à 1,3 m du sol). Divisez la circonférence de l'arbre par pi (3,142) pour trouver le diamètre de l'arbre. Ensuite, utilisez les équations allométriques pour estimer la masse sèche au-dessus du sol de chaque arbre en kg à partir de son diamètre. Convertissez-la en une valeur par hectare comme suit:

$$\frac{\text{Somme de la masse sèche au-dessus du sol (kg) de la totalité des arbres dans tous les cercles} \times 10.000}{\text{Nombre de cercles} \times 78,6}$$

Divisez le résultat par 1000 pour le convertir en tonnes métriques (c.-à-d. mégagrammes (Mg) en unités SI) par hectare et comparez vos résultats avec les valeurs types des forêts tropicales (**Table 7.3**) pour voir à quel point votre forêt restaurée se rapproche des valeurs cibles de la forêt typique.

Tableau 7.3. Valeurs de la biomasse typique au-dessus du sol pour différents types de forêts tropicales. Les forêts tropicales sèches contiennent habituellement moins de biomasse que celles humides (GIEC, 2006; Tableau 4.7).

Type de forêt	Continent	Biomasse au-dessus du sol (tonnes de masse sèche par hectare)
Forêt tropicale humide	Afrique,	310 (130–510)
	Amérique du N. & S.,	300 (120–400)
	Asie (continentale),	280 (120–680)
	Asie (insulaire)	350 (280–520)
Forêt tropicale humide décidue [= Forêt tropicale saisonnière]	Afrique,	260 (160–430)
	Amérique du N. & S.,	220 (210–280)
	Asie (continentale),	180 (10–560)
	Asie (insulaire)	290
Forêt tropicale sèche	Afrique,	120 (120–130)
	Amérique du N. & S.,	210 (200–410)
	Asie (continentale),	130 (100–160)
	Asie (insulaire)	160

Pour calculer la masse des racines des arbres, multipliez le carbone au-dessus du sol par 0,37 pour la forêt tropicale à feuilles persistantes ou par 0,56 pour la forêt tropicale sèche (Tableau 4.4 dans le GIEC, 2006) ou consultez Cairns *et al.* (1997) pour des proportions chez les autres types forestiers. Ajouter la biomasse aérienne à ces résultats vous donne une estimation de la masse sèche des arbres en tonnes par hectare.

La teneur en carbone de la forêt tropicale sèche varie considérablement selon les espèces, mais la valeur moyenne se situe autour de 47% (tableau 4.3 du GIEC, 2006); Martin & Thomas, 2011). Par conséquent, multipliez le résultat par 0,47 pour arriver à une estimation de la masse de carbone dans les arbres par hectare.

Pour connaître la valeur du carbone, convertissez les tonnes de carbone en une valeur équivalente de tonnes de dioxyde de carbone en multipliant par 3,67, puis recherchez la valeur d'une tonne de l'équivalent du dioxyde de carbone sur les marchés des crédits carbone à l'adresse: www.tgo.ot.th/english/index.php?option=com_content&view=category&id=35&Itemid=38. Voir aussi le manuel du World Agroforestry Centre (ICRAF), disponible gratuitement à l'adresse: www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/manual/MN0050-11/MN0050-11-1.PDF.

7.5 Recherche pour améliorer la performance des arbres

Si vous disposez de ressources suffisantes, vous pouvez envisager de transformer votre projet de restauration forestière en un programme de recherche dans lequel vous collectez plus d'informations que celles habituellement recueillies dans le cadre des procédures de suivi de base décrites ci-dessus. Cela nécessite la collecte de données de façon systématique, sur plusieurs parcelles répliquées – une méthode connue sous le nom de «système de parcelles d'essais en champs» ou SPEC, pour faire court. Un SPEC peut être utilisé pour comparer la performance des essences plantées, pour évaluer les effets des traitements sylvicoles, pour évaluer le rétablissement de la biodiversité et l'accumulation du carbone et pour déterminer le modèle optimal et la gestion des parcelles de restauration. Il peut aussi devenir un précieux outil de démonstration qui peut être utilisé pour enseigner aux autres les techniques de restauration efficaces et comment éviter de répéter les erreurs coûteuses.

Qu'est-ce qu'un SPEC?

Un SPEC est un ensemble de petites parcelles (en général, 50 m × 50 m = 0,25 ha), chacune plantée avec un mélange d'essences différentes et/ou des traitements sylvicoles utilisant le modèle de blocs aléatoires complets décrit au **Chapitre 6** (p. 198) et à **l'annexe A2.1**. Chaque saison de plantation, de nouvelles parcelles sont ajoutées au système. Dans les nouvelles parcelles, les espèces d'arbres et les traitements les plus efficaces au cours des années précédentes sont maintenues, en utilisant le procédé de sélection décrit à la **Section 8.5**, tandis que les essences peu performantes et les traitements infructueux sont supprimés et remplacés par de nouvelles espèces et de nouveaux traitements à tester. Si le travail se passe bien, les nouvelles parcelles produisent des résultats meilleurs que ceux des parcelles plus âgées, car un SPEC s'améliore progressivement en réponse aux nouvelles données. Par conséquent, sélectionnez une zone destinée au SPEC qui a beaucoup de terres inutilisées disponibles pour de futures expansions. La superficie idéale pour la plantation sur une période de 10 ans devrait être d'au moins 20 ha.

L'utilisation de l'espacement recommandé de 1,8 m entre les arbres et d'une taille de parcelle standard de 50 × 50 m nécessite environ 780 arbres par parcelle. Avec une taille de l'échantillonnage minimal acceptable de 20 individus par espèce, il est possible d'avoir un maximum de 39 espèces à tester chaque année.

Objectifs d'un SPEC

Un SPEC a trois objectifs principaux: i) générer des données scientifiques qui sont utilisées pour développer des «meilleures pratiques» en champs pour une restauration forestière efficace; ii) tester la faisabilité de ces meilleures pratiques, et iii) fournir un site de démonstration pour l'éducation et la formation aux méthodes de restauration forestière.

Parmi les questions scientifiques abordées par le SPEC, figurent:-

- Quelles sont les essences testées qui répondent aux critères requis?
- Quelle est la densité de plantation optimale?
- Quels sont les traitements sylvicoles (par exemple, le sarclage, l'épandage d'engrais, le paillage, etc) qui maximisent le rendement des arbres plantés? À quelle fréquence et pendant combien de temps ces traitements doivent-ils être appliqués?
- Comment peut-on optimiser un modèle de plantation (par exemple, combien d'espèces par parcelle)?
- Quelles sont les espèces qui peuvent ou ne peuvent pas être cultivées les unes à côté des autres?
- Quel est le rythme de rétablissement de la biodiversité? Comment la distance qui le sépare de la forêt la plus proche affecte-t-elle le rétablissement de la biodiversité?

7.5 RECHERCHE POUR AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES ARBRES



Un SPEC constitue également un précieux outil d'éducation et de formation.

La recherche dans un SPEC devrait, dans un premier temps, aborder les questions plus simples (concernant la performance des espèces et les traitements sylvicoles), et, par la suite, explorer des questions plus complexes (telles que les mélanges d'espèces, la distance qui sépare le site de la forêt naturelle et ainsi de suite). Comme l'âge et les espèces de tous les arbres sont connus et que la plupart de ceux-ci sont marqués, le SPEC devient inévitablement une ressource pour la recherche qui est très recherchée par d'autres scientifiques et étudiants-chercheurs.

Où faudrait-il mettre en place les SPEC?

En réalité, l'emplacement d'un SPEC peut être déterminé par des questions de base de propriété foncière et de proximité de la structure d'accueil de la FORRU (unité de recherche sur la restauration forestière), mais là où c'est possible, essayez de prendre en compte les considérations scientifiques et pratiques ci-dessous.

Considérations scientifiques

Uniformité – les expériences en parcelles sont notoirement vulnérables à la variabilité des conditions du site. Il pourrait être difficile de séparer les effets des traitements appliqués dans différentes parcelles des effets des différences dans les conditions environnementales entre les parcelles. Dans une certaine mesure, ce problème peut être compensé à l'aide d'un modèle expérimental de blocs aléatoires complets, mais il aide si le SPEC est établi sur un terrain assez uniforme en termes d'altitude, de pente, d'apparence, de substratum rocheux, de type de sol, et ainsi de suite.

Végétation – appliquez les techniques de restauration testées dans un SPEC au stade initial de la dégradation du site (voir section **Section 3.1**).

Valeur de conservation – les SPEC sont particulièrement utiles lorsqu'ils sont situés dans une aire protégée ou dans sa zone tampon, ou là où la conservation de la biodiversité est la priorité absolue de gestion. L'utilisation d'un SPEC pour créer des corridors reliant des vestiges forestiers lui donne une valeur de conservation supplémentaire.

Considérations pratiques

L'accessibilité et la topographie — l'accès raisonnablement aisé, du moins par les véhicules 4x4 (à 4 roues motrices), est essentiel non seulement à la plantation, à l'entretien et au suivi des arbres plantés, mais aussi à la facilitation des visites des parcelles à des fins éducatives. Sélectionnez une zone située à 1 à 2 heures de route de la pépinière ou du siège de la FORRU. De toute évidence, les sites plats offrent des conditions de travail plus faciles que ceux raides.

La proximité d'une communauté locale qui soutient l'idée de la restauration forestière — ceci permet l'échange de connaissances scientifiques et autochtones et l'accès à l'expérience des aspects sociaux des forêts types. Une communauté locale peut constituer une source de main-d'œuvre et de sécurité pour les parcelles d'essai des espèces «framework» (voir **Section 8.2**). L'importance de l'implication de toutes les parties prenantes dans les discussions sur l'établissement d'un SPEC a été abordée au **Chapitre 4**. Les anciennes terres agricoles abandonnées, où la culture est devenue trop difficile ou non rentable en raison de la détérioration des conditions environnementales, présentent les conditions idéales.

Le régime foncier — si l'organisation d'accueil de la FORRU ne dispose pas de terre, elle doit conclure un accord avec l'autorité qui contrôle l'utilisation des terres dans la région. Ce sera probablement le ministère en charge des forêts ou de la conservation ou, éventuellement, une communauté locale.

