



## Cours 4

Version textuelle

# Introduction au travail de terrain

La version interactive de cette cour est disponible gratuitement à l'adresse suivante :

<https://elearning.fao.org/?lang=fr>



Certains droits réservés. Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la licence CC BY-NC-SA 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.fr>).

**Dans cette cours**

<b>Leçon 1: Préparation du travail de terrain .....</b>	<b>5</b>
Introduction de la leçon .....	5
L'importance de la planification dans le travail de terrain.....	5
Travail de terrain: qui le réalise? .....	6
Sécurité sur le terrain .....	11
Résumé.....	16
<b>Leçon 2: Formation au travail de terrain .....</b>	<b>17</b>
Introduction de la leçon .....	17
Formation des équipes de terrain .....	17
Phases de formation.....	22
Importance des manuels de terrain clairs.....	24
Résumé.....	24
<b>Leçon 3: Mesures au niveau parcellaire et sous-parcellaire .....</b>	<b>26</b>
Introduction de la leçon .....	26
Commencer une évaluation parcellaire .....	26
Accès aux unités échantillons.....	27
Données au niveau parcellaire .....	33
Collecte de données sur les sous-parcelles .....	38
Résumé.....	41
<b>Leçon 4: Mesures au niveau de l'arbre .....</b>	<b>43</b>
Introduction de la leçon .....	43
Mesures communes sur les arbres individuels .....	43
Mesures des diamètres des arbres .....	44
Mesures des hauteurs totales.....	50
Mesure d'autres variables au niveau de l'arbre.....	60
Résumé.....	64

Ce cours présente les considérations pour le travail de terrain et aborde les variables au niveau parcellaire ainsi que les mesures au niveau de l'arbre.

**Clause de non-responsabilité:** Les informations contenues concernant tout produit commercial par nom commercial, marque, fabricant ou autre, ne constituent ni n'impliquent son approbation, sa recommandation ou sa faveur par la FAO.

### À qui ce cours s'adresse-t-il?

Ce cours s'adresse principalement les personnes impliquées dans la planification du travail de terrain, et le travail de terrain en général, mais peut être suivi par quiconque intéressé par le sujet. Ce cours vise particulièrement:

1. Les techniciens forestiers responsables de la mise en œuvre des IFN de leur pays.
2. Les équipes du suivi national des forêts.
3. Les étudiants et les chercheurs, en tant que matériel programmatique dans les écoles forestières et les cours universitaires.
4. Les jeunes et les nouvelles générations d'agents forestières.

### Structure du cours


Ce cours comprend quatre leçons.

<b>Leçon 1: Préparation du travail de terrain</b>	Cette leçon aborde les considérations générales pour le travail de terrain, les types d'expertise dont les IFN ont typiquement besoin et la composition et les compétences suggérées pour les équipes de terrain. Elle explique aussi les éléments clés de la préparation en termes de sécurité et de sûreté personnelle une fois sur le terrain.
<b>Leçon 2: Formation au travail de terrain</b>	Cette leçon décrit comment préparer les équipes de terrain pour la collecte de données et les aspects de la qualité des données et de la formation dont il faut tenir compte.
<b>Leçon 3: Mesures au niveau parcellaire et sous-parcellaire</b>	Cette leçon se concentre sur le flux de travail typique des procédures de terrain. Elle aborde aussi la question des variables

	au niveau parcellaire typiques.
<b>Leçon 4: Mesures au niveau de l'arbre</b>	Cette leçon explique les principales mesures sur les arbres individuels et traite certaines des variables et mesures centrales typiquement évaluées dans les IFN.

### À propos de la série

Ce cours conclut une série de huit cours individualisés couvrant divers aspects d'un IFN. Voici un aperçu de la série complète.

Cours	Apprentissages
Cours 1: Pourquoi un inventaire forestier national (IFN)?	Objectifs et but d'un IFN, et comment les IFN informent la conception de politiques et la prise de décisions dans le secteur forestier.
Cours 2: Préparation d'un inventaire forestier national	La planification et le travail nécessaire pour mettre en place un IFN efficace ou un système national de suivi des forêts (SNSF).
Cours 3: Introduction à l'échantillonnage	Aspects généraux de l'échantillonnage dans les inventaires forestiers.
 <b>Cours 4: Introduction au travail de terrain</b>	<b>(Vous suivez actuellement ce cours).</b>
Cours 5: Gestion de données dans un inventaire forestier national	Collecte d'information et gestion de données pour les IFN.
Cours 6: Assurance qualité et contrôle qualité dans un inventaire forestier national	Procédures d'AQ et de CQ dans la collecte et la gestion de données d'un inventaire forestier.
Cours 7: Éléments de l'analyse de données	Approches/calculs typiques dans les analyses de données et questions connexes.
Cours 8: Résultats de l'inventaire forestier national: notification et diffusion	Publication des résultats de l'IFN et importance de la notification dans le contexte des actions REDD+.

## Leçon 1: Préparation du travail de terrain

### Introduction de la leçon

Dans cette leçon, nous allons aborder les considérations générales pour le travail de terrain, les types d'expertise dont les IFN ont typiquement besoin et la composition et les compétences suggérées pour les équipes de terrain.

Nous allons aussi comprendre les éléments clés de la préparation en termes de sécurité et de sûreté personnelle sur le terrain.

### Objectifs

A la fin de cette leçon, vous serez en mesure de:

1. Apprécier l'importance de la planification avant une mission de terrain.
2. Examiner la composition des équipes de terrain et résoudre les questions de capacité disponible.
3. Décrire les mesures de sûreté qui doivent être mises en place pour le travail de terrain.

### L'importance de la planification dans le travail de terrain

Vous savez probablement qu'une importante planification est nécessaire avant de pouvoir commencer à relever des données sur le terrain.

En termes généraux, l'exécution des trois grands domaines d'un inventaire forestier, **planification et préparation, mise en œuvre** (travail de terrain) et **analyse et publication des résultats** nécessitent environ la même période de temps (bien que le nombre de mois-personnes puisse être supérieur pour le travail de terrain).

Il est donc essentiel d'**allouer le temps adéquat à la planification** afin d'avoir une campagne de terrain réussie.

### Éléments de planification

Mettre au point une conception de l'inventaire efficace et durable nécessite beaucoup de travail préliminaire (comme les dispositifs institutionnels, la mise au point des protocoles de terrain, l'analyse des produits de télédétection existants, une étude de terrain pilote du plan d'échantillonnage ou un

échantillon de première phase), qui doit être entièrement réalisé avant de commencer le travail de terrain. En plus, le travail de terrain lui-même nécessite une planification soignée, qui comprend (entre autres):

1. identification des rôles et responsabilités;
2. convocation et recrutement de personnel dûment qualifié;
3. formation et renforcement des capacités;
4. planification des finances et de la logistique;
5. acquisition d'outils et de dispositifs;
6. préparation de matériels imprimés et numériques (comme des cartes, un logiciel pour les dispositifs mobiles); et
7. mise au point de la stratégie d'échantillonnage et des directives méthodologiques connexes.

Pour un inventaire forestier à grande échelle comme un IFN, la planification peut prendre un an ou plus avant que le travail de terrain ne débute en soi.



### Note

L'importance du **manuel de terrain** est abordée dans le **Cours 2: Préparation d'un inventaire forestier national**. Le manuel de terrain contient une introduction générale, une description et une justification des éléments de conception, et décrit chaque variable et sa mesure – **on n'insistera jamais assez sur l'importance de ce document**.

### Travail de terrain: qui le réalise?

Considérant que toute la planification de l'échantillonnage nécessaire – plan parcellaire et plan d'estimation, définitions des variables, manuels de terrain détaillés, protocoles de collecte, gestion et analyse de données – est préparée et correspond à la publication des résultats désirée, la question qui se pose est alors: Qui va réaliser le travail de terrain?

Ici, plusieurs approches sont possibles, et le **caractère général et les sources de financement de l'inventaire** – ainsi que toutes **les institutions impliquées** – influenceront la nature du travail de terrain. Dans la partie suivante de cette leçon, nous considérerons un IFN avec un «caractère de projet»,

avec un financement limité dans le temps, dans lequel les équipes de terrain sont engagées directement par le projet ou par l'institution de mise en œuvre.

Certains pays ont une stratégie d'IFN clairement définie, qui est un composant d'une entreprise multidisciplinaire à long terme avec un «caractère de programme». Les institutions responsables peuvent alors conduire l'inventaire elles-mêmes ou sous-traiter les évaluations de terrain à des entreprises idoines répondant à un appel d'offres correspondant. Dans le cas d'une telle sous-traitance, une définition très claire des résultats attendus, des attributions bien définies et un accord contractuel sont nécessaires. Pour ces scénarios à long terme, des budgets et du personnel durables sont fournis par les institutions gouvernementales. La mise en œuvre de l'IFN devient une activité permanente imbriquée dans des politiques et procédures du secteur forestier plus larges – et nécessite une institutionnalisation.

### **Préparer une équipe de terrain**

**Les équipes de terrain jouent un rôle crucial dans l'IFN, car elles déterminent la qualité des données relevées.** Cependant, elles ont aussi le travail le plus physiquement exigeant et dangereux de l'IFN. C'est pourquoi avoir une équipe de terrain motivée est central – à la fois pour son bien-être, et pour l'objectif général de l'IFN de relever des données de terrain de haute qualité.

### **Comment motiver une équipe de terrain? Découvrons-le!**

Il existe plusieurs manières de soutenir une forte motivation des équipes de terrain:

- Souligner l'importance de leur rôle dans le processus d'inventaire.
- Les équiper avec des équipements et des dispositifs de pointe.
- Faciliter l'interaction entre les équipes.
- Fournir une rémunération adaptée et des primes supplémentaires pour les équipes avec la meilleure qualité de performance.
- Organiser des réunions régulières de toutes les équipes de terrain pour permettre un échange d'expériences constructif.
- Offrir une assurance santé (par ex. en cas de morsure de serpent).
- Leur donner des opportunités de repos adaptées.

- Planifier une visite sur le terrain à des intervalles appropriés (par ex. quand une équipe de terrain change de sites ou de districts administratifs de terrain).

De plus, **un renforcement des capacités ciblé est une obligation pour motiver les équipes de terrain.**

Lorsque l'équipe est motivée et fière de contribuer à une entreprise à l'échelle nationale, elle sera prête à rendre compte honnêtement des défis et problèmes rencontrés. Tous les IFN rencontrent des défis inattendus pendant le travail de terrain – des équipes de terrain alertes et engagées peuvent les rapporter opportunément aux organisateurs.



### Astuces rapides!

#### L'importance des mesures exactes

Il est important que les équipes de terrain comprennent le caractère d'un échantillon «représentatif» et l'importance des mesures exactes. Les échantillons observent une très petite proportion de la surface totale. Dans le contexte d'un IFN, l'intensité d'échantillonnage est généralement inférieure à 0,01 pour cent de la surface totale.

Comparée à la surface forestière totale d'un pays avec des millions d'hectares de forêts et des milliards d'arbres au-dessus du diamètre minimum, la mesure d'un seul arbre peut représenter des mesures pour des centaines de milliers d'arbres. Par conséquent, chaque mesure doit être réalisée avec le plus grand soin possible, en évitant avant tout les erreurs systématiques, mais aussi en réduisant les erreurs aléatoires au minimum!

#### Composition des équipes de terrain

La composition des équipes de terrain dépend d'un certain nombre de facteurs:

1. la complexité de l'évaluation;
2. la disponibilité du transport et l'accès aux surfaces forestières; et
3. les moyens de communication d'urgence.

#### Quelle devrait être la taille des équipes de terrain?

Dans une perspective pratique, logistique et économique, **une équipe de terrain centrale devrait être la**



**plus petite possible étant données les circonstances.** Les équipes plus petites permettent une meilleure coordination, un transport plus facile et une efficacité supérieure du travail de terrain. Le Programme d'inventaire et analyse des forêts (FIA, en anglais) du Département des forêts des États-Unis est connu pour opérer avec des équipes individuelles, aidées par d'excellents moyens de communication d'urgence.

Dans les **pays avec des forêts tempérées**, les évaluations parcellaires bénéficient typiquement d'une bonne infrastructure routière à l'intérieur des forêts et d'une structure forestière relativement peu complexe. Ainsi, le travail de terrain peut être accompli par des équipes de deux personnes.

Cependant, les **pays tropicaux** (avec des forêts plus complexes) **peuvent avoir besoin de déployer des efforts logistiques supérieurs**, y compris l'utilisation de plus de personnes, spécialement si les équipes restent dans la forêt pendant de plus longues périodes (par ex. dans un camp itinérant) – dans ces cas-là, la logistique de terrain peut justifier des équipes de cinq membres ou plus.

### **Comment les équipes de terrain sont-elles organisées?**

Les équipes de terrain s'organisent comme des équipes de travail normales: une **assignation claire des rôles et responsabilités favorise un flux de travail fluide**. Généralement, une hiérarchie claire est aussi bénéfique.

Bien que les bases de cette division du travail puissent être définies en général (possiblement décrites dans le manuel de terrain), un processus d'ajustement et d'accord individuel concernant l'organisation optimale d'une équipe de terrain spécifique est attendu. Certaines équipes préfèrent une division fixe des tâches, alors que d'autres apprécient plus des tâches alternées au sein de l'équipe. Souvent, après quelques jours de travail ensemble, un consensus apparaît sur ce qui est optimal.

### **Composition et responsabilités des équipes de terrain**

Bien que tous les membres de l'équipe doivent clairement comprendre les différentes mesures et définitions dans le manuel de terrain, la division du travail soit se faire ainsi:

#### **➡ Chef d'équipe**

Une personne doit prendre la responsabilité d'organiser le travail quotidien, d'observer (avec tous les membres de l'équipe) la situation sécuritaire et de garantir la communication avec le camp de base et possiblement les autres équipes de terrain.