Mise en place des parcelles

Un SPEC comprend plusieurs parcelles de traitement (T) et deux types de parcelles témoins: les parcelles «témoins de traitement» (TT) et les parcelles «témoins non plantées» (TNP). Tout d'abord, décidez d'un ensemble standard de procédures à suivre pour établir les parcelles TT. Le protocole standard devrait être fondé sur les pratiques les plus connues actuellement pour la plantation d'arbres dans la région, qui peuvent découler de l'expérience, des connaissances autochtones, et en tenant compte des conditions locales. Le protocole standard peut être amélioré d'année en année en intégrant les traitements qui ont le mieux réussi dans les analyses d'expériences en champs de chaque année. Chaque année, les effets de nouveaux traitements, appliqués dans les parcelles T, sont comparés à ceux des parcelles TT.

Commencez avec le protocole suivant et modifiez-le pour l'adapter aux conditions locales:

- Six à huit semaines avant la plantation, mesurez les parcelles; délimitez les angles avec des poteaux en béton ou en matériaux semblables et établissez une carte des parcelles, en indiquant clairement les numéros d'identification des parcelles et des parcelles spécifiques qui recevront des traitements spécifiques.
- Ensuite, coupez les mauvaises herbes au niveau du sol (sauf dans les parcelles témoins non plantées), mais évitez de couper les plants d'arbres et les gaules établis naturellement, ainsi que le recépage des pousses (marquez-les à l'avance avec des poteaux de couleur ou des drapeaux).
- Un mois avant le semis, appliquez un herbicide non résiduel (par exemple, le glyphosate) pour éliminer les mauvaises herbes qui poussent.
- Étiquetez les arbres et procédez à la plantation au moment opportun.
- Plantez le nombre approprié d'espèces d'arbres à soumettre aux essais (si possible, un nombre égal de toutes les essences, au moins 20 arbres de chaque espèce par parcelle) espacées, en moyenne, 1,8 m. Mélangez au hasard les espèces dans chaque parcelle.
- Si nécessaire, appliquez 50 à 100 g d'engrais NPK 15:15:15 dans un anneau distant d'environ 20 cm des tiges d'arbres plantés au moment de la plantation.
- Au cours de la première saison des pluies (ou les 6 premiers mois après la plantation dans une forêt humide), répétez l'application d'engrais et sarcliez autour des arbres (à l'aide d'outils manuels) au moins trois fois, à des intervalles de 6 à 8 semaines (ajustez la fréquence en fonction des précipitations et du taux de croissance des mauvaises herbes).

7.5 RECHERCHE POUR AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES ARBRES

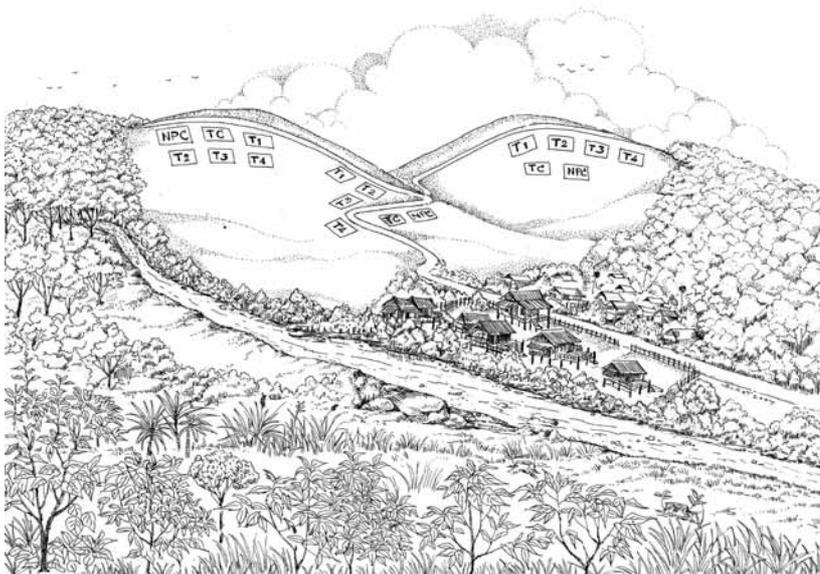
- Au début de la première saison sèche après la plantation (dans les forêts tropicales saisonnièrement sèches), mettez en place des pare-feu autour des parcelles et mettez en œuvre un programme de prévention et d'extinction des incendies.
- Répétez le sarclage et l'application d'engrais au cours de la deuxième saison des pluies après la plantation.
- Au début de la troisième saison des pluies, évaluez la nécessité de poursuivre les opérations d'entretien.

Tout à côté des parcelles TT, établissez en même temps des parcelles de «traitement» (T1, T2, T3, etc.) exactement de la même manière, mais ne variez que l'une des composantes du protocole standard (par exemple, l'application d'engrais ou le sarclage, etc.). La performance des arbres des parcelles T est ensuite comparée à celle des arbres des parcelles TT.

Le modèle expérimental

Un dispositif en blocs aléatoires complets (RCBD) est recommandé. Regroupez en un bloc les répétitions uniques de chaque type de parcelle T avec une parcelle TT et reproduisez les blocs dans au moins trois endroits dans la zone d'étude (il serait mieux de les répéter dans 4 à 6 emplacements). Séparez les blocs d'au moins quelques centaines de mètres, si possible, pour prendre en compte la variabilité des conditions (pente, apparence et ainsi de suite) dans la zone d'étude. Allouez au hasard des traitements à chaque parcelle T au sein de chaque bloc. Plantez des «rangées de protection» constituées d'arbres autour de chaque parcelle et de chaque bloc pour empêcher un traitement d'influencer les autres et pour réduire les effets de bordure.

Ensuite, ajoutez des parcelles «témoins non plantées» (TNP), dans lesquelles aucun arbre n'est planté, aucun traitement appliqué et la végétation est laissée au repos pour connaître la succession naturelle. La fonction des parcelles TNP est de générer des données de base sur le taux de rétablissement naturel de la biodiversité en l'absence de plantations de restauration forestière et de traitements. Le rétablissement de la biodiversité dans les parcelles de restauration est ensuite comparé à ce qui se serait produit naturellement si la restauration forestière n'avait jamais été mise en œuvre. Associez une parcelle TNP à chaque bloc de parcelles TT et T. Si les parcelles TNP sont à proximité des parcelles plantées, les oiseaux qui sont attirés par les arbres plantés se «déverseront» dans les parcelles TNP. Donc, les parcelles TNP devraient être placées à au moins 100 m de parcelles plantées.



Un dispositif en blocs aléatoires, avec trois blocs répartis sur la zone d'étude. Ces blocs sont séparés d'au moins quelques centaines de mètres et situés non loin de la forêt restante. Ici, T = parcelles de traitement; TC = parcelles témoins de traitement («treatment control» en anglais) et NPC = parcelles témoins non plantées («non-planted control» en anglais).

Choix de traitements

Considérez les principaux facteurs qui limitent la survie et la croissance des arbres dans la zone d'étude, et concevez les traitements pour les surmonter. Par exemple, si les éléments nutritifs dans le sol limitent les rendements, essayez de varier le type d'engrais, la quantité pour chaque application et/ou la fréquence d'application. Une autre possibilité consiste à expérimenter l'ajout de compost dans le trou de plantation. Si la concurrence avec les mauvaises herbes est l'obstacle le plus évident, essayez de varier les techniques de sarclage (par exemple, outils manuels ou herbicides) ou la fréquence du sarclage, ou essayez d'utiliser un paillis dense (par exemple, les mauvaises herbes coupées ou le carton ondulé) pour inhiber la germination des graines de mauvaises herbes proches des arbres plantés. D'autres traitements à essayer consistent, entre autres, à placer le gel polymère ou l'inoculation mycorhizienne dans les trous de plantation ou à soumettre les arbres à différents types d'élagage avant la plantation.

Rédigez un plan pour les expériences en champs

Préparez un document de travail, contenant les informations suivantes:

- un croquis du système de parcelles, indiquant les numéros d'identification des parcelles et les parcelles spécifiques qui reçoivent des traitements spécifiques;
- une liste des espèces plantées dans les parcelles et les numéros d'étiquette de chaque arbre planté dans chaque parcelle;
- une description du protocole de plantation standard;
- une description des traitements à appliquer dans chaque parcelle et un calendrier pour leur application;
- un calendrier pour la collecte des données.



L'application uniforme des traitements sylvicoles constitue l'un des éléments les plus importants et les plus coûteux des expériences en champs.

Faites en sorte que tous les membres du personnel de la FORRU reçoivent, chacun, une copie du document, comprennent leurs rôles dans l'établissement, le maintien et le suivi des parcelles, et qu'ils aient reçu une formation suffisante en ce qui concerne la façon d'appliquer des traitements spécifiés. L'une des principales causes de l'échec des expériences est une application insuffisante ou non uniforme des traitements.

Suivi des expériences jeunes arbres

Etiquetage des jeunes arbres

Etiquetez les arbres dans la pépinière avant de les planter, comme décrit dans la **Section 7.4**. Les étiquettes devraient contenir au moins le nombre d'espèces et le nombre d'arbres. Comme renseignements supplémentaires, elles pourraient comporter, entre autres, le numéro de la parcelle et l'année de la plantation, mais quel que soit le système utilisé, deux arbres distincts dans l'ensemble du système de parcelles ne devraient pas porter les mêmes numéros d'étiquette, quels que soient l'endroit et la date de leur plantation.

Quand faudrait-il procéder au suivi?

Comme pour le suivi de base (voir **Section 7.4**), collectez les données environ deux semaines après la plantation et à la fin de chaque période de croissance (c.-à-d. la saison des pluies), la séance de suivi la plus importante se déroulant à la fin de la deuxième saison des pluies après la plantation. La poursuite du suivi à la fin de chaque saison sèche peut fournir des informations plus détaillées sur le moment et les causes de la mort des arbres.

7.5 RECHERCHE POUR AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES ARBRES

Quelles sont les données à recueillir?

Enregistrez les données concernant la survie, la santé, la hauteur, le diamètre au collet, la largeur de la cime et les scores des mauvaises herbes en ce qui concerne les arbres plantés et les arbres établis naturellement, comme pour le suivi de base (voir **Section 7.4**).

Maintenez l'ordre d'origine lors du classement des données dans la feuille de calcul

A partir de la précédente séance de suivi

Voir p234 pour les scores

Voir p235 pour les scores

Suivi des arbres plantés

Nom du fichier: «Monitoring data» (Suivi des données) à MSNM (projet de l'Université)

Nom de la parcelle: 2006

Emplacement de la parcelle: bassin versant de Ban Mae Sa Mai

Date de suivi: 5 novembre 2006

Enregistreur(s): CK, PT, TS, SK

NUMÉRO D'ORDRE	NOMBRE D'ESPÈCES	NUMÉRO DE L'ÉTIQUETTE	NOTE PRÉCÉDENTE	DIAMÈTRE AU COLLET (mm)	HAUTEUR (cm)	LARGEUR DE LA CIME (cm)	BILAN DE SANTÉ (0-3)	SCORE DES MAUVAISES HERBES (0-3)	NOTE
401	344	10		15.0	49.5	56.0	3	3	
402	344	11		22.4	82.0	69.0	2	3	
403	344	12		29.4	185.0	95.0	2	3	
404	344	13		24.4	125.5	74.0	2	3	
405	344	14	MORT						
406	344	15		13.6	46.0	71.0	2	3	
407	344	16		20.6	66.5	63.0	3	2	
408	344	17		12.4	76.0	83.0	2	3	
409	344	18		16.0	59.0	60.0	3	2	
410	344	19		12.8	47.5	51.0	2	3	
411	344	20		28.4	177.5	89.0	3	2	
412	364	1		10.2	52.0	50.0	2	3	
413	364	2		21.4	49.0	7.0	2	3	
414	364	3		19.3	111.0	96.0	3	2	
415	364	4		14.2	55.0	44.0	2	3	
416	364	5		15.4	54.0	68.0	3	3	
417	364	6		10.5	53.5	54.0	2	3	
418	364	7		13.7	86.0	77.0	2	3	
419	364	8		15.7	100.0	62.0	2	3	
420	364	9		19.4	98.0	57.0	2	3	
421	364	10		14.8	61.0	49.5	2	2	
422	364	11		14.9	102.0	94.5	2	3	

Idem pour les essais phénologiques et de germination

Des observations supplémentaires qui pourraient aider à l'interprétation des données et au suivi dans l'avenir



CHAPITRE 7 PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

Triez d'abord les données par numéro de l'espèce, puis par numéro de l'arbres.

No de la parcelle	No de l'espèce	No de l'arbre	15/7/98 Bilan de santé (0-3)	19/11/98 Bilan de santé (0-3)	9/11/99 Bilan de santé (0-3)	5/10/00 Bilan de santé (0-3)	15/7/98 Hauteur (cm)	19/11/98 Hauteur (cm)	9/11/99 Hauteur (cm)	5/10/00 Hauteur (cm)
1	7	1	3	3	2	3	39	93	147	231
1	7	2	3	2	3	3	39	109	173	287
1	7	3	2	3	3	3	53	144	229	347
1	7	4	2	NF	0	0	56	NF	-	-
1	7	5	3	3	3	3	59	164	265	354
1	7	6	2.5	0	0	0	32	-	-	-
1	7	7	3	3	3	3	43	81	128	252
1	7	8	3	3	3	3	41	68	108	171
1	7	9	0.5	0	1	2	30	-	21	40
1	7	10	3	2.5	3	3	64	63	237	300
1	7	11	3	0.5	3	3	49	48	160	300
1	7	12	0.5	0	NF	0	34	-	NF	-
1	7	13	2.5	0	0	0	44	-	-	-
1	7	14	2	1.5	3	2.5	30	29	106	297
1	7	15	2	2	0	0	27	26	-	-
1	7	16	3	2.5	3	3	23	43	90	125
1	7	17	3	3	2.5	3	37	51	140	166
1	7	18	3	2.5	3	0	39	60.5	20	-
1	7	19	3	3		3	28	99	NF	341
1	7	20	2.5	2.5	1.5	3	35	46.5	53	110

Analyse et interprétation des données

Organisation de la feuille de calcul

Tout d'abord, saisissez les données collectées sur terrain dans un tableur informatique. Insérez les nouvelles données à droite des données collectées antérieurement, de sorte qu'une ligne représente la progression d'un arbre individuel suivant un ordre chronologique de gauche à droite. Ensuite, triez les données par lignes, d'abord par le numéro d'espèces, puis par numéro d'arbre. Cette organisation regroupe tous les arbres de la même espèce. Insérez la date à laquelle les données ont été recueillies dans la cellule immédiatement au-dessus de la rubrique de chaque colonne. Puis triez la feuille de calcul par colonne (de gauche à droite), d'abord par rubrique de colonne (ligne 2), puis par date (ligne 1). Ce classement regroupe les mêmes paramètres dans l'ordre chronologique de gauche à droite. Les données peuvent maintenant être facilement parcourues pour les fonctionnalités intéressantes ou les anomalies, et manipulées pour extraire les valeurs requises ci-dessous pour une analyse statistique plus détaillée.

Comparaison des espèces

Comme dans les expériences en pépinière, vous pourriez commencer par comparer la survie et la croissance entre les espèces. Pour comparer les différences de survie, commencez avec des arbres dans les parcelles TT uniquement: parcourez le tableau et comptez le nombre d'arbres ayant survécu dans la parcelle TT dans chaque bloc. Si le même nombre d'arbres de chaque espèce a été planté dans chaque parcelle, saisissez simplement le nombre d'arbres survivants dans une nouvelle feuille de calcul, avec des espèces comme rubriques de colonne et une ligne par bloc (ou répétition), comme indiqué ci-dessous. Si différents nombres d'arbres de chaque espèce ont été plantés, calculez le pourcentage de survie dans chaque parcelle et saisissez ces données dans la nouvelle feuille de calcul. Ensuite, suivez les instructions de l'**annexe 2** pour transformer les données en arc sinus et effectuez une analyse de la variance. Dans ce cas, chaque espèce est l'équivalent d'un «traitement» (il n'y a pas de «témoin» lorsque l'on compare les espèces).

7.5 RECHERCHE POUR AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES ARBRES

15/7/98	19/11/98	9/11/99	5/10/00	19/11/98	9/11/99	5/10/00	9/11/99	5/10/00
RCD (mm)	RCD (mm)	RCD (mm)	RCD (mm)	Score de mauvaises herbes (0-3)	Score de mauvaises herbes (0-3)	Score de mauvaises herbes (0-3)	Largeur du couvert (cm)	Largeur du couvert (cm)
6.2	14.8	23.3	36.7	3	2.5	1	73	115
7.1	17.3	27.5	45.6	2.5	2	2	86	143
9.4	22.9	36.4	55.1	3	2	1	114	173
9.2	NF	-	-	NF	-	-	-	-
10.1	26.2	42.2	56.3	1.5	1	0.5	148	200
6.7	-	-	-	-	-	-	-	-
5.5	12.9	20.3	40.1	1	1	0.5	64	126
4.5	10.8	17.1	27.2	1.5	1	1	95	150
6.1	-	2.1	5.4	-	-	-	-	-
6.7	18.2	29.6	59	1.5	1	1	150	200
5.1	13.4	21.6	47	1.5	1	2	103	200
4.3	-	NF	-	-	NF	-	NF	-
6.5	-	-	-	1.5	-	-	-	-
5.6	9.3	13	37	1.5	2	2	93	150
5.6	6.1	-	-	1.5	-	-	-	-
3.2	10.6	18	21	1.5	1.5	1	80	75
5.4	15.2	25	22	1.5	2	1	90	125
4.3	3.9	3.4	-	1.5	1.5	-	23	-
5.9	24	NF	54	1.5	NF	0	NF	200
5.6	9.2	12.8	14	1.5	0.5	2	65	108

Ensuite, trie les colonnes par rubrique, puis par date pour regrouper les paramètres dans l'ordre chronologique de gauche à droite.

La même procédure peut être suivie pour comparer les moyennes de la hauteur, du diamètre au collet (RCD), de la largeur de la cime des espèces, et les taux de croissance relatifs dans chaque parcelle TT, bien qu'il ne soit pas nécessaire de transformer ces données en arc sinus. En plus de la taille absolue des arbres (hauteur ou RCD), il est utile de savoir le rythme de croissance des

		ESPÈCE																			
		\$1	\$2	\$3	\$4	\$5	\$6	\$7	\$8	\$9	\$10	\$11	\$12	\$13	\$14	\$15	\$16	\$17	\$18	\$19	\$20
Bloc 1		24	4	10	2	25	20	15	10	2	14	25	24	18	5	7	8	12	17	1	5
Bloc 2		22	2	11	3	25	21	16	13	3	15	24	24	13	6	8	9	13	16	2	6
Bloc 3		26	3	12	2	25	23	14	14	5	16	25	25	18	7	9	8	14	15	1	7
Bloc 4		25	4	13	3	24	22	15	13	6	13	24	23	18	8	7	7	13	17	2	6

Nombre d'arbres survivants de chaque espèce dans la parcelle témoin de traitement (TT) de chaque bloc à la fin de la deuxième saison des pluies après la plantation. Vingt-six arbres de chaque espèce ont été plantés dans chaque parcelle TT.

arbres. Ceci est particulièrement important dans les projets de restauration des forêts pour le stockage du carbone. Plus l'arbre planté au départ est grand, plus vite il se développe; le taux de croissance relatif (TCR) est ainsi utilisé pour comparer la croissance des arbres différents. Le TCR exprime l'augmentation de la taille de la plante en tant que pourcentage de la taille moyenne de la plante pendant toute la période de mesure, et donc, il peut être utilisé pour comparer la croissance des arbres qui étaient relativement grands au moment des semis à celle de ceux qui étaient relativement petits. Le TCR peut être calculé en termes de hauteur des arbres comme suit:

$$\frac{\ln H (18 \text{ mois}) - \ln H (\text{lors de la plantation}) \times 36,500}{\text{Nbre de jours entre les mesures}}$$

... où $\ln H$ est le logarithme naturel de la hauteur de l'arbre (cm). Le TCR est l'estimation du pourcentage d'augmentation annuelle de la taille. Il tient compte des différences de tailles d'origine entre les arbres plantés, de sorte que ceci peut être utilisé pour comparer les arbres grands au moment de la plantation avec ceux plus petits. Comparez les valeurs moyennes du TCR parmi les espèces par l'analyse de variance. La même formule peut être utilisée pour calculer les taux de croissance relatifs des diamètres au collet et de la largeur de la cime.