Il/elle prend toutes les décisions, est responsable de la qualité des données et supervise le travail des autres. Il/elle doit aussi enregistrer les données, si aucun autre membre de l'équipe n'est qualifié pour cette tâche, et assurer la sauvegarde quotidienne des données, la fonctionnalité de l'équipement et le transfert de données à la base de données centrale pour leur archivage.

#### ➔ **Enquêteur**

Une ou plusieurs personnes doivent être responsables des mesures des arbres individuels et des caractéristiques parcellaires. Ces rôles peuvent changer au sein de l'équipe pour conserver une forte motivation.

Elles doivent être familiarisées avec les instruments et les dispositifs spécifiques utilisés.

Selon le niveau de connaissance et de compétences, des assistants temporaires recrutés localement peuvent aussi être inclus et fournir une connaissance locale précieuse en termes d'accessibilité, d'identification des espèces d'arbre, d'utilisation de la forêt et des produits forestiers et de la vie sauvage, notamment.

#### ➔ **Botaniste**

Dans les forêts avec une diversité d'espèces relativement élevée, un botaniste formé ou un expert peut être nécessaire pour l'identification des espèces - si l'inventaire peut rémunérer un tel spécialiste.

L'importance de cet expert dépend des variables cibles de l'inventaire. Si la richesse en espèces est utilisée comme indicateur de biodiversité, une identification sans équivoque de toutes les espèces d'arbre est nécessaire.

Dans ce cas, une connaissance experte est essentielle. Cependant, l'identification des espèces peut ne pas être possible directement sur le terrain. Des échantillons doivent alors être prélevés, stockés et préservés. En outre, le transport jusqu'à une institution botanique pour leur identification doit être organisée dans des intervalles temporels aussi courts que possible pour éviter la dégradation rapide des échantillons de spécimens botaniques.

Dans le meilleur des cas, un enquêteur qualifié peut prendre la responsabilité de prélever les échantillons, les préparer pour l'institution botanique et les stocker en conséquence (généralement, comprimés entre des pages de journal).

#### ➔ **Assistants du chef d'équipe**

Selon des conditions des forêts, des assistants supplémentaires peuvent être nécessaires pour appuyer les mesures et la logistique. Engager des assistants locaux peut aussi être recommandé car ils ont une bonne connaissance locale, peuvent se déplacer aisément sur le terrain et trouver les positions des parcelles.

Ils peuvent aussi partager leur expérience de l'utilisation de la forêt dans ces zones particulières, servir d'«agent de liaison» avec les communautés locales, et contribuer à l'identification des espèces. Ils sont souvent les personnes clés pour une mise en œuvre fluide du travail de terrain. Selon le mode de transport (camionnette, voiture, moto, etc.), un chauffeur peut faire partie de l'équipe de terrain.



### Note

L'expertise supplémentaire nécessaire, selon la nature/l'objectif de l'IFN, peut porter sur la vie sauvage, les pâturages, le sol, les tourbières, etc. pouvant être employée dans des «études de recherche connexes» sur des parcelles sélectionnées. Toutes les tâches décrites peuvent être accomplies également par des hommes et des femmes.

Des efforts doivent être déployés pour encourager la participation des femmes et des jeunes du secteur forestier (étudiants et jeunes agents forestiers), car il n'y a pas de meilleure opportunité pour connaître les forêts d'un pays, leurs conditions et leur utilisation, qu'en participant au travail de terrain d'un inventaire forestier national.

## Sécurité sur le terrain

Dans la planification et la mise en œuvre du travail de terrain, particulièrement du transport jusqu'au terrain et des évaluations parcellaires sur site, **la sécurité et la sûreté personnelle de tous les mise en œuvre doivent être la priorité première.** Par exemple, dans les régions touchées par la guerre, à la fois pendant les phases de conception et de mise en œuvre, les parcelles situées dans des zones de conflit doivent être évitées à tout prix.

L'évaluation du risque et les mesures de sûreté au travail font partie intégrante d'un système d'assurance qualité adapté et des préparations avant de se rendre sur le terrain.

**Les risques associés au travail de terrain doivent être prévenus à l'avance.** Pour ces risques, des

instructions doivent être préparées pour savoir comment agir en cas d'urgence.

Outre veiller à la motivation et à la sûreté des équipes de travail de terrain, les organisateurs doivent aussi considérer des mesures de sécurité générales. Les questions à prendre en compte incluent notamment:

1. Les membres de l'équipe ont-ils une assurance santé qui couvre les coûts en cas d'accidents du travail (si disponible dans le pays)?
2. Les équipes ont-elles reçu une formation en premiers secours et savent-elles où se trouve l'hôpital le plus proche? Chaque équipe de terrain dispose-t-elle d'un kit de premiers secours bien équipé? Les équipes sont-elles formées pour répondre aux urgences médicales?
3. Comment le camp de base et les équipes de terrain communiquent-ils? La couverture du réseau mobile est-elle suffisante, ou des radios de campagne ou téléphones par satellite sont-ils nécessaires?
4. Les membres de l'équipe doivent-ils être responsables de leur propre équipement de sûreté personnelle et habillement, ou cela doit-il être organisé de manière centrale?
5. Les membres de l'équipe doivent-ils fournir un certificat médical ou un registre de vaccinations pour le travail de terrain?
6. Comment une situation d'urgence peut-elle être organisée (chaîne de survie), et quelles institutions centrales et locales doivent-elles être contactées?
7. Quelles institutions locales doivent-elles être informées des inventaires en cours et comment (média)?
8. Toutes les questions de sûreté concernant le transport routier et l'hébergement ont-elles été prises en compte correctement?
9. Qui décide s'il est sûr d'accéder à une parcelle ou non? Ne pas atteindre une parcelle sélectionnée signifie un cas de non-réponse – mais la sûreté vient avant tout!

### **Mesures d'atténuation du risque**

Tous les membres d'une équipe de terrain doivent connaître les risques possibles et les modes de comportement adaptés pour réduire tout risque le plus possible. Chaque membre de l'équipe doit se sentir responsable de vérifier constamment sa sûreté personnelle. Chaque membre de l'équipe doit savoir qu'un accident sur le terrain est un danger sérieux pour l'ensemble de l'équipe et qu'un comportement irresponsable ou individualiste est inacceptable. Si un risque potentiel naît d'un tel

comportement, le chef d'équipe doit immédiatement informer le camp de base ou son contact au siège.

Les mesures importantes à prendre en compte pour réduire les risques sont:

**Planification adéquate du travail de terrain** - La planification adéquate du travail de terrain est une mesure importante de réduction du risque. Par conséquent, toutes les décisions sur le travail de terrain planifié doivent être prises assez à l'avance et communiquées à tous les membres de l'équipe. Évitez les changements spontanés dans la mise en œuvre du travail de terrain le plus possible. Même si vous avez un calendrier limité dans le temps, il faut être flexible et arrêter le travail de terrain avant que la nuit ne tombe (ou considérer des cycles de marée de 6 heures pour le travail dans les mangroves). Informez le camp de base et/ou les autres équipes de vos positions quotidiennes de travail. Le travail en réseau avec des agences principales peut parfois fournir un appui pour éviter les risques.

**Orientation** - Tous les membres d'une équipe de terrain doivent savoir où ils travaillent et être capables de décrire leur position actuelle si nécessaire. Vérifiez régulièrement la couverture du réseau de téléphonie mobile, et marquez si possible un point de cheminement pour la dernière connexion sur le récepteur GPS.

Marquez le parcours vers une position d'échantillonnage sur un terrain difficile afin d'avoir plus de flexibilité au retour. Empruntez le parcours le plus sûr vers une position d'échantillonnage, et pas le plus court. Une bonne pratique consiste à trouver les meilleurs parcours (possibles) à l'avance avant de se rendre sur le terrain, et toujours vérifier l'information actualisée de la situation (par ex. le cycle des marées dans une mangrove ou les orages en montagne).

**Équipement** - L'état complet et la fonctionnalité de l'équipement doit être vérifiée dans de se rendre sur le terrain. Ceci comprend l'état de charge des batteries des radios de campagne ou des téléphones mobiles et l'inclusion de batteries supplémentaires.

Un kit de premiers secours fait toujours partie de l'équipement par défaut. L'équipement de sûreté personnelle, les chaussures et les vêtements adéquats sont essentiels.

**Information et communication** - Si l'on travaille dans des zones où la situation politique est sensible, une bonne pratique est d'avoir une brochure d'information qui décrit le contexte de la mission en termes simples. La population et les communautés locales peuvent être très critiques envers des étrangers qui travaillent avec de l'équipement d'enquête sur leurs terres, car elles peuvent ne pas avoir de titres de propriété légaux et craindre que les enquêteurs préparent leur expulsion; ceci peut donner

lieu à des problèmes extrêmement graves.

Si possible, il faut établir le contact avec ces groupes **avant** de se rendre sur le terrain, et expliquer le caractère scientifique de l'étude d'inventaire en termes clairs et compréhensibles. Il est aussi recommandé d'inviter ou de contacter des locaux pour accompagner les équipes de terrain pendant leur travail. Ils connaissent la zone, ils parlent la langue locale, et leur présence réduira les suspicions de la communauté locale concernant votre travail. Il est important d'informer les détenteurs des terres ou les communautés locales **avant** et **après** le travail de terrain, et leur communiquer votre calendrier si vous devez revenir.

### Études de recherche connexes

Un grand nombre d'études de recherche supplémentaires peuvent être intégrées au travail de terrain. Néanmoins, rappelons que ces études sont des évaluations connexes qui ne seront pas toujours pertinentes dans chaque répétition d'un IFN permanent ou sur chaque parcelle. Généralement, le but de ces études est de:

- collecter des données supplémentaires pour la construction de modèle ou des analyses spécifiques;
- répondre à des questions scientifiques générales concernant les forêts; ou
- optimiser la conception de l'inventaire.

L'intégration de ces études doit être planifiée et, si nécessaire, intégrée au travail d'inventaire par défaut; alternativement, des flux de travail indépendants pour la collecte de données et la gestion de données de ces études scientifiques doivent être préparés. Voyons des exemples typiques

<b>Échantillonnage des sols</b>	<p>Si l'échantillonnage des sols est fait pour dériver des cartes des sols sur de grandes surfaces, l'intensité d'échantillonnage relativement faible d'un IFN n'est pas très adaptée. Cependant, des synergies peuvent se présenter pendant le travail de terrain. Certaines caractéristiques des sols ne changeront que sur de longues périodes et la cartographie des sols n'est donc pas nécessairement incluse dans chaque cycle d'un IFN.</p> <p>Une exception se présente si le carbone organique des sols ou la biomasse souterraine doivent être estimés pour la notification internationale. Dans ce</p>
---------------------------------	--

	<p>but, un manuel de terrain sur la manière de prélever, stocker et analyser les échantillons doit être disponible.</p>
<b>Analyse de l'âge et l'accroissement des arbres par sondage à cœur</b>	<p>Dans les zones climatiques où les arbres développent des anneaux annuels, des échantillons à cœur sont parfois prélevés pour déterminer l'âge des arbres ou leur accroissement au cours des dernières années. Cette information est utilisée pour construire des modèles de croissance.</p> <p>Ces modèles de croissance sont nécessaires pour prédire l'accroissement par classe d'âge et déterminer un potentiel de récolte durable ou le développement de la biomasse forestière en général. Généralement, un sous-ensemble d'arbres de différentes couches de la canopée est sélectionné pour cette recherche spéciale.</p>
<b>Données socioéconomiques</b>	<p>Dans certains IFN, des enquêtes auprès des ménages sont menées en parallèle de la collecte de données biophysiques. L'intention est de documenter les conditions des forêts et les variables socioéconomiques qui affectent les propriétaires forestiers ou les communautés proches.</p> <p>Ces enquêtes se concentrent typiquement sur l'utilisation des produits forestiers. L'allocation de ressources (et le financement) au relevé de ces données nécessite une justification claire et une vision significative de leur utilisation et leur analyse. En outre, un cadre d'échantillonnage fondé sur la population humaine (et non pas les propriétés biophysiques comme l'utilisation des terres/la couverture terrestre) doit être considéré si l'on souhaite tirer des conclusions représentatives au niveau national sur la population en général.</p> <p>Bien que cela puisse être une étude de recherche supplémentaire, il est utile de l'intégrer aux IFN afin d'en savoir plus sur l'utilisation des forêts. Il est alors important de:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• disposer d'enquêteurs expérimentés dans l'équipe (les femmes sont généralement meilleures, et mieux acceptées); et</li><li>• assurer que les entretiens sont liés aux positions des parcelles de l'évaluation biophysique – sinon il sera difficile d'établir des liens.</li></ul>

Avant de conclure cette leçon, voyons une vidéo du premier inventaire forestier national polyvalent de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. L'IFN a inclus une collecte de données en profondeur sur les sols et la biodiversité végétale et animale, et constitue un excellent exemple de l'inclusion de questions de recherche dans un IFN.



### Ressources video

La vidéo est en langue originale (anglais).

[\*Une journée dans un camp d'inventaire forestier national en Papouasie-Nouvelle-Guinée\*](#)

## Résumé

Avant de conclure, voici les principaux points d'apprentissage de cette leçon:

- Beaucoup de planification est nécessaire avant que la collecte de données sur le terrain ne puisse commencer.
- L'équipe de terrain a le travail le plus dangereux et exigeant physiquement dans un IFN, qui détermine aussi la qualité des données relevées. Pour cette raison, avoir une équipe de terrain motivée est crucial.
- Dans une perspective pratique, logistique et économique, une équipe de terrain devrait être la plus petite possible étant données les circonstances.
- Les équipes de terrain s'organisent comme des équipes de travail normales: une assignation claire des rôles et responsabilités favorise un flux de travail fluide.
- Il faut se préparer à l'avance aux risques associés au travail de terrain. Tous les membres d'une équipe de terrain doivent connaître les risques possibles et les modes de comportement adaptés pour réduire tout risque le plus possible.