Les comparaisons des espèces, basées uniquement sur les performances en champs, ne suffisent pas pour prendre une décision définitive sur les espèces à planter. Allez à la **Section 8.5** pour voir comment les données sur les performances en champs peuvent être combinées avec d'autres paramètres importants lors de la décision finale sur les espèces qui donnent les meilleurs résultats.

Comparaison des traitements

Les effets des traitements sur les espèces individuelles peuvent être déterminés en utilisant exactement la même procédure analytique. A partir de la principale feuille de calcul, comptez le nombre d'arbres survivants (ou calculez le % de survie) d'une seule espèce pour chacun des parcelles de traitement et témoins de traitement dans tous les blocs. Créez une nouvelle feuille de calcul avec les traitements comme rubriques de colonnes (TT, T1, T2, etc.) et les blocs (ou répétitions) sous forme de lignes. Ensuite, suivez les instructions de **l'annexe 2** pour transformer les données de survie en arc sinus et effectuez une analyse de la variance.

Remplacez les données de survie avec la moyenne des valeurs des parcelles en ce qui concerne la hauteur, le RCD, le TCR, la largeur de la cime et la réduction du score des mauvaises herbes aux fins de déterminer les effets des traitements sur d'autres aspects de la performance en champs (il n'est pas nécessaire de transformer ces données en arc sinus). Ensuite, répétez la même procédure pour toutes les autres espèces.

Différents traitements auront une incidence sur différentes espèces de différentes manières. Il est impossible de fournir des traitements qui soient parfaits pour chaque espèce dans des parcelles de 20 espèces ou plus, de sorte que le but de l'analyse est de déterminer la combinaison optimale des traitements qui ont un effet positif sur la plupart des espèces plantées.

Expérimentation du semis direct

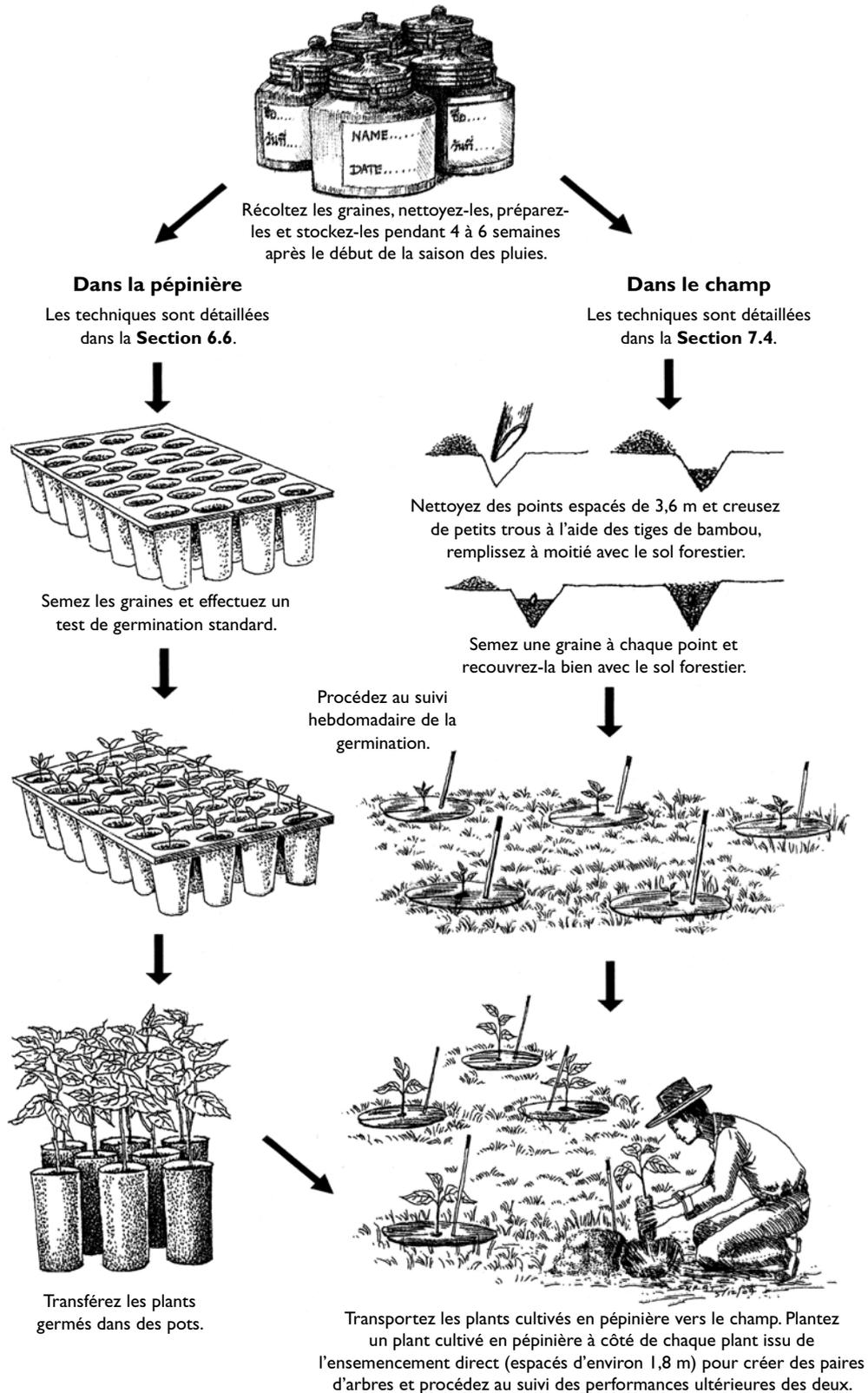
Le semis direct a été décrit comme une solution possible et peu coûteuse pour la plantation d'arbres dans les **Sections 5.3** et **7.2**, mais très peu d'informations sont disponibles pour savoir quels essences sont adaptées à cette technique (**Tableau 5.2**). Le succès ou l'échec de l'ensemencement direct de chaque espèce d'arbre dépend d'une combinaison de nombreux facteurs, dont la structure et la dormance des graines, l'attrait qu'exercent les graines sur les prédateurs de graines, la vulnérabilité des graines à la dessiccation, les conditions du sol et la végétation environnante. Par conséquent, des expériences sont nécessaires pour vérifier si une espèce d'arbre est mieux adaptée au semis direct ou à la plantation de plants cultivés en pépinière et pour déterminer les économies réalisées (dans le cas échéant).

Les informations nécessaires pour l'expérimentation du semis direct

Avant le démarrage de l'expérimentation du semis direct, il s'avère nécessaire de connaître: i) le traitement de pré-semis optimum pour accélérer la germination des graines, et ii) si la fructification ne se produit pas au moment optimal pour le semis direct (c.-à-d. au début de la saison des pluies dans les forêts tropicales saisonnières), quel est le meilleur protocole de stockage de semences pour le maintien de la viabilité des semences pendant la période comprise entre la collecte de semences et le semis direct. Les expériences en pépinière nécessaires pour répondre à ces questions sont décrites à la **Section 6.6**. Il faudra au moins un an pour les réaliser avant de pouvoir commencer l'expérimentation du semis direct.

L'une des principales causes de l'échec du semis direct est la prédation des graines. Si les semences sont traitées (pour activer la germination) avant d'être semées dans des sites déboisés, le temps dont disposent les prédateurs de graines pour trouver et consommer les graines est réduit, et par conséquent, la graine a plus de chance de survivre pour germer. Les traitements qui accélèrent la germination en pépinière peuvent, cependant, parfois augmenter le risque de dessèchement des graines en champs ou rendre les graines plus attrayantes pour les fourmis en exposant leurs cotylédons. Pour les espèces d'arbres ayant des semences récalcitrantes qui sont difficiles à stocker, le semis direct n'est qu'une option pour ces espèces qui produisent des fruits au moment optimal pour le semis direct.

Étapes du modèle expérimental du semis direct



Techniques d'expérimentation du semis direct

Récoltez des graines sur plusieurs arbres, combinez-les et mélangez-les, nettoyez et préparez les graines de manière normale et, si nécessaire, stockez-les jusqu'à la période de plantation en utilisant le protocole de stockage le plus efficace développé à partir des expériences antérieures.

Dans la pépinière, semez des graines dans des bacs modulaires et effectuez un test de germination standard, en comparant les graines témoins (non traitées) à celles soumises au traitement le plus efficace pour accélérer la germination développée à partir des expériences précédentes.

Dans le champ, utilisez le même modèle expérimental que celui utilisé dans la pépinière, avec le même nombre de répétitions de traitements et de témoins et le même nombre de graines dans chaque répétition, mais au lieu d'utiliser des bacs de germination modulaires, semez les graines à des points du semis direct marqués avec des bambous et espacés d'environ 3,6 m à travers le site d'étude. Semez une graine à chaque point.

Procédez au suivi hebdomadaire de la germination des graines, à la fois dans le champ et dans la pépinière, et analysez les résultats en utilisant la méthode déjà décrite dans la **Section 6.6**. Dans le champ, après l'achèvement de la germination, essayez de remuer le sol pour inspecter les graines non germées. Cela pourrait aider à déterminer le nombre de graines ayant été enlevées ou endommagées par les prédateurs de graines et le nombre de graines qui semblent intactes, mais qui n'ont simplement pas pu germer.

Dans la pépinière, une fois que la germination est terminée, transférez les plants germés dans des pots de façon habituelle. Utilisez le protocole standard, développé à partir des expériences précédentes, pour cultiver les plantes en pépinière. Suivez et analysez leur croissance tel que décrite ci-dessus. Procédez au suivi des plantes en champs de la même manière.

Une fois que les plants en pépinière se sont assez développés pour être plantés, transplantez-les dans le champ, comme d'habitude. Cette transplantation peut se faire 1 ou 2 ans après l'ensemencement direct. Plantez un jeune arbre cultivé en pépinière à côté de chaque jeune arbre issu de l'ensemencement direct (espacés d'environ 1,8 m) pour créer des paires d'arbres. Procédez au suivi de la performance des arbres jumelés en champs pendant au moins deux ans après la plantation des jeunes arbres cultivées en pépinière. Utilisez les tests *t* (*t*-tests) pariés pour comparer la croissance des arbres cultivés en pépinière et les arbres issus de l'ensemencement direct.

D'autres expériences sur le semis direct

Il existe de nombreux autres traitements qui peuvent être incorporés dans ce modèle expérimental de base. Si l'enfouissement dans le sol des graines ne parvient pas à décourager leur prédation dans le champ, essayez d'expérimenter le traitement des semences avec des répulsifs chimiques pour rendre les graines peu attractives pour leurs prédateurs, mais n'oubliez pas de tester les effets des répulsifs chimiques sur les semences en pépinière car le répulsif peut également avoir un effet sur la germination.

Les expériences qui varient les techniques d'entretien utilisées autour des points du semis direct pourraient également suggérer la manière dont les résultats pourraient être améliorés. Essayez de changer les techniques de sarclage ou de paillage autour des points du semis direct pour empêcher la germination des mauvaises herbes dans le voisinage immédiat des jeunes plants, en particulier pendant les premiers mois après la germination ou alors semez plus d'une graine à chaque point du semis direct pour surmonter les effets de faibles taux de germination.



Le semis direct fonctionne certainement pour certaines espèces. Comparez l'essence *Sarcosperma arboreum* issue du semis direct à gauche avec l'arbre cultivé en pépinière qui a germé à partir du même lot de semences à droite.

Le semis direct permet-il de réduire les coûts?

Puisque le semis direct ne nécessite pas une pépinière, il devrait réduire les coûts de restauration forestière. Cependant, le semis direct nécessite le sarclage autour des points d'ensemencement car les jeunes plants récemment germés sont très vulnérables à la concurrence aux mauvaises herbes. L'application d'engrais et de paillis autour des points du semis direct au cours de la première année fait également augmenter les coûts. Il faut donc avoir un détail de toutes les dépenses tout au long d'une expérience de semis direct afin de vérifier si cette technique fait réellement baisser les coûts globaux de la restauration forestière.

7.6 Recherche sur le rétablissement de la biodiversité

La mesure ultime du succès de la restauration forestière est le degré de rétablissement de la biodiversité aux niveaux associés à l'écosystème forestier cible. Le but du suivi de la biodiversité est donc de déterminer le rythme de ce rétablissement et, finalement, d'améliorer les méthodes de restauration de manière à accélérer le rétablissement de la biodiversité.

Procéder au suivi de toute la biodiversité n'est pas pratique, donc pour la restauration des forêts, le suivi de la biodiversité se concentre sur les aspects qui sont directement liés à la restitution des mécanismes naturels de régénération de la forêt, notamment la dispersion des graines et l'établissement des semis des essences recrutées (c.-à-d. les nouvelles essences, à l'exclusion de celles plantées). Certaines espèces ou certains groupes pourraient servir d'indicateurs pour la santé globale de la forêt.

Il faut se poser les quatre questions cruciales suivantes:

- Les arbres plantés (et/ou les techniques de RNA) produisent-ils, à un âge précoce, des ressources (par exemple, des fleurs, des fruits et ainsi de suite) qui sont susceptibles d'attirer les animaux disperseurs de graines?
- Les animaux disperseurs de graines sont-ils présents dans la zone, et si oui, sont-ils réellement attirés par ces ressources?
- Les graines qui sont apportées par ces animaux germent-elles effectivement, en augmentant la richesse spécifique des semis d'arbres ou des jeunes arbres s'établissant naturellement sous les arbres plantés?
- Les graines dispersées par le vent s'établissent-elles aussi naturellement?

Ici, nous présentons quelques techniques qui peuvent être utilisées pour répondre à ces questions. Le suivi du rendement des arbres plantés peut montrer une nette amélioration au bout de 2 à 3 ans, mais le rétablissement de la biodiversité prend beaucoup plus de temps; le suivi peut se poursuivre au cours d'une période de 5 à 10 ans, mais à des intervalles moins fréquents.

La nécessité du suivi de la biodiversité doit être considérée dès le début des expériences en champs lors de la conception d'un SPEC. Les parcelles témoins non plantées doivent être incorporées dans un SPEC, et une étude de la biodiversité des parcelles témoins et des parcelles devant être soumises à des traitements de restauration doit être réalisée avant la préparation du site. Ceci fournit les données de base essentielles qui permettront d'évaluer les modifications ultérieures de la biodiversité. La biodiversité est ensuite étudiée à la fois dans les parcelles témoins et de restauration et comparée avec celle de la forêt intacte à proximité (c'est-à-dire l'écosystème forestière cible).

Après chaque séance de collecte de données, deux types de comparaisons sont effectuées: i) les comparaisons effectuées avant et après entre les données actuelles et les données de base (pré-semis), et ii) les comparaisons des parcelles témoins et de restauration. De cette façon, l'amélioration du rétablissement de la biodiversité due aux actions de restauration peut être distinguée de celle due à la succession écologique naturelle. Le rétablissement relatif de la biodiversité peut alors être calculé comme un pourcentage de celui enregistré par les mêmes méthodes dans la forêt cible.

Etudes phénologiques

Effectuer des descentes fréquentes sur les parcelles de restauration, tout en notant les arbres qui produisent des fleurs et des fruits, peut fournir la plupart des données nécessaires sur les arbres qui produisent des ressources susceptibles d'attirer les animaux disperseurs de graines. Mettez en place un réseau de sentiers dans les parcelles. Chaque mois, parcourez les sentiers et collectez les informations suivantes pour les arbres situés à moins de 10 m du sentier:

- la date de l'observation;
- le numéro d'identification du bloc/de la parcelle;
- le nombre d'arbres (y compris le nombre d'espèces);
- la présence de fleurs ou de fruits: utilisez une grille de notation de 0 à 4 (voir **Section 6.6**);
- des signes de la faune: les nids, les traces, les fèces et ainsi de suite, soit sur ou près des arbres;
- des observations directes d'animaux utilisant l'arbre pour se nourrir, comme perchoirs pour oiseaux et ainsi de suite.

Saisissez chaque observation, sur une seule rangée, dans un tableau pour permettre une compilation facile des données par espèce ou par date. Déterminez le plus jeune âge (temps écoulé depuis la plantation) de floraison et de fructification des premiers individus d'une espèce. La fréquence des observations (à l'intérieur d'une espèce) peut être utilisée comme une indication

7.6 RECHERCHE SUR LE RÉTABLISSMENT DE LA BIODIVERSITÉ

générale de la prévalence de la floraison ou de la fructification au niveau des espèces. Pour des détails supplémentaires, mesurez la circonférence à hauteur de poitrine (CHP) ou RCD et la hauteur des arbres à fleurs ou à fruits afin d'établir des corrélations entre la taille des arbres et l'âge à la maturité. La floraison de certaines espèces peut être inhibée si les arbres sont couverts par les cimes des arbres avoisinants. S'il y a une certaine variation dans l'incidence de la floraison au sein d'une espèce, le degré d'ombrage pour chaque arbre à fleurs pourra être codifié. En plus d'évaluer la production des ressources naturelles, le suivi mensuel peut rapporter beaucoup plus d'informations sur les essences plantées, comme les attaques des parasites et les maladies, et peut fournir une alerte rapide sur les perturbations des parcelles par les activités humaines. Ce genre simple de suivi qualitatif est une excellente façon d'impliquer les populations locales dans le suivi des sites de restauration forestière, car il est facile à apprendre et ne nécessite pas de qualification spéciale.



Le matériel de pépinière de *Bauhinia purpurea* commence la floraison et la nouaison dans les 6 mois après la plantation, en fournissant des aliments aux oiseaux et aux insectes.

Suivi de la faune

Toutes les espèces sauvages de recolonisation (les plantes et les animaux) contribuent à la biodiversité, mais les animaux disperseurs de graines peuvent accélérer le rétablissement de la biodiversité par rapport à d'autres espèces. Les oiseaux, les chauves-souris frugivores et les mammifères de taille moyenne sont les principaux groupes d'intérêt, mais parmi eux, la communauté d'oiseaux est la plus facile à étudier.

Les oiseaux constituent un groupe indicateur important

Les oiseaux constituent un groupe indicateur commode pour l'évaluation de la biodiversité, car :

- ils peuvent être relativement faciles à voir et beaucoup sont faciles à identifier;
- de bons guides d'identification couvrent maintenant la plupart des régions tropicales;
- la plupart des espèces sont actives le jour;
- les oiseaux occupent la plupart des niveaux trophiques des écosystèmes forestiers — herbivores, carnivores, insectivores et ainsi de suite — et donc une grande diversité d'oiseaux indique généralement une grande diversité de plantes et d'espèces proies, notamment les insectes.

CHAPITRE 7 PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

Quelles sont les questions qui devraient être abordées?

- Quelles sont les espèces d'oiseaux qui se trouvaient dans la région avant la restauration?
- Quelles sont les espèces d'oiseaux qui sont caractéristiques de l'écosystème forestier cible et ces espèces reviennent-elles sur les parcelles forestières restaurées? Si oui, combien de temps après les actions de restauration?
- Quelles sont les espèces d'oiseaux visitant les parcelles qui sont plus susceptibles de disperser les graines d'arbres forestiers dans des parcelles de restauration?
- Quelles sont les espèces d'oiseaux qui sont disparues de la zone à la suite des activités de restauration des forêts et quand a eu lieu cette disparition?