## Leçon 2: Formation au travail de terrain

### Introduction de la leçon

Dans cette leçon, nous apprendrons comment préparer les équipes de terrain pour la collecte de données et les aspects de la qualité des données et de la formation dont il faut tenir compte.

Rappelons qu'une formation et une préparation suffisante pour toutes les tâches de terrain doivent être menées **avant** d'envoyer les équipes réaliser le travail de terrain.

#### Objectifs

A la fin de cette leçon, vous serez en mesure de:

1. Expliquer comment organiser les formations des équipes de terrain.
2. Identifier les sujets typiques pour la formation des équipes de terrain.
3. Décrire ce qui arrive après la formation des équipes de terrain.
4. Comprendre l'importance d'un manuel de terrain clair

### Formation des équipes de terrain

Puisqu'un grand projet d'inventaire (comme un IFN) vise généralement à relever des données à des points prescrits dans le temps, cette mission ne peut être accomplie qu'avec un certain nombre d'équipes de terrain travaillant en parallèle. Et ces équipes de terrain doivent relever les données exactement de la même manière en suivant le protocole d'évaluation de terrain (manuel de terrain).

Considérant que plusieurs milliers de parcelles en cluster doivent être évalués sur une période relativement courte, comment peut-on assurer que chaque équipe de terrain applique le même protocole pour les mesures et l'observation afin de garantir une cohérence optimale?

#### Commencer par une formation pour tous

Il y a différentes manières d'organiser la formation d'une équipe de terrain. Cependant, **il est commun de commencer par une formation conjointe de toutes les équipes réunies**, qui apporte une compréhension de base de la méthodologie (plan d'échantillonnage et plan parcellaire) et communique

les objectifs généraux de l'inventaire à tous les membres des équipes.

Ces formations sont aussi très importantes pour encourager l'esprit d'équipe et un fort sentiment d'appartenance. Outre motiver les équipes, cela permet aussi une efficacité supérieure et des moindres retards. Les membres des équipes qui sont amis pourront mieux traiter les situations problématiques que les membres qui se connaissent à peine. Cela ne soit pas être sous-estimé.

Après cette formation générale, différents groupes cibles ont besoin de divers apports formatifs, selon les rôles qu'ils joueront dans leurs équipes (sur le terrain ou au siège).

Ces formations initiales peuvent aussi être vues comme la preuve finale du concept de protocole de terrain; une séance de formation évaluant les expériences pratiques en utilisant le protocole de terrain peut identifier les ajustements nécessaires.



### Astuces rapides!

Il est important d'établir les bonnes attentes de la formation. Les membres de l'équipe responsables de la collecte de données de terrain n'ont pas besoin de devenir des experts en statistiques et analyse, mais ils doivent au moins connaître le flux de travail de l'analyse et l'importance de données solides, cohérentes et comparables. De même, les gestionnaires et analystes de données responsables du nettoyage et de la compilation de données n'ont pas besoin de savoir utiliser l'équipement (par ex. un clinomètre laser) – il suffit qu'ils aient une bonne compréhension de la manière dont les données sont générées.

### Sujets de formation typiques

La formation aux divers aspects d'un inventaire de terrain peut être menée en fonction de la séquence du travail de terrain. Néanmoins, il peut aussi convenir d'avoir une séance de formation plus générique pour traiter des questions transversales comme la dendrométrie, les techniques d'enquête, la collecte mobile de données, etc. La section suivante présente des questions de formation importantes ordonnées selon une séquence typique de travail de terrain.

### Navigation sur le terrain

Des récepteur du Système global de navigation par satellite (GNSS) sont utilisés dans de nombreux buts:

s'orienter vers les positions des parcelles et marquer de points de route, travailler avec des applications mobiles SIG, utiliser différentes couches d'arrière-plan, noter les parcours et les paramètres (par ex. système de coordonnées de référence (SCR)) et prendre des mesures à long terme pour les positions des parcelles.

Pour les planificateurs responsable d'actualiser les données spatiales et les positions des parcelles, une formation de base en SIG (par ex. QGis) et échange de données entre dispositifs mobiles peut être nécessaire.

Si des mesures de position très exactes sont nécessaires, par exemple pour établir le lien entre les parcelles de terrain et l'imagerie de télédétection, l'utilisation d'un récepteur GNSS différentiel avec RTK (cinématique en temps réel), avec une station de base de référence locale ou régionale peut être indiquée. Ces dispositifs permettent d'atteindre une exactitude bien supérieure à celle des récepteurs courants car ils utilisent des signaux de correction, soit directement en temps réel sur le terrain ou plus tard lors du traitement de données de position. Bien entendu, l'utilisation de ces récepteurs nécessite une formation supplémentaire spécifique.

Les planificateurs doivent aussi se former aux communications de base selon les dispositifs qu'ils utiliseront.

### **Collecte mobile de données (ou formulaires de terrain sur papier)**

Une fois les équipes sur une position de parcelle, les données doivent être enregistrées. Cela peut se faire avec des applications mobiles ou de simples formulaires sur papier. Si une application de collecte mobile de données (comme [Open Foris Collect Mobwile](#) en anglais) est utilisée, une formation spécifique est nécessaire pour savoir saisir les données. Cela inclut une compréhension claire des règles de validation et des messages d'erreur en temps réel.

Les experts pour cette tâche doivent aussi avoir une connaissance de base du modèle de définition utilisé et comprendre les interdépendances entre différentes entrées. La formation doit inclure la sauvegarde de données et le transfert de données à la base de données. Un test d'importation de données dans la base de données peut aider à prévenir tout problème pouvant survenir. Dans le cas des formulaires de terrain sur papier, la logique et les entrées des codes doivent faire l'objet de discussion et formation.

### Établissement des parcelles

Les parcelles de l'IFN (ou sous-parcelles) doivent être marquées de manière invisible. Si le marquage est permanent, il devra être fait de manière à garantir sa visibilité uniquement pour les équipes d'inventaire, en utilisant des pieux en fer placés sous terre.

Les numéros d'arbre ou tout autre marque doivent être temporaires et aucune trace ne doit être trouvée une fois que l'équipe quitte la parcelle. Une description claire de la position des parcelles (y compris des points de référence importants) aidera à resituer la position pour les évaluations futures. La navigation vers la position cible ne mènera jamais à la position exacte du fait des interférences de localisation, notamment causées par le couvert arboré. Pour déterminer la position le plus exactement possible, il est très important de mesurer la position finale de la parcelle avec une mesure de coordonnées précises à long terme.

On trouve un exemple du flux de travail d'énumération d'une parcelle typique par une équipe dans le [Manuel d'inventaire forestier national du Liberia 2018-29, pages 16-18](#) (en anglais)

### Évaluation des variables des parcelles et du paysage/terrain

Au départ, les équipes de terrain doivent connaître clairement le plan parcellaire utilisé et l'aire de référence respective pour les observations parcellaires.

Généralement, tout un ensemble de variables (par ex. type de forêt, caractéristiques du paysage/terrain), ou d'autres évaluations des conditions du site (par ex. couvert arboré et état de dégradation) peuvent être utilisés pour décrire les conditions parcellaires. Beaucoup de ces variables catégorielles exigent des critères et des descriptions clairs pour une interprétation correcte de la situation sur le terrain.

Les mesures de variables métriques (par ex. angle de pente) nécessitent une formation. Une formation est aussi nécessaire pour utiliser les applications ou les dispositifs comme ceux qui estiment le couvert arboré.

Les variables qui nécessitent une interprétation experte doivent être abordées dans une formation spécifique avec toutes les équipes de terrain ensemble, pour garantir la cohérence des données.

### Évaluation des variables des arbres individuels (bases de la dendrométrie)

Une fois les variables parcellaires enregistrées, un flux de travail typique passerait à l'évaluation des variables des arbres individuels. Les questions de formation dans ce domaine se concentrent surtout les

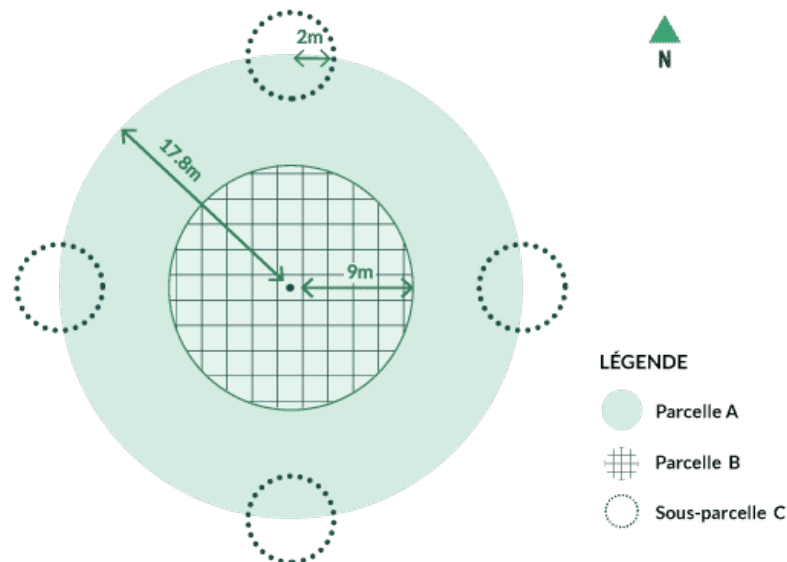
techniques de dendrométrie et l'utilisation des dispositifs de mesure.

Cela inclut la mesure du dhp et de la hauteur totale, l'identification des espèces d'arbre, la mesure des distances et des angles, l'assignation des arbres à des couches de la canopée définies, et bien d'autres.

Pour rendre le flux de travail sur la parcelle efficace, il est important de mettre au point un ordre séquentiel adapté dans lequel les arbres sont mesurés et numérotés, et une séquence dans laquelle les données sont mesurées (correspondant à la séquence d'enregistrement de données). Il est recommandé de marquer les arbres relevés avec des marqueurs temporaires (comme de la craie) afin qu'ils ne soient pas comptés deux fois et qu'aucun arbre ne soit laissé de côté. Idéalement, ces marques temporaires doivent toutes être placées sur les tiges de manière à être vues depuis le point central de la parcelle.

### Évaluation de la régénération

Les parcelles de régénération sont généralement imbriquées dans une parcelle, et idéalement placées loin du centre de la parcelle pour éviter les perturbations. Elles doivent être marquées avant le début de l'évaluation pour éviter le piétinement et peuvent être évaluées avant ou après la mesure des arbres sur pied.



Les parcelles de régénération sont souvent très petites et doivent avoir différentes surfaces pour les semis et les jeunes plantes. Puisque la dispersion de la régénération montre typiquement une grande variabilité spatiale (changements de la densité locale), ces petites parcelles peuvent suivre un plan en

cluster (sous-parcelles multiples). Généralement, la densité (plantes par aire unitaire) des différentes classes de diamètre ou de hauteur est l'élément central de l'évaluation.

### **Bois mort et autres évaluations**

Selon si des parcelles à aire fixe ou des transects linéaires sont utilisés pour évaluer le bois mort couché, les mesures nécessaires doivent faire l'objet d'une formation.

Une autre variable, la classification de l'état de pourrissement, est souvent déterminée à l'aide d'un couteau. Si un inventaire des souches, il peut être difficile de déterminer les espèces et le moment de la coupe.

### **Évaluations connexes pour les études de recherche**

Les procédures du travail de terrain peuvent inclure des évaluations pour les études de recherche connexes (échantillonnage des sols, sondages à cœur, autre collecte de données spéciales) et peuvent nécessiter une formation supplémentaire.

Dans certains IFN, le prélèvement de ces échantillons est normalisé pour estimer le carbone organique des sols (COS) ou l'âge des arbres (sondages).

Cela nous amène à la fin de la discussion sur les questions de formation typiques. Dans la prochaine section de cette leçon, nous verrons ce qui arrive une fois la formation terminée.

## **Phases de formation**

Après une introduction et une formation sur les concepts de base, les équipes de terrain doivent être exposées à des situations réelles dans différents types de forêt et conditions. Si ces conditions différentes ne peuvent pas être trouvées à proximité, il peut être bon d'organiser des ateliers plus petits dans différentes parties du pays. Une fois les mesures individuelles et les interprétations comprises, les équipes doivent pratiquer les mesures sur des parcelles/clusters entiers.

Bien qu'un formateur puisse être présent pour apporter une rétro alimentation et des corrections au début, toutes les équipes doivent pratiquer le travail indépendamment sur quelques parcelles d'échantillonnage.

Il est instructif d'envoyer toutes les équipes de terrain les unes après les autres sur les mêmes parcelles. Les données provenant de ces parcelles de terrain mesurées de manière répétée peuvent alors être

comparées et analysées dans le cadre de la formation. Les erreurs/écarts et différences de mesure devront être discutées pendant la formation.

### Mesures de contrôle

Les mesures de contrôle des parcelles d'échantillonnage de terrain font partie intégrante de tous les inventaires de terrain, même s'il n'existe pas de norme généralement acceptée – que ce soit pour leur mesures de contrôle ou leurs analyses et conséquences.

Il est recommandé d'effectuer des mesures de contrôle sur 5 à 15 pour cent des parcelles de terrain afin de vérifier le respect du protocole de terrain et des normes de qualité. Ces mesures de contrôle doivent être réalisées par une équipe de supervision (équipe de contrôle qualité/assurance qualité) qui est entièrement indépendante de toutes les équipes de terrain et rend compte directement aux directeurs de l'inventaire.

### La formation et le contrôle qualité sont des processus continus

La formation et le contrôle qualité sont non seulement importants au début du travail de terrain, mais aussi durant tout le processus. Idéalement, la formation ou la supervision doivent être répétées régulièrement car les vérifications de contrôle qualité peuvent aussi être utilisées pendant les phases d'analyse pour tester les biais possibles.

Les formateurs doivent rendre visite aux équipes de terrain et être disponibles pour des questions.

Vous trouverez plus de détails sur le contrôle des mesures de terrain dans le **Cours 6: Assurance qualité et contrôle qualité dans un inventaire forestier national**.



### Note

#### Conséquences des évaluations faibles

Il doit être clair pour les équipes de terrain que leur travail est constamment vérifié et qu'une faible qualité des mesures aura des conséquences. Si des erreurs apparaissent évidentes assez tôt, une formation répétée de certaines équipes est indiquée. En cas d'erreurs répétées ou sévères, les équipes doivent re-mesurer les parcelles. Pour les consultants en sous-traitance, une faible qualité des données même après une nouvelle formation peut être une cause d'annulation du contrat.

## Importance des manuels de terrain clairs

**Le manuel de terrain, décrivant les procédures et les mesures normalisées, est une base essentielle pour la formation et la mise en œuvre du travail de terrain.** Toutes les descriptions doivent être complètes et inclure des conseils, spécialement pour les cas particuliers (par ex. l'établissement de parcelle sur une pente, la définition des mesures de hauteur et de dhp, diamètres supérieurs en cas de déformation, racines en échasse ou contreforts, etc.).

Pour chaque variable, il est nécessaire de trouver une brève justification (but de la mesure, où analyses qui l'utiliseront) et une description détaillée de la procédure de mesure (y compris les dispositifs à utiliser). En outre, l'unité de mesure, l'exactitude des valeurs enregistrées, et le cas particulier ou cela sera pertinent ou nécessaire, doivent être inclus. Il n'existe pas de solution unique pour les procédures de terrain, mais il y a de bons (et de mauvais) exemples d'orientations.

### Exemples de manuels de terrain d'IFN

Les liens ci-dessous offrent des exemples de manuels de terrain. Vous pouvez les consulter pour observer la structure générale, particulièrement en ce qui concerne:

1. Le groupement des variables selon les «entités» ou objets qu'elles décrivent (variables parcellaires, variables des arbres, etc.).
2. Les listes de code et orientation fournies pour l'interprétation des variables catégorielles.
3. L'utilisation de graphiques pour illustrer différentes classes pour les variables catégorielles.
4. Le flux de travail recommandé pour les évaluations de terrain.

Pour consolider votre connaissance des principaux éléments de conception d'une étude d'inventaire, essayez de résumer les principaux détails du plan d'échantillonnage, plan parcellaire et plan d'estimation utilisés en 2 ou 3 phrases!

## Résumé

Avant de conclure, voici les principaux points d'apprentissage de cette leçon:

- Il y a différentes manières d'organiser la formation d'une équipe de terrain. Cependant, il est commun de commencer par une formation conjointe de toutes les équipes réunies.



- Après une formation sur les concepts de base, les équipes de terrain doivent être exposées à des situations réelles dans différents types de forêt et conditions.
- Le manuel de terrain, décrivant les procédures et les mesures normalisées, est une base essentielle pour la formation et la mise en œuvre du travail de terrain.

## Leçon 3: Mesures au niveau parcellaire et sous-parcellaire

### Introduction de la leçon

**Dans la leçon précédente, nous avons appris comment organiser la formation et préparer les équipes de terrain. Nous allons maintenant passer à la phase de mise en œuvre et aborder le flux de travail typique ou procédures de terrain.**

Nous allons d'abord examiner quelques exemples de variables au niveau parcellaire typiques – puis dans la prochaine et dernière leçon, nous nous intéresserons aux mesures des arbres individuels.

### Objectifs

A la fin de cette leçon, vous serez en mesure de:

1. Expliquer les variables au niveau parcellaire et la manière dont elles doivent être enregistrées.
2. Décrire l'importance de définitions claires pour les variables catégorielles.
3. Distinguer les variables centrales des études de recherche connexes.

### Commencer une évaluation parcellaire

Bien qu'il y ait une séquence naturelle toujours pertinente pour certaines étapes, les procédures de terrain détaillées pour les observations supplémentaires peuvent varier en fonction des besoins en information identifiés et des variables définies dans le manuel de terrain. Comme nous l'avons déjà étudié dans les leçons précédentes, on suppose que les étapes de planification et préparation sont entièrement réalisées avant l'envoi des équipes sur le terrain. Cela signifie qu'à ce moment-là:

1. Les équipes de terrain ont été formées et connaissent les procédures de terrain.
2. Les positions des parcelles de terrain sont connues par leurs coordonnées (plan d'échantillonnage) et l'information préliminaire pour chaque parcelle est disponible, soit obtenue de l'interprétation visuelle d'imagerie de haute résolution et de cartes topographiques.
3. Les autorités et/ou communautés locales sont informées, et la situation sécuritaire est claire.
4. Les équipes de terrain sont équipées de tout le matériel et les outils nécessaires.
5. Des cartes détaillées (ainsi que de l'imagerie de haute résolution, si disponible) pour chaque parcelle est disponible, et des cartes des positions des parcelles, comprenant des scénarios de

parcours, sont préparées (sous forme d'impression ou de couches dans une application SIG mobile). Remarquez que pour les inventaires répétés, les cartes des parcelles sont imprimées (ou disponibles sur des tablettes), montrant la position des arbres échantillonnés sur chaque parcelle d'échantillonnage: cela appuie la localisation du centre des parcelles et facilite la répétition des mesures d'arbres échantillons clairement identifiés.

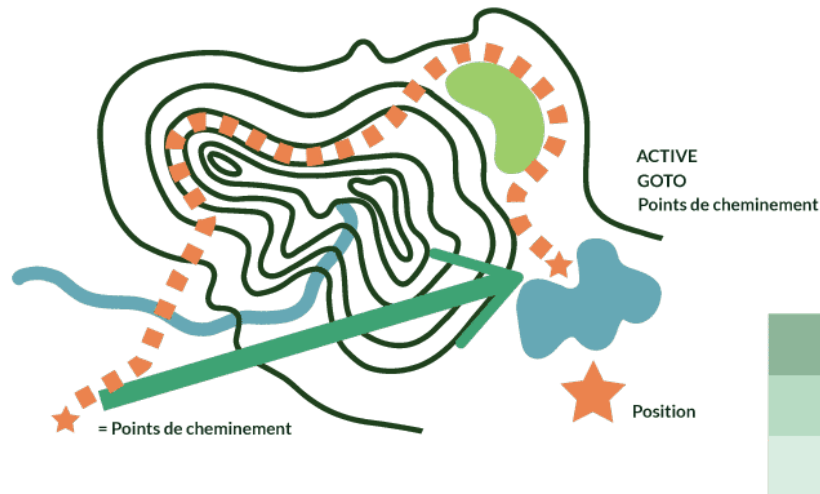
Une fois que tous ces points sont clairs, les équipes de terrain vont commencer leur travail. **Généralement, les dénombrements des premières parcelles prennent plus de temps que les suivants**, car les équipes doivent identifier un flux de travail optimal. Durant cette phase, il est impératif que les données provenant du terrain soient vérifiées le plus tôt possible afin d'apporter une rétroalimentation directe sur les erreurs.

### Accès aux unités échantillons

#### Navigation vers les parcelles

La tâche initiale des équipes de terrain est de situer les coordonnées de la parcelle sélectionnée sur le terrain qui servent de référence ou point central pour la parcelle d'échantillonnage correspondante. À des fins de navigation, un récepteur de système global de navigation par satellite (GNSS) – parfois appelé GPS – est habituellement suffisant. Cependant, pour une mesure de haute exactitude de la position de la parcelle, un récepteur GNSS différentiel doit être utilisé, qui utilise l'information correcte pour éliminer une partie des erreurs de position.

Si la parcelle est située loin de la route la plus proche, **il est recommandé d'enregistrer le parcours d'accès afin de le retracer (ou l'améliorer) au retour**. Un simple schéma (comme ci-dessous) avec quelques points de référence importants peut être utile pour resituer la parcelle (en cas de parcelles permanentes, ou pour l'équipe d'AQ/CQ) et doit faire partie de la documentation (par ex. une photo de ce schéma dans la base de données). Il est aussi recommandé de vérifier la couverture du réseau mobile (si disponible) régulièrement. En cas d'urgence, il peut être très important de connaître le dernier point de couverture mobile.



*Exemple de position d'une parcelle schématisée manuellement avec des points de référence importants.*

Une fois l'équipe proche de la position de la parcelle recherchée, une mesure plus précise avec un récepteur GNSS différentiel avec RTK peut commencer. Il est quasiment impossible d'atteindre la position absolument exacte sur le terrain. Ce n'est pas un problème, tant que les coordonnées finales de la position de la parcelle marquée sont mesurées (préférentiellement avec une mesure à long terme pendant l'évaluation parcellaire) et enregistrées. Les récepteurs GNSS permettent de prendre une mesure à long terme dans laquelle il est fait une moyenne des coordonnées sur un long intervalle temporel (par ex. plus de 10 minutes avec une détermination de la position toutes les 10 secondes). Plus longtemps l'on mesure, meilleures seront les coordonnées.



### **Astuces rapides!**

#### **Travailler avec des données spatiales**

Il existe de nombreuses possibilités différentes de projection de la surface terrestre sur un plan cartographique, et beaucoup de systèmes de coordonnées différents. Selon les systèmes de coordonnées utilisés, le même point sur le terrain peut avoir des coordonnées très différentes. Si le système de coordonnées utilisé n'est pas connu, il est impossible de trouver ces coordonnées sur le terrain.

Dans les paramètres d'un récepteur GNSS, ces systèmes de coordonnées doivent être correctement réglés. Les paramètres justes et/ou la documentation de la projection et des données cartographiques utilisés (modèle ellipsoïdal) sont toujours importants. La publication ou le stockage à long terme des données de position doivent toujours contenir cette information importante, sans quoi ils seront inutiles.

### **L'importance des mesures exactes de position**

Si les données de télédétection sont utilisées comme source de données auxiliaires dans la phase de planification ou d'estimation d'un inventaire, l'importance des mesures de coordonnées exactes et précises des positions des parcelles ne peut pas être sous-estimée. Pour utiliser pleinement les corrélations possibles entre l'information de télédétection et les observations de terrain, les deux sources de données doivent être co-enregistrées (autrement dit, il doit y avoir une correspondance spatiale) le plus exactement possible. Les erreurs de co-enregistrement dues à des mesures de position de faible qualité compromettront la qualité des modèles statistiques et affecteront la précision d'ensemble de l'estimation.

Les avancées récentes des récepteur GNSS, des différentiels correspondants et des récepteurs satellite à deux phases font qu'il est possible de réduire considérablement les erreurs.

Néanmoins, sous une canopée forestière dense, et même si des données de correction régionales ou locales sont disponibles, des erreurs de position de plusieurs mètres peuvent encore être attendues. En cas de parcelles d'échantillonnage relativement petites et d'utilisation de données de télédétection de haute résolution, une mauvaise sélection des valeurs de pixel peut provoquer des erreurs, qui ne coïncident pas avec les observations de terrain correspondantes.

Les prix des récepteurs RTK (cinématique en temps réel) modernes, utilisant GPS+GALILEO+GLONASS (les GNSS américain, européen et russe, respectivement) et permettant un positionnement exact, baissent constamment, et une station de base et une station de référence peuvent être obtenues pour un prix raisonnable. En outre, selon la région, des dispositifs modernes moins chers recevant GPS+GLONASS+GALILEO ou Beidou (le GNSS chinois) peuvent fournir une exactitude suffisante.



### Astuces rapides!

#### L'importance des erreurs de position

Tout écart entre la parcelle d'échantillonnage sur le terrain et les coordonnées supposées utilisées pour la correspondance spatiale (co-enregistrement) des observations de terrain et des sources de données de télédétection compromettra la qualité des relations (modèles). Les mesures exactes et précises des coordonnées parcellaires sont très importantes et, en cas d'inférence fondée sur un modèle ou assistée par modèle, auront une influence directe sur la qualité des estimations!

Si l'on ne modélise pas à partir de la télédétection, le positionnement exact des parcelles ne pose pas tant de problème, tant que les facteurs subjectifs (qui influencent le positionnement) sont évités.

Pour une estimation purement fondée sur les parcelles de terrain, il n'est pas si important de déterminer le point échantillon au millimètre

#### Établissement des parcelles/sous-parcelles Séquence de travail possible sur le terrain

**Tout processus de collecte de données sur le terrain commence avec la position d'échantillonnage sélectionnée dans la forêt et le marquage de la position de la parcelle ou la sous-parcelle.**

Dans certains cas, il est meilleur de commencer par l'évaluation de la régénération – et avec des échantillons des sols ou de litière, s'il y en a dans les parcelles – pour éviter les dommages dus au piétinement des équipes de terrain, mais elle est parfois réalisée après l'évaluation des arbres sur pied.

Dans les mangroves, où les équipes de terrain peuvent utiliser des morceaux de bois mort comme points d'appui, il convient de les évaluer en premier. Par ailleurs, dans les forêts tempérées où les inventaires sont réalisés en hiver, situer les morceaux de bois mort sous la couverture neigeuse est plus facile après ou pendant les autres évaluations des arbres.

La séquence suivante des mesures et observations des variables parcelles et des arbres peut être différentes suivant le type de forêt et l'effectif de l'équipe:

1. Identifier et marquer la position de la parcelle avec un récepteur GNSS différentiel et le marquage permanent de cette position sur le terrain (généralement avec un pieu en fer enterré dans le sol).

2. Commencer une mesure des coordonnées à long terme (> 10 minutes) de la position de la parcelle.
3. Commencer la collecte de données avec les variables parcellaires et les variables concernant l'environnement de la parcelle (type de forêt, conditions du terrain, etc.).
4. Commencer les mesures sur les arbres individuels de dhp, hauteur et autres variables de manière circulaire (selon l'azimut). Marquer les arbres avec des numéros ou des marqueurs temporaires.
5. Mesurer un sous-ensemble des hauteurs des arbres échantillons (ou tous, selon les règles de sélection).
6. Évaluer la régénération et un échantillon de bois mort.
7. Compléter l'évaluation parcellaire avec d'autres variables restantes (produits forestiers non ligneux (PFNL) comme le bambou ou le jonc, d'autres végétations, des échantillons des sols, etc.).