Quand et où les relevés d'oiseaux devraient-ils être effectués?

Etudiez l'ensemble du SPEC une fois qu'il a été délimité, mais avant la mise en œuvre des activités qui sont susceptibles d'altérer les habitats d'oiseaux (c'est-à-dire avant la préparation du site pour la plantation). Cette étude fournit les données de référence qui permettent de mesurer les changements. Par la suite, effectuez des relevés d'oiseaux de même intensité dans les parcelles de restauration et les parcelles témoins et aussi dans la zone la plus proche de la forêt cible (voir **Section 4.2**). Des relevés annuels sur les oiseaux suffisent en général

Fiche d'enregistrement des relevés d'oiseaux		Nom du fichier: parcelle de restauration, âgée de 10 ans				
Date: 17/12/05		Temps: ensoleillé, très chaud				
Numéro de bloc: G1		Numéro de la parcelle: EG01				
Heure de fin: 09H30		Heure de début: 06H30			Enregistreur: DK, OM	
Temps	Espèces	Nbre d'oiseaux (sexe)	Vue ou chant/appel	Distance à partir du point (m)	Activité	Espèce d'arbre (le cas échéant)
06H30	Bulbul à tête noire	2	Vue	10	Alimentation à base de fruits	<i>Ficus altissima</i>
06H30	Moucheron aux ailes dorées-pie-grèche	1	"	10	Recherche des insectes	<i>Ficus altissima</i>
06H30	Moucheron bleu de montagne	1	"	10	Capture des mouches	<i>Choerospondias axillaris</i>
06H40	Bulbul à tête fuligineuse	3	"	15	Abandon de la cime	<i>Betula alnoides</i>
06H45	Pouillot à grands sourcils	2	"	5	Déplacement dans le couvert forestier, alimentation	De nombreuses espèces
06H45	Pouillot de Pallas	1	"	5	Déplacement dans le couvert forestier, alimentation	De nombreuses espèces
06H45	Geai	2	Appels entendus	30	Appel à partir des arbres à proximité	Inconnue
06H50	Pie robin	1 mâle	Vue/chant	8	Fouille du tapis forestier, courtes chansons également	
06H55	Coucal toulu	1	Vue	10	Vol entre les arbres	
07H05	Yuhina à tête marron	10+	"	5	Déplacement dans le couvert forestier en quête de nourriture	De nombreuses espèces
07H10	Bulbul concolore	2	"	12	Prise de nourriture sur les fruits	<i>Ficus hispida</i>
07H22	Hirondelle de Bonaparte	25+	"	50	Chasse des insectes au-dessus de sa tête	
07H30	Dicée à dos rouge	1 mâle	"	5	Alimentation à base de nectar	<i>Erythrina subumbrans</i>

7.6 RECHERCHE SUR LE RÉTABLISSEMENT DE LA BIODIVERSITÉ

pour détecter des changements dans leurs communautés. Effectuez les relevés à la même période chaque année car la richesse en espèces d'oiseaux fluctuera en fonction des systèmes de migration saisonnière. Observez les oiseaux pendant les 3 premières heures après l'aube et les 3 dernières heures avant le coucher du soleil. Prévoyez des périodes d'observation d'une heure dans chaque parcelle, en alternant les parcelles à des intervalles horaires, mais veillez à ce que, au cours de toute la période de relevé, les heures de visite consacrées pour chaque parcelle soient les mêmes, réparties également entre les périodes d'observation de la matinée et du soir.

Collecte de données

Utilisez la méthode des «indices ponctuels d'abondance» pour compter les oiseaux à partir du centre de chaque parcelle. Cette méthode peut être utilisée aussi bien pour compter les espèces que pour estimer la densité de la population d'oiseaux (Gilbert *et al.*, 1998; Bibby *et al.*, 1998). Tenez-vous au centre de chaque parcelle et enregistrez tous les contacts d'oiseaux pendant 1 heure à la fois par la vue et par le chant. Enregistrez les espèces et le nombre d'oiseaux et la distance estimée à partir de votre position d'observateur quand les oiseaux apparaissent pour la première fois dans la parcelle. Pour éviter de recenser plusieurs fois les mêmes individus d'oiseaux, arrêtez pendant cinq minutes de recenser cette même espèce d'oiseaux après le premier enregistrement. Notez les espèces d'arbres (et le numéro de l'arbre s'il porte une étiquette), sur lesquelles les oiseaux exercent une activité quelconque (en particulier l'alimentation) et leur position (tronc, partie inférieure du couvert, partie supérieure du couvert, etc.).

Analyse des données

Répondez à la plupart des questions énumérées plus haut en analysant simplement les listes d'espèces et en comptant le nombre d'espèces d'oiseaux qui recolonisent les parcelles de restauration et celles qui disparaissent à la suite des activités de restauration forestière.

Pour calculer le degré de rétablissement de la communauté d'oiseaux, comparez la liste des espèces de la forêt vierge cible avec celle des parcelles de restauration. Calculez le pourcentage des espèces trouvées dans la forêt que l'on retrouve également dans les parcelles restaurées et analysez la manière dont ce pourcentage varie au fil des périodes successives de relevés. Ensuite, cherchez à connaître les espèces qui sont frugivores. Ce sont les espèces cruciales qui sont les plus susceptibles de disperser les graines de la forêt dans les parcelles de restauration.

Pour une analyse quantitative de la richesse spécifique des communautés d'oiseaux, nous recommandons la méthode de la liste de MacKinnon (MacKinnon & Phillips, 1993; Bibby *et al.*, 1998), un moyen de calculer une courbe de rétablissement d'une espèce et un indice d'abondance relative. Pour les instructions détaillées et un exemple pratique, voir Part (partie) 5 de FORRU, 2008 (www.forru.org/FORRUEng_Website/Pages/engpublications.htm).



Utilisez des jumelles, des télescopes et vos oreilles pour détecter les oiseaux à une distance de 20 m à partir d'un seul point au centre d'une parcelle d'essai de restauration forestière.



Les bulbuls sont les «bêtes de somme» de la restauration des forêts en Afrique et en Asie. Ils se nourrissent de fruits dans la forêt restante et dispersent les graines de nombreuses espèces d'arbres dans les parcelles de restauration forestière.

Les mammifères

Les mammifères peuvent être divisés en deux groupes d'intérêt: i) les espèces frugivores qui sont capables de disperser des graines de la forêt intacte dans les sites restaurés (par exemple, les grands ongulés, les civettes, les chauves-souris frugivores et ainsi de suite), et ii) les prédateurs de graines, qui pourraient limiter l'établissement des plantules des essences recrutées dans les sites restaurés (en particulier les petits rongeurs).

Les mammifères sont beaucoup plus difficiles à étudier que les oiseaux, la plupart des espèces étant nocturnes et très timides, de sorte que les observations directes de mammifères sont généralement peu nombreuses et espacées. Les données opportunistes et anecdotiques (plutôt que les données quantitatives – enquête systématique) sont plus communément utilisées pour déterminer le rétablissement des communautés de mammifères après la restauration forestière.

Pour les mammifères de taille moyenne ou de grande taille, les pièges photographiques sont un moyen très efficace de déterminer le retour des espèces sur les sites de restauration. Les appareils photo numériques logés dans des étuis camouflés et résistants aux intempéries qui sont déclenchés par le mouvement dans le champ de vision n'ont jamais été aussi bon marché (les prix oscillent entre 100 et 200 dollars américains). L'appareil électronique protégé par un mot de passe signifie que les caméras ne sont d'aucune valeur pour les voleurs potentiels. Les piles durent plusieurs mois et des milliers d'images peuvent être accumulées sur une seule carte mémoire (par exemple, www.trailcampro.com/cameratrapsforresearchers.aspx).



Les pièges photographiques prennent des images en noir et blanc la nuit (sans flash) et des images de couleur pendant la journée de tout ce qui se meut. Le blaireau à gorge blanche (en haut à gauche) et la grande civette de l'Inde (en haut à droite) apportent des graines dans des parcelles de restauration. Les chats-léopards (en bas à gauche) aident à lutter contre les prédateurs de graines. Les caméras peuvent aussi aider à détecter la chasse illégale (en bas à droite).

La capture d'animaux vivants, à l'aide de pièges à rat disponibles localement, est une autre technique utile, en particulier pour les petits mammifères comme les rongeurs, mais avec une forte intensité de main-d'œuvre et donc coûteuse. Disposez des pièges appâtés espacés de 10 à 15 m en utilisant un modèle de grille de 7 × 7. Attendez-vous à des taux de capture de moins de 5%; il faut donc déployer beaucoup d'efforts pour relativement peu de données. Attendez-vous à enregistrer une forte baisse des populations de prédateurs-rongeurs de graines dans les parcelles de restauration, au bout de 3 à 4 ans après la plantation, période à laquelle la végétation dense herbacée qui fournit une couverture à ces petits mammifères aura été ombragée par le couvert forestier en développement. Lors de la manipulation des animaux sauvages, assurez-vous que vos vaccins contre les maladies transmises par les animaux, en particulier la rage, soient à jour.

7.6 RECHERCHE SUR LE RÉTABLISSEMENT DE LA BIODIVERSITÉ

La plupart des données enregistrées concernant les mammifères dans les parcelles de restauration des forêts doivent provenir des observations indirectes de leurs traces, de leurs restes de nourriture et d'autres signes. Ceux-ci peuvent être enregistrés au cours du suivi phénologique régulier des parcelles plantées et des parcelles témoins (non plantées). La fréquence des observations peut être utilisée comme un indice d'abondance et un déterminant de l'augmentation ou la diminution des populations des différentes espèces de mammifères. Effectuez une étude similaire, avec le même degré d'effort d'échantillonnage, dans le vestige forestier intact le plus proche pour déterminer le pourcentage de la faune des mammifères d'origine qui recolonise les parcelles restaurées.

Les pièges à sable permettent d'avoir des empreintes plus claires et plus faciles à identifier.