### Le saviez-vous?

#### Combien de temps l'évaluation parcellaire prend-elle?

Le plan des sous-parcelles est souvent conçu de manière à ce que l'évaluation ne prenne pas plus d'une heure en moyenne. L'équipe passe alors à la sous-parcelle suivante et complète l'ensemble de la parcelle en cluster étape par étape. Excepté dans les cas où de très grandes parcelles sont planifiées, une autre mesure de bonne planification consiste à assurer que l'évaluation permette de compléter un minimum d'un cluster par jour.

#### Marquage des parcelles/sous-parcelles

Les programmes de suivi à long terme s'appuient sur des mesures répétées continues des mêmes parcelles. Par conséquent, les parcelles (et les arbres individuels) doivent être identifiés à nouveau après une relativement longue période (par ex. 5 ou 10 ans). Un marquage efficace du centre des parcelles (ou de plusieurs points dans les parcelles rectangulaires) et des mesures exactes des positions des arbres

(distance et azimut) sont essentielles pour définir clairement les centres des parcelles et les positions des arbres à des points postérieurs dans le temps.

Si possible, un certain nombre d'objets de référence dans l'environnement (rochers, grands arbres, terrain) sont identifiés et leur distance et azimut sont mesurées par rapport à la position de la parcelle. Un schéma manuel est utile et peut ensuite être stocké sous forme de photo dans la base de données.



### Astuces rapides!

**Le marquage visible des parcelles (par ex. avec une couleur permanente, des numéros sur les arbres ou des perches visibles) n'est pas recommandé car l'on cherche à cacher les parcelles d'échantillonnage aux utilisateurs de la forêt et aux gestionnaires forestiers!**

La nature d'une étude d'observation est d'observer les conditions typiques, y compris les changements anthropiques, et d'éviter que ces zones soient traitées différemment des autres, ce qui pourrait donner des observations biaisées dans des inventaires répétés.

Utiliser des tubes en fer ou en aluminium, de 30-50 cm de long, qui sont complètement cachés dans le sol au centre des parcelles est une manière typique de marquer les parcelles de façon invisible. Ces marques peuvent être trouvées en utilisant un détecteur de métal une fois que l'on est assez proche. Les triangulations (distance et azimut) avec des objets de référence spécifiques dans la zone environnante peuvent aussi être enregistrées comme information parcellaire supplémentaire.

### Les photos comme information supplémentaire

Des photos peuvent être prises depuis différentes positions et contribuer à avoir une vue d'ensemble des conditions forestières locales. L'acquisition de photos est principalement conduite par la collecte mobile moderne de données sur le terrain, car elles peuvent être stockées avec les données relevées sur le même dispositif. Elles peuvent être utiles à une reconstruction de la situation (par ex. en cas de questions durant le nettoyage de données) mais elles sont rarement analysées.





### Note

Les applications modernes de collecte mobile de données rendent très facile et simple la prise de photos et leur stockage direct dans une base de données. Rappelons que chaque photo augmentera la taille des fichiers des sauvegardes et peut même compromettre la capacité de stockage local d'un dispositif mobile. Spécialement si les données doivent être transférées et envoyées au siège, les fichiers de sauvegarde doivent être petits et faciles à manipuler.

Faites aussi attention aux photos qui sont prises et à la manière de les stocker et les référencer. Les photos peuvent être codifiées comme suit: «numéro de l'unité d'échantillonnage à trois/quatre chiffres» + «-» + «numéro de parcelle» + «.» + «numéro de la photo dans la parcelle» (par ex. référence de la 3<sup>e</sup> photo prise sur la parcelle n° 2 de l'unité d'échantillonnage 028 = 028-2.3).

### Données au niveau parcellaire

Il y a beaucoup d'information importante concernant l'aire parcellaire ou l'environnement de la parcelle. L'information parcellaire est rassemblée dans une caractérisation de l'aire parcellaire à travers des variables de base comme l'angle de pente, le type de forêt, l'accessibilité, l'état de perturbation, entre autres.

Nous commençons cette section en abordant certaines variables et leur but spécifique. La manière de mettre

#### ➔ Conservation et durabilité

Variation d'indicateurs contribuant à l'information qualitative ou quantitative sur la valeur de conservation ou l'état de conservation, par exemple:

- ✓ État de dégradation/perturbation (défini par des variables d'indicateurs observables, comme des signes d'exploitation illégale, de conversion des terres, de pâturage excessif, etc.).

- ✓ Caractéristiques d'habitat (par ex. présence/absence de différents éléments d'habitat pour différentes espèces, comme les sites de nidation ou des éléments spécifiques comme les façades rocheuses, les bassins, les grottes, etc.).
- ✓ Érosion du sol, évaluée en différentes classes de sévérité.
- ✓ Gestion du bétail (par ex. du pâturage communal peut avoir lieu sur les terres forestières).
- ✓ Existence d'espèces menacées ou sur liste rouge (comme les espèces de la liste rouge de l'UICN).
- ✓ Aspects pertinents de la structure forestière (forêt équienne faiblement structurée versus forêt fortement structurée).
- ✓ Pourcentage de couvert arboré ou couvert arbustif.

### ⇒ Utilisation de la forêt

Information sur l'utilisation et la gestion de la zone dans différents buts:

- ✓ Produits récoltés dans la forêt, à des fins commerciales et non commerciales.
- ✓ Existence et nombre de PFNL comme les champignons, les baies, le jonc, le bambou etc.
- ✓ Propriété foncière, droits des utilisateurs et régime de gestion forestière.
- ✓ Technologie de coupe utilisée ou prochainement utilisée, si possible.
- ✓ Existence de biotopes et d'espèces rares.
- ✓ Utilisation sociale de la forêt.

### ⇒ Composition et développement de la forêt

L'information dérivée des IFN ne peut pas être utilisée à des fins de gestion au niveau des peuplements (l'IFN n'est pas la bonne source de données pour ces analyses de petites surfaces), mais uniquement pour un contexte régional plus large.

Cependant, il peut constituer une information importante pour la formulation des programmes de gestion forestière nationaux ou régionaux et les décisions politiques concernant l'utilisation ou la conservation des ressources forestières. Les catégories suivantes peuvent fournir de l'information précieuse:

- ✓ Classification en couches, en différentes couches de la canopée.
- ✓ Étape de développement forestier, notamment phase de régénération, jeune forêt/repousse, forêt exploitable, forêt ancienne.
- ✓ Proportions surfacelles de groupes d'espèce (proportions de la surface terrière) ou des classes d'âge (si elle n'est pas dérivée des données des arbres individuels).
- ✓ Densité du matériel (selon une table de production ou une capacité maximum de matériel).



### Astuces rapides!

#### Observations supplémentaires «en dehors» de l'échantillon

Les équipes de terrain passent beaucoup de temps dans la forêt, et peuvent faire de nombreuses observations en dehors des parcelles sélectionnées. Et même si le cadre statistique ne peut pas produire d'estimations à partir de ces observations – car l'absence de plan d'échantillonnage et de plan parcellaire ne permet pas de dériver de probabilités de sélection ou d'inclusion – elles peuvent être très pertinentes à d'autres fins, comme la construction de modèle ou la formation, et servir de points de validation de la classification issue de la télédétection ou pour le suivi de la vie sauvage. Il est donc sensé de les inclure dans le flux de travail de l'IFN.

Les équipes de terrain peuvent potentiellement enregistrer des points de terrain pour différents types de forêt, d'utilisation des terres et de classes de couverture terrestre, en fonction d'un modèle de classification hiérarchique de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre, sur le parcours vers les parcelles. Ces classifications prennent peu de temps et enregistrer les consommateurs est rapide et facile.

#### Exemples de variables catégorielles

Au niveau parcellaire, les mesures prises incluent l'angle de pente, l'accessibilité et le type d'utilisation des terres/de couverture terrestre. La plupart des variables sont des variables catégorielles qui nécessitent des définitions très claires et des règles de décision pour l'interprétation. Dans certains cas, des exemples photographiques pour les différentes catégories peuvent aider. Les exemples possibles

peuvent inclure de l'information sur l'état de perturbation ou l'état de dégradation qui sont souvent inexacts et ont besoin d'indicateurs clairs avec des définitions.

L'exemple suivant montre une définition de la variable perturbation selon un modèle de *manuel de terrain d'IFN* fourni par la FAO.

Option / étiquette	Description / définition	Code
<b>Non perturbée</b>	Zones protégées, toutes les ressources sont conservées	0
<b>Légèrement perturbée</b>	L'exploitation de biens et services est menée selon des plans de gestion	1
<b>Modérément perturbée</b>	De nombreux produits sont récoltés sans se conformer aux plans de gestion, la notion de durabilité n'est pas respectée	2
<b>Fortement perturbée</b>	Exploitation de produits à un taux supérieur à l'accroissement moyen annuel (AMA), dégradation de la biodiversité causée par une forte pression sur des espèces sélectionnées, empiètement de l'agriculture donnant un taux élevé de déforestation	3



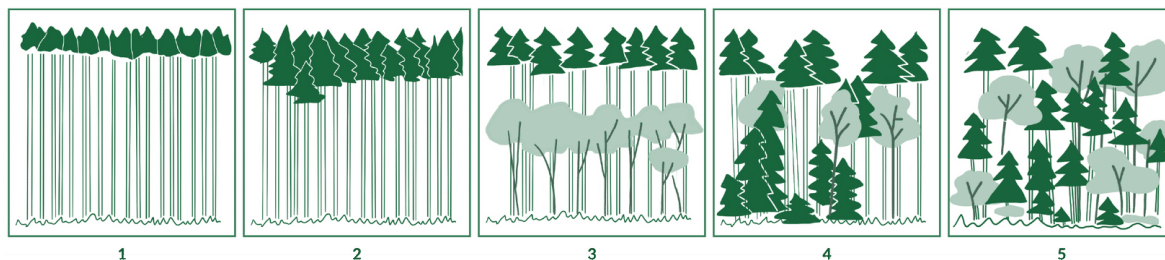
### Note

Même avec des descriptions détaillées, il peut tout de même être difficile pour les équipes de terrain d'arriver à une conclusion. Les discussions sur le terrain (concernant les assignations correctes) et les interprétations possibles de groupe et individuelles des définitions sont une forte indication que les descriptions du manuel de terrain ne sont pas suffisantes!

La «structure forestière» est un autre exemple de variable catégorielle qui nécessite une définition claire. La structure verticale décrit la variabilité des hauteurs totales et la classification en couches d'un peuplement. La structure peut être observée par une estimation visuelle des conditions moyennes sur la parcelle et dans l'environnement direct de la parcelle. Cette variable présente aussi un intérêt pour l'intégration de la télédétection, car elle influence la corrélation et la saturation des estimations de

terrain et des mesures de télédétection. Les schémas et les dessins peuvent appuyer la décision finale et peuvent être utilisés lorsque cela est possible et significatif.

Option/étiquette	Description/définition	Code
<b>Couche singulière, mêmes hauteurs</b>	Forêt typique d'une couche de classe d'âge singulière où tous les arbres ont la même hauteur	1
<b>Couche singulière, hauteurs variables</b>	Une forêt avec une couche singulière, mais une différenciation des hauteurs totales	2
<b>Couches multiples claires</b>	Une séparation claire entre différentes couches (généralement du même âge)	3
<b>Structure variable en trouées</b>	Structures en trouées avec une variabilité locale de la hauteur totale	4
<b>Structure variable complète</b>	Une forêt naturelle ou une forêt plantée typique où toutes les classes d'âge et de hauteur sont mélangées	5



Structure verticale des peuplements (adapté de Otto, 1994).



### Note

#### Interprétation des variables «floues»

Même avec des définitions très claires, certaines variables restent floues. Lorsque les équipes de terrain sont confrontées aux situations réelles dans différents types de forêt, il est essentiel que ces variables soient comprises et interprétées de manière cohérente.

Le principal problème se pose généralement avec les variables catégorielles qui ne sont pas mesurées mais classifiées selon une interprétation visuelle et une clé de classification. Les variables catégorielles peuvent inclure la classification des types de forêt, l'interprétation de l'état de dégradation ou de la structure de la limite de la forêt; ou pour les arbres individuels: la classification des couches et de la position sociologique (entre dominant et étouffé), ou de la vitalité de l'arbre ou la qualité de la tige. Pour certaines de ces variables, un ensemble d'exemples/images/graphiques schématiques/photographies peut être utile. Des observations comparables faites par des équipes multiples ne peuvent être attendues que si tous les membres sont formés ensemble ou au moins par les mêmes formateurs!

Les types de forêt dans les pays tropicaux, avec de nombreuses espèces partageant l'espace, constituent un exemple évident. La formation sur cette question est particulièrement ardue et potentiellement chère. C'est pourquoi il est parfois préférable pour certaines variables de redéfinir les types de forêt de mener un processus d'AQ/CQ pendant la phase d'analyse.

### Collecte de données sur les sous-parcelles

Outre les arbres sur pied, il existe généralement un intérêt pour d'autres objets et variables liés aux arbres, y compris la régénération forestière et le bois mort ou les PFNL prélevés sur des sous-parcelles (imbriquées). Le respect des seuils de diamètre des normes de notification internationale (par ex. [directives du GIEC](#)) doit être vérifié pendant la définition des variables.

La régénération forestière informe la densité, la qualité et le mélange d'espèces de la prochaine génération de forêt et peut donner un aperçu du potentiel de régénération naturelle.

### Évaluation de la régénération

La régénération des arbres fournit une information importante sur la composition future potentielle de la forêt. La régénération des arbres se réfère souvent à tous les arbres ayant un dhp en-deçà du diamètre minimum pour les évaluations au niveau de l'arbre (par exemple 10 cm). Dans certains cas, cependant, on distingue la «régénération» de la «régénération établie» et les semis très petits (par exemple moins de 25 cm de hauteur) sont ignorés. C'est une question de définitions et de terminologie claires.

Les arbres en régénération sont généralement enregistrés sur des sous-parcelles relativement petites car leur densité peut être très élevée, particulièrement dans les forêts naturelles avec une large variabilité du dhp.

Les semis et les jeunes plantes sont relevés dans des parcelles imbriquées d'un à deux mètres de rayon; les sous-parcelles pour les petits arbres en régénération sont souvent placées à plusieurs mètres du centre des parcelles pour éviter le piétinement de ces plantes par les membres de l'équipe de terrain ou leur coupe à la machette lorsque les assistants ouvrent la voie pour l'avancée de l'équipe de terrain.

La régénération est typiquement relevée par espèces et dénombrement par aire.



### Astuces rapides!

Les sous-parcelles de régénération (ou micro-parcelles) doivent être éloignées du centre des parcelles. Parfois, elles sont définies en dehors de la sous-parcelle plus grande, ce qui peut rendre les équipes de terrain nerveuses. Mais peu importe si la micro-parcelle est imbriquée dans la sous-parcelle supérieure ou en dehors. La question est de suivre clairement les instructions de mesure.

### Évaluation du bois mort

Le bois mort dans les forêts inclut toutes les pièces de bois mort qui ne sont assignées à une scierie ou à une autre utilisation. Le bois mort peut être évalué sur des parcelles à aire fixe (qui sont souvent relativement petites, typiquement  $< 100 \text{ m}^2$ ), ou selon un échantillonnage linéaire (LIS, en anglais) le long des lignes de transect. Le LIS est principalement utilisé pour les débris ligneux au sol, tandis que les souches et les arbres morts sur pied (cassés ou non) sont relevés dans l'aire parcellaire comme les arbres sains.

Comme pour la régénération, l'occurrence du bois mort présente une variabilité spatiale élevée (beaucoup à certains endroits, mais d'autres endroits sans aucun bois mort).

Avec le LIS, une option consiste à dénombrer les intersections d'une ligne d'échantillonnage (transect) d'une longueur définie avec des pièces de bois mort et d'observer la classe de diamètre de ces pièces au point d'intersection. À partir des estimateurs statistiques pour le LIS, il est possible de dériver une

estimation de la longueur totale des pièces de bois mort par classe de diamètre, qui permet alors aussi de dériver le volume.

Le bois mort est l'un des cinq puits de carbone par défaut dont les pays doivent notifier les changements à la convention sur le changement climatique. À long terme, tout bois mort va pourrir et relâcher son carbone dans l'atmosphère, mais les changements des stocks de bois mort peuvent altérer le rôle des forêts en tant que source nette ou puits de carbone. Pour cette distinction, l'état de pourrissement est évalué en différentes classes, comprenant solide, intermédiaire et pourri. Le bois mort peut inclure::

1. **Arbres morts sur pied** (les variables d'intérêt pour l'observation comprennent en général espèces, dhp, hauteur, cassure ou non, motif de mortalité).
2. **Souches** (les variables d'intérêt pour l'observation comprennent en général espèces, diamètre de souche, hauteur de souche, état de pourrissement, âge/année de coupe/mortalité).
3. **Débris ligneux grossiers au sol** (les variables d'intérêt pour l'observation comprennent en général nombre de pièces, diamètres, longueurs, état de pourrissement – le but est d'estimer le contenu en carbone).
4. **Petits débris ligneux au sol** (les variables d'intérêt pour l'observation comprennent en général nombre de pièces, diamètres, longueurs, état de pourrissement – le but est d'estimer le contenu en carbone).



### Note

D'après la [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques \(CCNUCC\)](#), le bois mort comprend les catégories 1 à 3, tandis que la catégorie 4 appartient à la litière des puits de carbone. Le seuil entre bois mort et litière est défini par le GIEC à un diamètre de 10 cm.

### Échantillonnage des sols

Un IFN peut être la base de la notification au titre des conventions internationales, comme la CCNUCC. Dans ce cas, les stocks de carbone doivent être estimés séparément des différents puits de carbone.

Outre le bois mort déjà étudié, les autres puits de carbone sont la biomasse aérienne et souterraine, la



litière et la matière organique des sols. Pour cette dernière, des échantillons des sols peuvent être prélevés pour une analyse en laboratoire. Les procédures d'échantillonnage et la logistique ont besoin d'un protocole clair, car les échantillons doivent atteindre le laboratoire en quelques jours. Néanmoins, les échantillons des sols étant rapidement prélevés (et fastidieux à transporter), il est important d'établir un flux de travail d'analyse clair pour le processus. Cela inclut la garantie d'un laboratoire et la prise en compte du temps et des coûts engagés.

Le manuel de terrain ci-dessous présente un protocole d'échantillonnage des sols.

### Autres évaluations

Dans de nombreux IFN, les évaluations supplémentaires d'autres composants sont intégrés. Par exemple, la réalisation d'estimations de la quantité et de l'utilisation des PFNL. Il peut s'agir d'une hypothèse experte dans des classes définies, ou d'une évaluation réelle avec des mesures sur des sous-parcelles (imbriquées) adaptées.

Par ailleurs, la végétation au sol, les arbustes et la strate herbacée peuvent présenter un intérêt (par ex. pour l'information sur la biodiversité). Plutôt que des mesures détaillées, une hypothèse experte de la couverture dans une aire de référence définie est généralement enregistrée. Il existe des manuels pour l'échantillonnage de la végétation herbacée (souvent utilisé dans le suivi des pâturages) qui sortent du cadre de ce cours.

## Résumé

### Avant de conclure, voici les principaux points d'apprentissage de cette leçon:

- Pour une mesure exacte de la position de la parcelle, il est recommandé d'utiliser un récepteur GNSS différentiel qui utilise la correction d'information.
- Les mesures des coordonnées exactes et précises des positions des parcelles sont essentielles si les données de télédétection ne sont pas utilisées comme source de données dans les phases de planification et d'estimation de l'IFN.
- Le marquage visible des parcelles (par ex. avec une couleur permanente, des numéros sur les arbres ou des perches visibles) n'est pas recommandé car il est bon de cacher les parcelles d'échantillonnage.

- Utiliser des tubes en fer ou en aluminium, de 30-50 cm de long, qui sont complètement cachés dans le sol est une manière typique de marquer les parcelles de façon invisible.
- L'information parcellaire est rassemblée dans une caractérisation de l'aire parcellaire à travers des variables de base comme l'angle de pente, le type de forêt, l'accessibilité, l'état de perturbation, entre autres.
- Outre les arbres sur pied, l'information sur la régénération forestière et le bois mort ou les PFNL prélevés dans des sous-parcelles (imbriquées) a aussi son importance pour la notification des puits de carbone.

## Leçon 4: Mesures au niveau de l'arbre

### Introduction de la leçon

**Dans cette leçon, nous apprendrons les principales mesures sur les arbres individuels. Nous nous intéresserons aussi aux variables et mesures centrales qui sont typiquement évaluées dans les IFN.**

Bien que l'ensemble des variables évaluées sur chaque parcelle d'échantillonnage dans un IFN puisse dépasser 100 à 150, chacune avec des définitions très spécifiques, cette leçon se concentrera sur les mesures et les observations typiques au niveau de l'arbre, comme les diamètres et les hauteurs totales.

### Objectifs

A la fin de cette leçon, vous serez en mesure de:

1. Décrire les principes de mesure de base de certaines variables centrales liées aux arbres dans un IFN.
2. Expliquer comment mesurer le dhp.
3. Identifier comment les principes de trigonométrie facilitent la mesure de la hauteur totale.
4. Énumérer les variables catégorielles des arbres individuels qui sont intéressantes dans un IFN.

### Mesures communes sur les arbres individuels

De nombreuses variables d'intérêt que l'on évalue sur une parcelle d'échantillonnage (ou des sous-parcelles) sont des valeurs agrégées des caractéristiques mesurées ou modélisées des arbres individuels. Une fois la position de la parcelle située sur le terrain, le plan parcellaire détermine quels arbres doivent être inclus comme arbres échantillons et être mesurés.

**Rappelons que les parcelles imbriquées, avec différentes tailles de parcelles pour différentes classes de diamètre des arbres, sont la norme courante.**

Pour les systèmes d'inventaire permanent où les mêmes parcelles sont mesurées de manière répétée, il est recommandé de cartographier la position des arbres en enregistrant l'azimut et la distance entre le centre de la parcelle d'échantillonnage et l'arbre. Les mesures sur les arbres individuels doivent être faites selon une séquence fixe en fonction de l'azimut croissant (dans un sens circulaire).



### Ressources vidéo

Une *série de tutoriels vidéo abordant les différentes techniques normalisées d'évaluation parcellaire et de dendrométrie* (en anglais) est mise à disposition par la Chaire d'inventaire forestier et de télédétection de l'Université de Göttingen et constitue une ressource utile pour cette leçon. Ces vidéos peuvent être visionnées en parallèle des sujets spécifiques ou après avoir fini le cours. Pour en faciliter l'accès, des liens directs vers des vidéos spécifiques sont présentés au sein du contenu du cours lorsque cela est pertinent.

## Mesures des diamètres des arbres

Qu'est-ce qui est «mesuré» dans un inventaire forestier?

Avant de commencer, intéressons-nous aux éléments qui sont mesurés dans un inventaire forestier.

Une mesure est caractérisée par une source d'erreur singulière (ou variabilité), qui est l'**erreur de mesure**. Rappelons qu'il n'y a que deux types de mesures directes dans un inventaire forestier: les **longueurs** et les **angles**.

Le dhp d'un arbre, par exemple, peut être dérivé de la mesure de la longueur de la circonférence de la tige (à l'aide d'un ruban) ou à partir de la distance entre le côté gauche et le côté droit du tronc (à l'aide d'un pied à coulisse).

### Diamètre à hauteur de poitrine (dhp)

La mesure la plus commune, mais aussi la plus importante réalisée dans un inventaire forestier, est celle du diamètre de la tige. Le plus souvent, la mesure du diamètre est faite sur les tiges des arbres sur pied, et parfois, sur les souches ou les arbres morts sur pied. Les diamètres sont généralement mesurés par-dessus l'écorce, de sorte qu'une réduction doit être appliquée si l'on s'intéresse au volume du bois fort. La hauteur normalisée pour la mesure du diamètre est de 1,3 m, également appelée «hauteur de poitrine», ce qui donne lieu à l'acronyme dhp = diamètre à hauteur de poitrine.

Le dhp est une variable centrale de l'inventaire forestier et de l'analyse car dans la plupart des cas, il est facilement et directement mesuré, et la distribution des diamètres dans une forêt apporte une bonne vision de la structure forestière et des étapes de développement. Il est aussi utile de rappeler ici que

la **surface terrière** – une variable essentielle de l'IFN, et liée à d'autres variables centrales comme le volume, la biomasse et le carbone – est dérivée du dhp, en supposant toujours que l'arbre a une structure transversale parfaitement circulaire.

En outre, puisque la surface terrière (la surface transversale à 1,3 m de hauteur) d'un arbre est fortement corrélée au volume, à la biomasse et au carbone de l'arbre, **le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) est une variable normalisée évaluée dans pratiquement tous les cas.**

De plus, la hauteur totale est une information importante, mais parfois plus difficile à mesurer sur le terrain, selon le type de forêt et la densité. Les hauteurs totales sont généralement mesurées sur un sous-échantillon d'arbres. À partir de cet ensemble de mesures de hauteur, une relation entre le dhp et la hauteur - une courbe de hauteurs - peut être dérivée avec une analyse de régression qui permet de prédire la hauteur totale à partir du dhp mesuré.

Ainsi, la hauteur des arbres dont la hauteur totale n'a pas été mesurée est prédite à partir de ces modèles. Pour quelques espèces, comme les palmiers, la hauteur est généralement plus importante que le dhp, du moins si l'on cherche à estimer la biomasse. Il doit y avoir une règle de sélection claire pour le sous-échantillonnage de ces arbres dont la hauteur sera mesurée sur une parcelle.

### Où mesurer le dhp

La position normalisée pour les mesures du diamètre des arbres sur pied est à hauteur de poitrine, définie comme une hauteur de 1,3 m dans la plupart des pays. Mais il existe encore plusieurs pays où le dhp est mesuré, ou l'a été, à différentes hauteurs (par ex. 4,5 pieds ou 1,2 m).

Bien qu'aujourd'hui, 1,3 m soit la hauteur normalisée des mesures du dhp, il faut toujours vérifier comment le dhp a été défini dans les données des inventaires précédents. Il est aussi possible que des modèles volumétriques ou des modèles de biomasse existants nécessitent des données de dhp mesuré à 4,5 pieds au lieu de 1,3 m – cela doit être vérifié pendant les analyses.