Pour une évaluation plus quantitative, utilisez des pièges à sable pour enregistrer la densité et la fréquence des traces de mammifères. Dégagez les feuilles mortes des placettes d'échantillonnage et saupoudrez la surface du sol avec de la farine ou du sable. Les mammifères qui marchent sur les placettes d'échantillonnage laisseront des empreintes claires qui peuvent être mesurées et identifiées.

Enfin, des informations anecdotiques peuvent être recueillies auprès des populations locales en les interrogeant. Utilisez les images dans les guides d'identification de mammifères (plutôt que des noms locaux) pour demander aux populations locales les types d'espèces de mammifères qu'elles voient fréquemment dans le SPEC et les vestiges forestiers à proximité et si l'abondance de ces espèces semble être en augmentation ou en diminution.



Suivi des essences «recrutées»

Dans les écosystèmes forestiers tropicaux non perturbés, la plupart des graines sont dispersées par les animaux. Un des principaux objectifs des relevés oiseaux et de mammifères est de déterminer si les sites de restauration attirent les disperseurs de graines. Mais, les graines apportées par les animaux germent-elles et se développent-elles effectivement pour devenir des arbres qui contribuent à la structure globale de la forêt? On peut répondre à cette question par des études périodiques pour identifier les espèces d'arbres «recrutées» (c.-à-d. les essences non plantées qui recolonisent le site de façon naturelle).

Dans les écosystèmes forestiers, la communauté d'arbres est un bon indicateur de toute la communauté globale de la biodiversité. Les arbres sont la composante dominante de l'écosystème, en offrant des habitats différents ou des niches à d'autres organismes, tels que les oiseaux et les épiphytes. Ils sont à la base de la chaîne alimentaire et représentent la majeure partie des nutriments et de l'énergie dans l'écosystème. Une communauté d'arbres sains et diversifiés indique par conséquent un écosystème forestier sain et diversifié. Les arbres sont faciles à étudier. Ils sont immobiles, faciles à trouver et relativement faciles à identifier.

Quelles sont les questions qui devraient être examinées?

- Quelles sont les essences qui sont présentes avant le début des activités de restauration forestière?
- Quel est le pourcentage des espèces d'arbres composant l'écosystème forestier cible qui recolonisent les parcelles de restauration?
- Quelles sont les espèces herbacées forestières qui recolonisent les parcelles de restauration forestière et combien de temps après la plantation d'arbres?

Quand et où les relevés de végétation devraient-ils être effectués?

Etudiez la zone du SPEC une fois qu'elle a été délimitée, mais avant la mise en œuvre des activités qui modifient la végétation (c'est-à-dire avant la préparation du site pour la plantation). Cette étude fournit les données de référence qui permettront de mesurer les changements observés. Par la suite, effectuez des relevés de végétation avec le même effort d'échantillonnage dans les parcelles de restauration et les parcelles témoins et aussi dans la zone la plus proche de la forêt cible pour déterminer le nombre d'espèces de l'écosystème forestier cible qui recolonisent les parcelles de restauration.

CHAPITRE 7 PLANTATION, ENTRETIEN ET SUIVI DES ARBRES

Dans les climats saisonnièrement secs, le caractère de la végétation, en particulier la présence ou l'absence de plantes herbacées annuelles, varie considérablement avec les saisons. Pour capturer cette variabilité, effectuez des relevés de végétation 2 à 3 fois par an pendant les premières années après la plantation, puis à des intervalles plus longs par la suite. Si vous ne disposez que de ressources pour réaliser des relevés annuels, assurez-vous de les réaliser à la même période de l'année. Le sarclage pendant les premières années perturbera bien sûr la végétation; par conséquent, effectuez des relevés de végétation juste avant la période prévue pour le sarclage.

Méthodes d'échantillonnage de la végétation

Mettez en place des unités d'échantillonnage (UE) circulaires permanentes, à travers le site d'étude, avec un nombre égal d'UE dans les parcelles de restauration, les parcelles témoins non plantées (TNP) et la forêt cible restante. Marquez le centre de chaque unité d'échantillonnage avec un poteau métallique ou en béton (non combustible) et utilisez un bout de ficelle de 5 m pour déterminer le périmètre de chaque UE. Placez au moins quatre UE au hasard dans chaque parcelle de 50 × 50 m. Les espèces qui se trouvent à l'extérieur de l'UE peuvent également être considérées «présentes dans le voisinage». Même si elles ne contribuent pas aux indices de diversité des UE décrits ci-dessous, elles ajouteront des éléments de preuve qualitatifs au rétablissement de la biodiversité.

Collecte de données

Au sein de chaque UE, étiquetez chaque jeune arbre dont la taille est supérieure à 50 cm. Pour chaque arbre marqué, notez: i) le numéro d'étiquette; ii) si l'arbre a été planté ou s'est établi naturellement; iii) le nom de l'espèce; iv) la hauteur; v) le RCD (ou la CHP si l'arbre est assez grand); vi) le score (bilan) de santé (voir **Section 7.5**); vii) la largeur de la cime; et viii) le nombre de tiges qui poussent. Les plantules ou les plants dont la taille est inférieure à 50 cm peuvent être considérés comme faisant partie de la flore du sol.



Lors du démarrage de relevés de végétation, travaillez avec un botaniste professionnel sur le terrain si possible.

Une étude de la flore du sol peut être réalisée en même temps, mais pour cette étude, le rayon de l'UE peut être réduit à 1 m. Enregistrez les noms de toutes les espèces reconnues, y compris l'ensemble des plantes herbacées, des plantes rampantes, des arbres ligneux, des arbustes et des plantes grimpantes (dont la taille est inférieure à 50 cm). Notez l'abondance de chaque espèce (par exemple, utilisez l'échelle de Braun-Blanquet ou l'échelle Domin).

Pour l'identification des espèces, il est plus facile de travailler directement avec un botaniste taxonomiste sur le terrain plutôt que de recueillir des spécimens de référence de toutes les espèces rencontrées et de les faire identifier plus tard, dans un herbier.

Analyse des données

Analysez les données concernant les arbres dont la taille est supérieure à 150 cm et le reste de la flore du sol séparément. Préparez une feuille de calcul avec les espèces dans la première colonne (toutes les espèces rencontrées lors de l'étude entière dans toutes les UE) et les numéros des UE dans la première ligne. Dans chaque cellule, saisissez le nombre d'arbres de chaque espèce dans chaque UE (ou le degré d'abondance). La liste des espèces pour l'ensemble de l'étude sera longue et le nombre d'espèces dans chaque UE sera relativement faible, donc la plupart des valeurs saisies dans la matrice de données sera de zéro. Toutefois, les valeurs nulles doivent toujours être saisies pour permettre le calcul des indices de similarité et/ou de différence. Ajoutez les données de chaque étude subséquente à la droite des données actuelles, de sorte que les données peuvent être triées dans l'ordre chronologique facilement par colonne.

7.6 RECHERCHE SUR LE RÉTABLISSEMENT DE LA BIODIVERSITÉ

Commencez par une simple analyse des données et la comparaison des listes d'espèces des parcelles de restauration, des parcelles témoins non plantées et de la forêt cible. Quelles sont les espèces pionnières tolérantes au soleil qui sont les premières couvertes par les arbres plantés ou issus de la régénération naturelle? Quelles sont les espèces caractéristiques du type forestier cible qui sont les premières à s'établir naturellement dans les parcelles de restauration? Sont-elles dispersées par le vent ou les animaux? Si elles sont dispersées par les animaux, quelles sont les espèces animales les plus susceptibles d'apporter leurs graines dans les parcelles de restauration? Lesquelles parmi les des essences plantées sont les plus susceptibles d'attirer ces importants animaux disperseurs de graines? Les réponses à ces questions peuvent être trouvées sans une analyse statistique complexe, et elles vous aideront à décider de la manière d'améliorer les mélanges d'espèces et du modèle de plantation des futurs essais en champs afin de maximiser les taux de rétablissement de la biodiversité.

Une des méthodes les plus simples pour résoudre la question du degré de ressemblance entre les parcelles de restauration et la forêt cible est de calculer un «indice de similarité». La méthode de calcul la plus simple est l'indice de Sorensen:

$$\frac{2C}{(PR + FC)}$$

... où PR = nombre total d'espèces recensées dans les parcelles de restauration, FC = nombre total d'espèces recensées dans la forêt cible et C = nombre d'espèces communes aux deux habitats. Lorsque toutes les espèces se trouvent dans les deux habitats, la valeur de l'indice de Sorensen devient 1, de sorte que le rétablissement de la biodiversité peut être représenté par la valeur de l'indice qui se rapproche de la valeur 1 au fil du temps. De même, les parcelles de restauration peuvent être comparées avec les parcelles TNP, avec l'espoir de voir l'indice diminuer au fil du temps, du moment où la forêt restaurée devient moins semblable aux zones ouvertes dégradées. Dans les parcelles de forêts tropicales récemment restaurées, cet indice serait le plus approprié pour comparer les communautés végétales, d'oiseaux ou de mammifères.

Tableau 7.4. Exemple de méthode de calcul d'un indice de similarité.

	Parcelles de restauration	Forêt cible
Essence A	Présente	Absente
Essence B	Absente	Présente
Essence C	Présente	Présente
Essence D	Présente	Présente
Essence D	Absente	Présente
	C	2
	PR	3
	FC	4
	Indice Sorensen	0,57

L'indice de Sorensen n'utilise que les données de présence/d'absence et est facile à calculer, mais il ne tient pas compte de l'abondance relative des espèces recensées. Les «fonctions de ressemblance» plus sophistiquées, qui prennent en compte l'abondance, sont décrites par Ludwig et Reynolds (1988, **Chapitre 14**). Ces calculs plus complexes peuvent être utilisés (par exemple, dans l'analyse typologique et l'ordination) pour classer les UE en fonction de leur degré de ressemblance ou de différence.