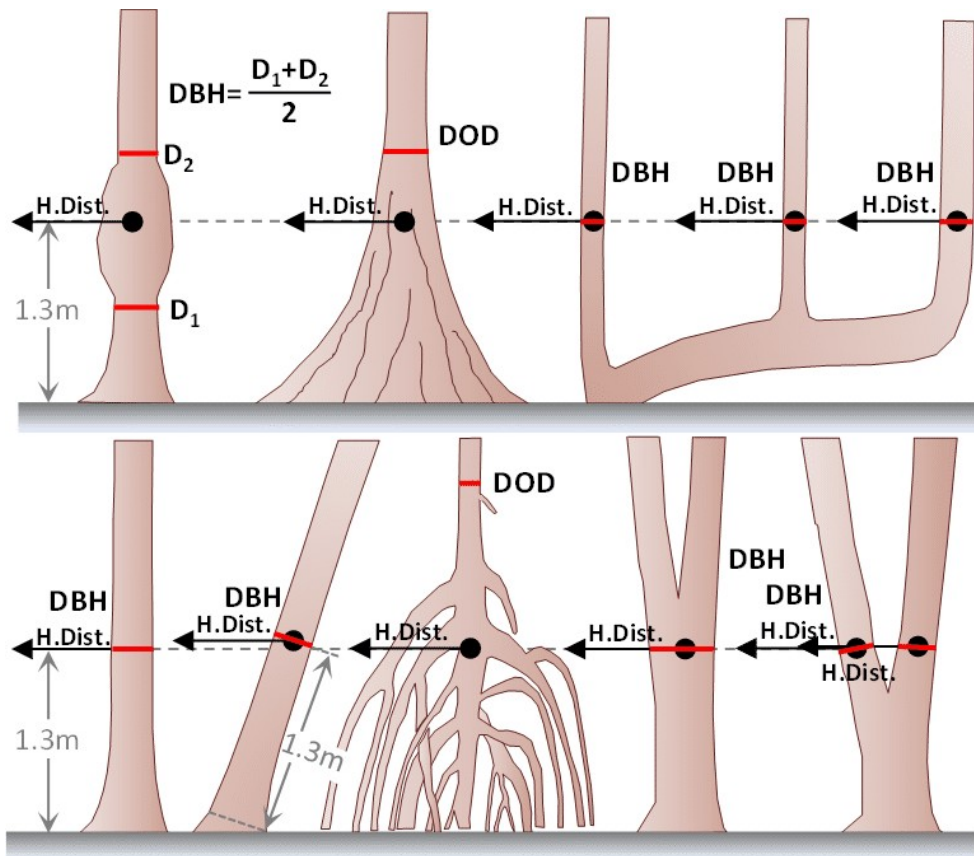
Par conséquent, il est toujours bon de convenir de la hauteur de mesure du dhp avant de commencer la collecte de données et l'analyse. Rappelons que les mesures doivent être cohérentes dans le temps et éviter les erreurs systématiques et les changements qui ne sont pas dus à des changements réels mais à différentes approches de la mesure.



### Ressources vidéo

La vidéo est en langue originale (en anglais): [Comment mesure les diamètres des arbres et de dhp.](https://www.youtube.com/watch?v=17NpkVXteil) (<https://www.youtube.com/watch?v=17NpkVXteil>)

En général, le diamètre est mesuré perpendiculairement à l'axe de la tige. Une définition plus détaillée des positions de mesure pour les cas particuliers (voir la figure ci-dessous) doit être incluse dans le manuel de terrain. Sur un terrain en pente, la hauteur de mesure est prise du côté supérieur de la pente dans la plupart des pays, mais parfois la «mi-pente» est définie et mesurée sur le côté.



Exemple de définition détaillée des positions de mesure du diamètre des tiges irrégulières (DOD, en anglais) et distance horizontale (Dist. H) tiré de l'inventaire d'une forêt marécageuse de tourbière à Kalimantan, en Indonésie.



### Note

#### Cas particuliers de mesure du dhp

Il y a plus de cas particuliers, comme les tiges de rejet où la hauteur de 1,3 m est enregistrée à partir du «niveau du point de rejet». L'IFN de la Papouasie-Nouvelle-Guinée a suivi cette règle dans le cas des racines aériennes – le diamètre a été mesuré à 30 cm au-dessus de la racine supérieure. Parmi le genre *Ficus*, certaines espèces d'arbres ont souvent des racines en échasse à plus de 1,3 m au-dessus du sol. Certaines racines supérieures sont bien établies dans le sol, et d'autres ont juste commencé leur formation, ou sont formées depuis la canopée. Par conséquent, seules les racines provenant de la tige centrale et touchant le sol sont considérées pour déterminer la «racine supérieure».

#### Pourquoi mesurer «à hauteur de poitrine»

La raison de l'imposition de la hauteur de poitrine comme mesure normalisée tient probablement à la facilité et la commodité de la mesure. Cette position sur la tige peut facilement être atteinte et se trouve généralement au-dessus des boursofflures racinaires dans la section inférieure de la tige de la plupart des arbres.

Néanmoins, mesurer à une hauteur absolue signifie aussi que la hauteur du dhp correspond à des positions relatives différentes pour les arbres de différentes tailles: pour les arbres immenses, elle peut se trouver dans la section où les racines et la base de la tige influencent la forme de la tige – tandis que pour les petits arbres, 1,3 m correspond souvent à une section de la tige où celle-ci est régulièrement formée. Une position de mesure à une hauteur relative fixe (par ex. 5 pour cent de la hauteur totale de l'arbre) serait plus significative et plus en lien avec les autres caractéristiques de l'arbre, mais difficile pour le travail de terrain. En outre, une hauteur de mesure commune et définie est importante, car le dhp est un apport pour des modèles (par ex. volume et biomasse) qui ne sont valides que si l'on respecte une certaine définition.

#### Comment mesurer le dhp

Il existe trois manières de mesurer le dhp – avec un ruban de mesure, un pied à coulisse, et à distance. Voyons les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'un ruban de mesure et d'un pied à coulisse.

**Ruban:** Avec un ruban, on mesure la «la longueur de la surface convexe autour de la superficie

transversale irrégulière». À partir de cette longueur du périmètre, on dérive le diamètre transversal où l'on suppose que la structure transversale a une forme circulaire parfaite.

Le diamètre peut alors être dérivé en divisant la circonférence par  $\pi$  (3,1416). Un ruban pour mesurer le diamètre a une échelle « $\pi$ » où la longueur est divisée par  $\pi$ , de sorte que le diamètre peut être lu directement.

**Pied à coulisse** : Un pied à coulisse mesure la distance entre le côté gauche et le côté droit de la tige. La structure transversale irrégulière de la tige donnera différentes lectures depuis différentes positions de mesure. Une règle typique consiste à établir que le bras du pied à coulisse doit toujours être orienté vers le centre d'une parcelle d'échantillonnage circulaire. Généralement, une seconde mesure, perpendiculaire à la première, est prise pour les plus grands arbres, et le dhp est dérivé de la moyenne des deux mesures.



### Astuces rapides!

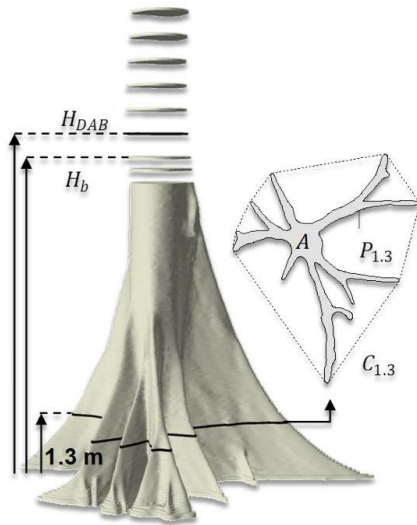
#### Ruban versus pied à coulisse – quel outil utiliser dans un IFN?

Si l'on compare les deux instruments, il est évident que le pied à coulisse n'est pas instrument facile à manipuler: si l'on s'attend à trouver de grands arbres, on aura besoin d'un très grand pied à coulisse. Les équipes de terrain préféreront utiliser un ruban pour mesurer le diamètre.

Mais il y a aussi d'autres raisons pour lesquelles un ruban est un meilleur choix: la lecture du ruban est beaucoup plus précise (moins de variation avec de nombreuses répétitions), tandis que l'on obtient une lecture différente avec un pied à coulisse lorsque l'on mesure depuis une position différente (dans le cas habituel d'une structure transversale non circulaire de la tige). Ceci est particulièrement important si l'on cherche à estimer les changements à partir de mesures multiples à différents points dans le temps.

Les mesures du diamètre du bois mort couché ou sur les troncs épineux sont les exceptions: là un pied à coulisse sera plus pratique qu'un ruban.





Structure transversale d'un arbre à contreforts à 1,3 m de hauteur et position de mesure du diamètre au-dessus des contreforts ( $d_{ab}$ , en anglais).

### Le cas particulier des arbres à contreforts

Les racines en contreforts sont présentes dans de nombreuses familles botaniques, mais parmi celles représentées dans les forêts tropicales, certaines ont une tendance plus importante à produire ces racines tabulaires que d'autres. Dans de nombreux cas, il s'agit des plus grands arbres dans la forêt, qui contribuent le plus au total du volume et de la biomasse.

La surface transversale de la tige à une hauteur de 1,3 m rend toute mesure du diamètre impossible ou insignifiante. À la place, un diamètre au-dessus des racines en contreforts ( $d_{ab}$ , dans la figure) est souvent utilisé. La position (selon la dimension de l'arbre, elle peut être à 7 à 9 m de hauteur) peut ne pas être atteignable, nécessitant une mesure indirecte des diamètres supérieurs. Les racines en échasse des mangroves sont aussi des exemples tout aussi peu pratiques.

### Mesure des diamètres supérieurs

Il existe différentes situations où une mesure directe du dhp est impossible (par ex. pour un diamètre au-dessus des contreforts ou au-dessus des racines en échasse dans les mangroves). Différentes techniques sont disponibles pour la mesure indirecte à distance.

Les dispositifs typiques pour ces mesures sont le relascope à miroir, ou des alternatives plus modernes comme le Criterion RD1000 (Laser Technology, Inc). Avec ces instruments, une relation fixe entre la largeur et la distance d'un objet peut être utilisée pour déterminer visuellement les diamètres à n'importe quelle hauteur de la tige.

Tandis que le relascope (ou télérelascope) fournit des échelles avec des relations fixes, les dispositifs plus modernes permettent aux utilisateurs de déterminer visuellement la largeur d'une tige et de mesurer la distance avec cette position. Le diamètre réel peut alors être calculé à partir de ces deux mesures.



### Ressources vidéo

La vidéo suivante (en anglais) explique comment utiliser un relascope à miroir pour mesurer les diamètres des arbres à différentes hauteurs.

[Mesurer les diamètres supérieurs des arbres avec un relascope a miroir](https://www.youtube.com/watch?v=W88BzIC715o&t=1s)

[<https://www.youtube.com/watch?v=W88BzIC715o&t=1s>]

### Mesures des hauteurs totales

La hauteur totale d'un arbre est définie comme la distance verticale maximum entre le point le plus bas (pied de la tige) et le faîte de l'arbre. La hauteur totale se distingue donc de la longueur de la tige ou de l'arbre: hauteur et longueur sont identiques pour les arbres parfaitement droits, mais différentes pour les arbres inclinés!

La mesure directe des hauteurs totales est possible uniquement pour les très petits arbres, comme pour la régénération des petits arbres (les perches télescopiques correspondantes peuvent être étirées jusqu'à 7 à 10 m). Généralement, la hauteur totale est calculée à partir des mesures des angles (au faîte et au pied) et d'une distance horizontale de l'arbre. Selon la situation réelle dans la forêt, différentes techniques de mesure sont disponibles. Les équipes de terrain doivent être formées pour toutes les utiliser et être capables de décider de l'approche la plus adaptée.



### Ressources vidéo

La vidéo suivante (en anglais) explique les bases de la mesure de la hauteur totale selon des principes géométriques et trigonométriques. [Principles de base de la mesure de la hauteur total](#)

### **Doit-on toujours mesurer les hauteurs juste parce que c'est une norme?**

Les mesures de la hauteur prennent beaucoup de temps, et sont donc chères. Dans beaucoup de pays, l'information sur les hauteurs totales est nécessaire en tant qu'apport aux modèles (par ex. modèles de biomasse ou de volume). Cependant, le besoin en information sur la hauteur peut être différent selon les conditions nationales diverses.

Par exemple, dans des cas où tous les arbres ont des hauteurs totales similaires, comme dans la forêt Miombo africaine, il n'est pas utile de mesurer beaucoup de hauteurs totales. Cela s'applique aussi aux cas des structures de canopée forestière très complexes, comme dans les forêts tropicales mixtes, où les mesures de hauteur représentent un effort immense et sont susceptibles d'erreur, et les modèles de volume et de biomasse sont parfois fondés sur le seul dhp. Dans ce cas, il peut être difficile de trouver une justification suffisante aux mesures de hauteur exigeantes en termes de temps.

Les palmiers sont considérés comme des arbres dans la phase de collecte de données, mais ils sont distingués dans la phase d'analyse de données. Parce que typiquement, les palmiers n'ont pas de relation dhp-hauteur claire, il est recommandé d'enregistrer les hauteurs de tous les palmiers sur la parcelle. Souvent, la hauteur d'un palmier est mesurée à partir du pied jusqu'au faite de la tige.

### **Mesure de la hauteur totale fondées sur les principes trigonométriques**

La trigonométrie est la base commune pour déterminer les hauteurs totales avec des dispositifs modernes comme avec ceux plus anciens. Le calcul de la hauteur totale d'un arbre s'appuie sur la mesure de la distance horizontale et des angles verticaux entre le faite de l'arbre et le pied de la tige.

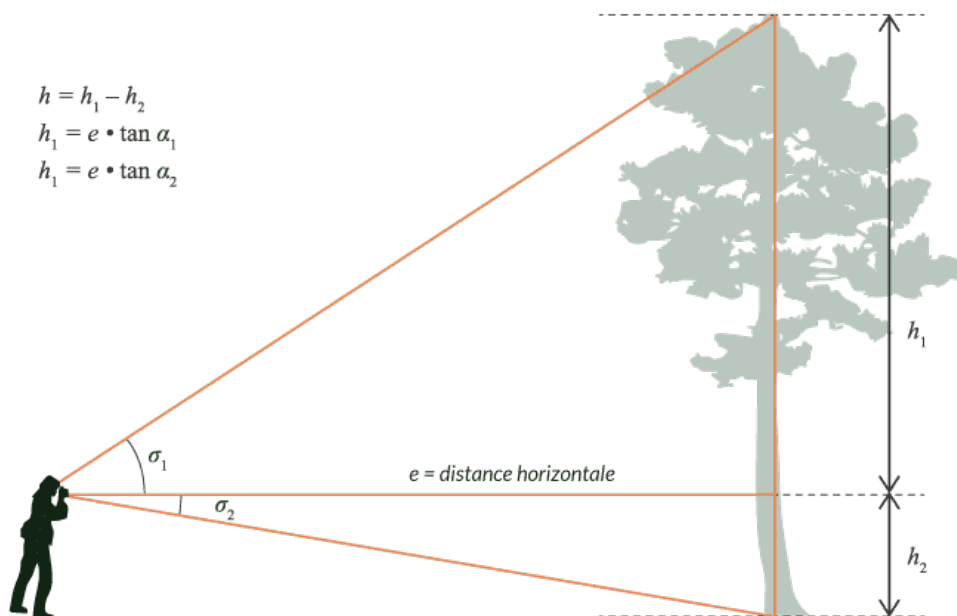
Parce que le calcul de la hauteur totale nécessite plusieurs mesures, les erreurs de mesure dans chaque variable propagent l'erreur totale dans les estimations de la hauteur totale, du volume et de la biomasse. Par conséquent, l'erreur relative de la hauteur est généralement considérablement plus élevée que l'erreur relative de la mesure du dhp.