ETUDE DE CAS 5

District de Kaliro

Pays: Ouganda

Type de forêt: Forêts d'*Albizia-Combretum*

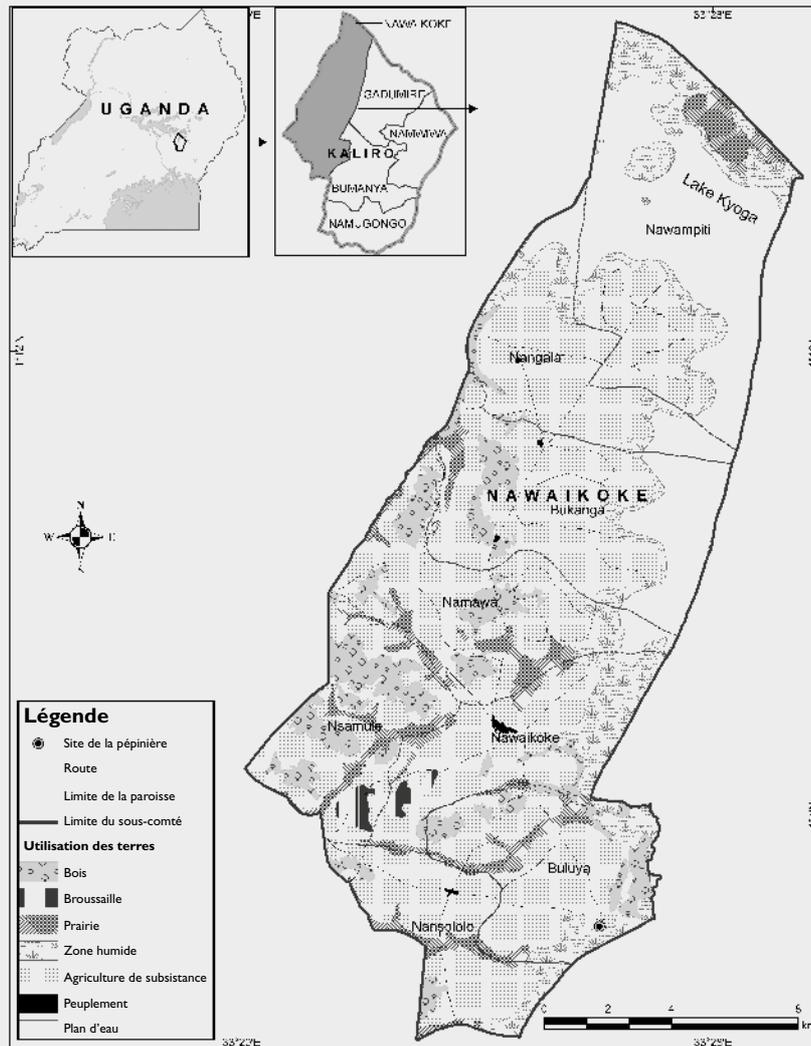
Nature de la propriété: Il s'agit essentiellement de petites exploitations agricoles appartenant à des propriétaires privés.

Gestion et utilisation communautaires: Agriculture mixte, abattage des arbres pour la production du charbon et du bois, défrichage des terres pour les cultures.

Niveau de dégradation: D'importantes quantités d'arbres matures sont abattus à des fins d'exploitation ou la forêt est nettoyée pour l'agriculture.

Contexte

La présente étude fait partie de ma thèse de PhD, dont le thème est: '*Ecology, conservation and bioactivity in food and medicinal plants in East Africa*'. Elle a abordé la germination des graines et la croissance des plantules des essences médicinales et testé l'applicabilité de la méthode des



espèces «framework» pour la conservation des arbres médicinaux et de leur environnement dans le district de Kaliro en Ouganda. Elle vient à la suite de précédentes études ethnobotaniques visant à déterminer les espèces végétales utiles, dont les espèces médicinales (Tabuti *et al.*, 2003, 2007).

Des tradipraticiens locaux ont identifié cinq plantes ligneuses médicinales considérées parmi les plus importantes, mais qui sont difficiles à trouver: *Capparis tomentosa*, *Securidaca longipedunculata*, *Gymnosporia senegalensis*, *Sarcocephalus latifolius* et *Psorospermum febrifugu*. Dans une enquête de terrain, nous avons trouvé des graines de *C. tomentosa*, *S. longipedunculata* et de *S. latifolius* et a mis en place une parcelle d'essai de semis direct, mais cette méthode a échoué.

Nous avons donc décidé de mener des expériences en Norvège et avons obtenu un taux élevé de germination de graines exposées à la lumière et une croissance rapide de jeunes plantules de *Fleroya rubrostipulata* et *Sarcocephalus latifolius* (Stangeland *et al.*, 2007). Nous avons également voulu établir de nouvelles parcelles d'essais de retour en Ouganda, mais il nous a fallu trouver des méthodes plus efficaces sur le terrain. Deux de mes collègues, travaillant en Thaïlande, m'ont parlé de la méthode des espèces «framework» qu'ils ont utilisée (FORRU, 2008; www.forru.org). J'ai adapté cette technique et ai mis sur pied une pépinière en mars 2007 selon les directives de FORRU. Certaines graines ont été collectées dans le paysage environnant, tandis que d'autres ont été obtenues auprès du National Tree Seed Centre (un Centre national de semences forestières) qui nous a proposé des conseillers à notre disposition pour nous aider dans la mise en place de la pépinière.

Mise en place de parcelles expérimentales

Certes, cette étude visait à assurer un approvisionnement en plantes médicinales locales. Mais, d'autres essences utiles, dont certaines sont exotiques, ont également été plantées afin d'encourager des attitudes positives vis-à-vis de la plantation d'arbres: au total, 18 essences indigènes et 9 essences exotiques ont été étudiées (Stangeland *et al.*, 2011).

Les critères de sélection des espèces étaient les suivants: i) les espèces ligneuses médicinales dont la demande est élevée et/ou qui se raréfient au niveau local; ii) d'autres essences utiles dont la production pourrait encourager une attitude positive chez les utilisateurs (par exemple, les arbres fruitiers, les essences à bois d'œuvre et les essences à combustible ligneux); et iii) les essences fixatrices d'azote pour améliorer le sol et réduire les besoins en engrais. La sélection des espèces a été facilitée par les précédentes études locales (Stangeland *et al.*, 2007; Tabuti, 2007; Tabuti *et al.*, 2009). Notre objectif était de tester l'applicabilité de la méthode des espèces «framework» dans l'établissement de jardins arborés à usages multiples et la culture de produits qui seraient autrement récoltés dans les forêts.

Trois groupes de tradipraticiens ont fourni le terrain et pris soin des plants après la plantation. Dans chaque groupe, un guérisseur a créé un jardin arboré à usages multiples sur son propre terrain. Les arbres n'ont pas été exploités au cours de la première année où nous avons suivi la croissance, mais, par la suite, les guérisseurs étaient libres de couper les arbres, si le besoin s'en faisait ressentir. Nous avons fourni des plants et des aides financières pour le matériel de labour et



Rose Akelo montre les semis aux visiteurs lors de l'inauguration de la pépinière – 04.08.2007 (Photo: T. Stangeland).



Le personnel de la pépinière et les tradipraticiens plantant des plantules en mars 2008 (Photo: T. Stangeland).

de clôture, tandis que les groupes de guérisseurs ont préparé les terres en mars 2008, mis en place la clôture, planté des plants et désherbé les parcelles à trois reprises au cours de la première saison des pluies. Au cours de la première saison des pluies, après la plantation d'arbres en avril 2008, les haricots ont été plantés entre les rangées d'arbres pour fournir certains avantages à court terme, accroître la motivation du sarclage et augmenter la fertilité du sol grâce à la fixation d'azote.

Quels sont les résultats obtenus grâce aux méthodes de la FORRU (Unité de recherche sur la restauration forestière) en Ouganda?

Près de la moitié des espèces testées (48%) ont eu un taux de germination supérieur à 60%. Ce résultat contrastait avec les résultats obtenus en Thaïlande, où 80% des espèces avaient des taux de germination élevés (Elliott *et al.*, 2003). Les essences africaines auraient donc de



Suivi de la survie et de la croissance 13 mois après la plantation. De gauche à droite Nzalambi Patrick, Joseph Kalule, Alexander Mbiro, Torunn Stangeland et Lucy Wwanone. (Photo: T. Stangeland).

faibles taux de germination ou nécessiteraient davantage un prétraitement par rapport aux espèces asiatiques. Treize mois après la plantation, la survie des semis a été satisfaisante et comparable avec les résultats obtenus en Thaïlande (Elliott *et al.*, 2003). Près des deux tiers (63%) des essences plantées ont atteint des taux de survie au-delà de 70%, en dépit d'une grave sécheresse en 2009. La croissance en taille a également été remarquable, avec un tiers des espèces présentant une excellente croissance (hauteur > 160 cm) et 30% une croissance acceptable (hauteur > 100 cm) 13 mois après la plantation.

Onze des 27 essences testées ont été classées comme espèces «framework» «excellentes» (Stangeland *et al.*, 2011). Huit autres espèces ont été classées «acceptables». Toutes ces espèces peuvent être recommandées pour la restauration et la création de jardins arborés à usages multiples. Huit ont été classées comme «marginalement acceptables».

Potentiel de la méthode des espèces «framework» en Afrique

D'après notre expérience, il existe un potentiel énorme pour l'application de la méthode des espèces «framework» en Afrique. Les populations humaines des pays de l'Afrique de l'Est ont plus que triplé au cours des 40 dernières années, ce qui se traduit par une immense pression sur les terres pour la culture. Plus de 80% des gens utilisent encore le bois de chauffage ou le charbon de bois pour cuire leurs aliments, une demande satisfaite en grande partie par les plantations d'essences exotiques, tandis que les arbres indigènes ont diminué et sont désormais menacés d'extinction. Nous avons trouvé que la méthode espèces «framework» est pratique et rentable. Les groupes de guérisseurs impliqués dans notre travail se sont beaucoup plus intéressés à la culture de plants et à la plantation d'arbres. En fait, quand nous avons visité le site en mars 2011, nous avons constaté que les deux groupes de Nawaikoke avaient fusionné et acheté des terres pour leur propre pépinière, en s'appuyant sur l'expérience du projet.

Par Torunn Stangeland