### **La méthode tangentielle**

Le principe sous-jacent de presque tous les dispositifs de mesure – depuis l'instrument laser moderne jusqu'au vieil hypsomètre mécanique – est la méthode tangentielle, qui considère que deux triangles à angle droit peuvent être construits (partageant un côté adjacent), pour lesquels le côté opposé est calculé à partir de la distance horizontale et des angles mesurés.

La hauteur totale de l'arbre peut être calculée à partir de la hauteur jusqu'au faite-la hauteur jusqu'au

ped. Si l'on mesure sur un terrain plat, la hauteur jusqu'au pied de la tige est généralement négative, mais il peut y avoir des cas où l'observateur se tient légèrement en-dessous du niveau du pied de la tige.



Calcul de la hauteur totale en utilisant la méthode tangentielle sur un terrain plat. Remarquons que  $h_2$  est généralement négative si l'observateur se tient au-dessus du niveau du pied de la tige.



### Ressources vidéo

La vidéo suivante (en anglais) décrit comment mesurer les hauteurs totales avec des dispositifs simples en suivant la méthode tangentielle.

[Mesure de la hauteur total avec un clinomètre Blume-Leiss et Suunto](https://www.youtube.com/watch?v=EahhIAazK1Y)

[<https://www.youtube.com/watch?v=EahhIAazK1Y>]

Alternativement, la méthode tangentielle peut aussi être utilisée pour travailler sans mesure de distance, à l'aide d'une marque de référence de hauteur connue au niveau de l'arbre. Une mesure d'angle supplémentaire peut alors substituer la mesure de distance.

### Sources potentielles d'erreur

Une mauvaise interprétation potentielle du faîte de l'arbre peut facilement survenir si la distance de

l'arbre n'est pas suffisante ou la visibilité est mauvaise. Une distance d'au moins 1 à 1,5 fois la longueur de l'arbre est recommandée pour une bonne visibilité, particulièrement pour les couronnes grandes et larges. Une distance plus faible signifie aussi que l'on devra mesurer un angle plus abrupt jusqu'au faîte. Même les erreurs légères de cette mesure d'angle auront un effet énorme sur la hauteur totale.

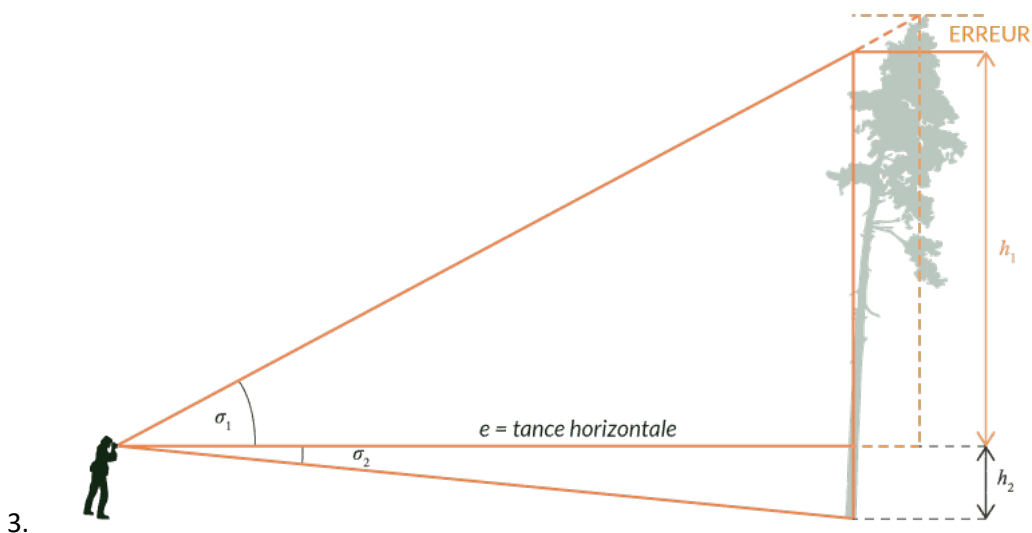
Pour les arbres sur un pente, une position du côté supérieur de la pente, au-dessus de la position de l'arbre, est plus adaptée pour mesurer la hauteur que par en-dessous. Un calibrage correct du dispositif (capteur d'inclinaison d'un instrument laser ou distance du transpondeur pour un Vertex) sera ici supposé.

Voyons maintenant des erreurs typiques avec la méthode tangentielle de mesures des hauteurs totales.

### ➔ Distance de référence incorrecte

Si l'arbre est incliné vers l'observateur, ou à l'opposé, la distance horizontale mesurée n'est pas le bon côté du triangle! Ignorer cela peut introduire des erreurs. Il existe deux solutions:

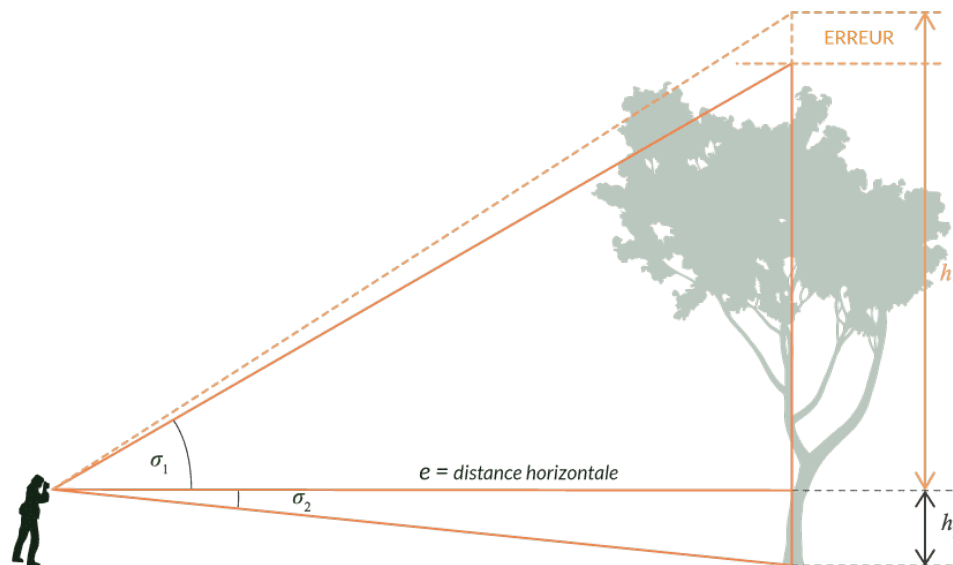
1. trouver une position perpendiculaire à la direction dans laquelle l'arbre est incliné (la plus facile); ou
2. situer le point de projection verticale du faîte de l'arbre au sol (plus difficile) et mesurer la distance et l'angle à partir de ce point.



### ➔ Mauvaise interprétation du faîte de l'arbre

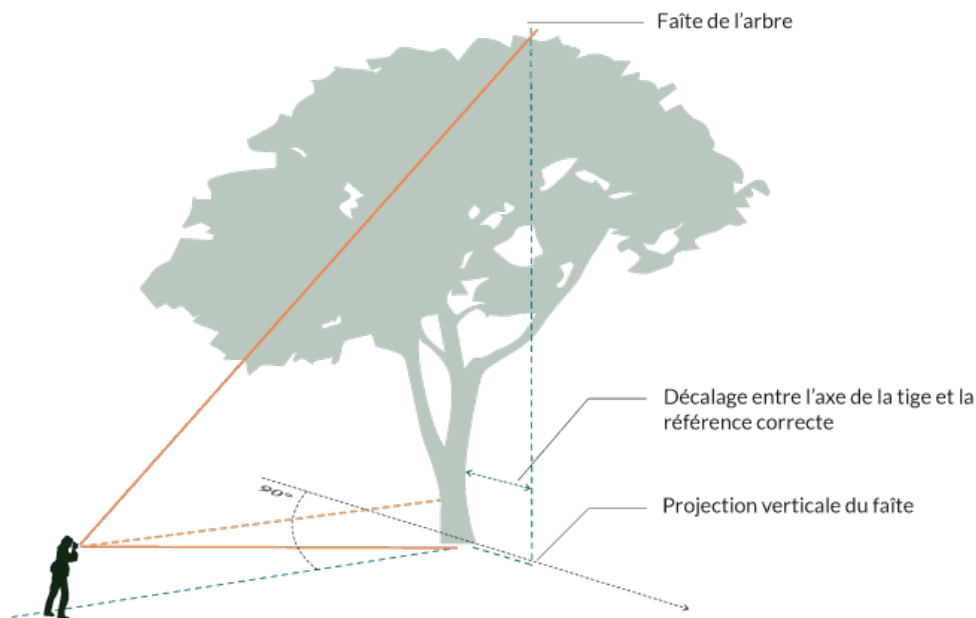
L'identification correcte du point le plus élevé de la couronne d'un arbre est difficile, particulièrement

pour les arbres très feuillus avec une couronne de grandes dimensions. Même à une grande distance, on regarde toujours par en-dessous et doit imaginer un point directement vertical au-dessus de la tige (à partir duquel la distance est mesurée).



### ➔ Décalage avec la position de la tige

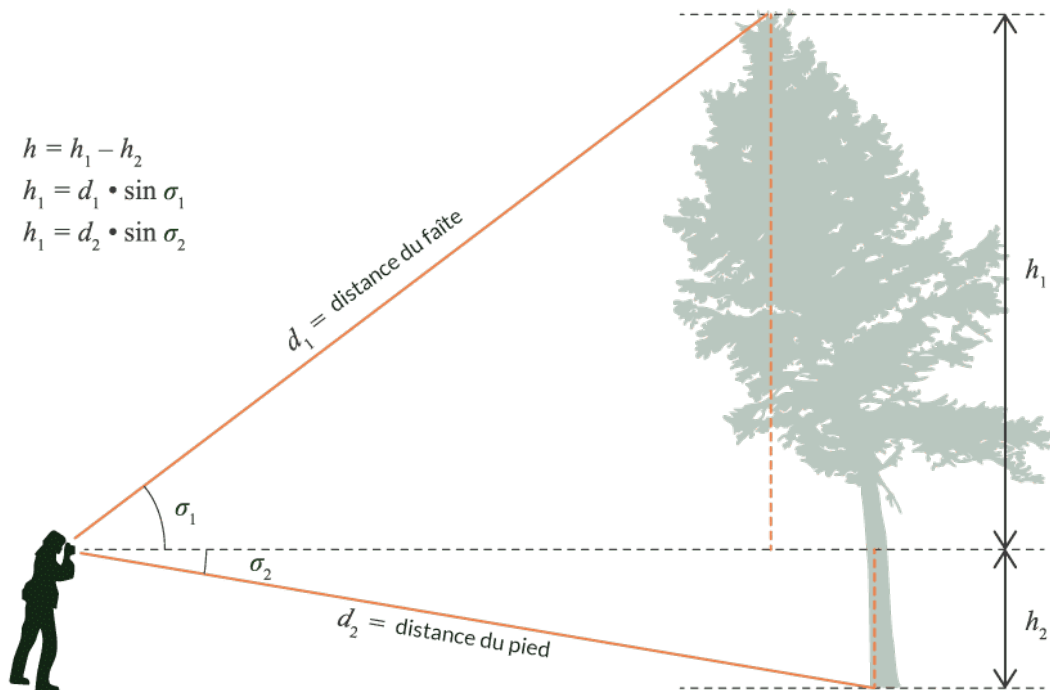
Comme pour les arbres inclinés, les arbres des savanes avec de larges couronnes peuvent avoir un décalage important entre la position de la tige et la projection horizontale du point le plus élevé. Pour éviter les erreurs, appliquez les mêmes solutions que pour les arbres inclinés.



### La méthode sinus

Une autre approche trigonométrique peut être appliquée exclusivement lorsque l'on utilise un télémètre laser. Avec un tel dispositif, il est possible de mesurer la distance oblique avec le faîte de l'arbre (depuis une position suffisamment distante de l'arbre). La possibilité de prendre cette mesure à distance de la branche supérieure dépend presque entièrement de la forme de la couronne.

Si, à la fois, l'angle d'inclinaison est mesuré, et une seconde mesure similaire du pied de la tige est possible (distance + angle d'inclinaison), ces deux hauteurs partielles peuvent être calculées en multipliant la distance oblique avec le sinus des angles d'inclinaison respectifs. Les dispositifs modernes incluent ces deux fonctions et peuvent prendre les deux mesures à la fois.



Parfois, pour les arbres inclinés, ou dans les cas de décalage entre le faîte de l'arbre et la position de la tige, la méthode sinus peut permettre d'éviter des erreurs de la méthode tangentielle, comme une mauvaise distance de référence. Cependant, elle présente aussi un inconvénient clair. Alors que la méthode tangentielle s'appuie sur les mesures des deux points, qui est possible même sans avoir une vue entièrement dégagée, cette méthode de mesure nécessite une vue dégagée du pied de la tige et du faîte de l'arbre car une mesure par laser de la distance correcte est nécessaire, et pour un laser à rayon

lumineux, une vue dégagée de l'objet cible est impérative. Dans les forêts avec un sous-étage dense, la seconde mesure de hauteur du pied s'avère généralement très difficile, si non impossible.

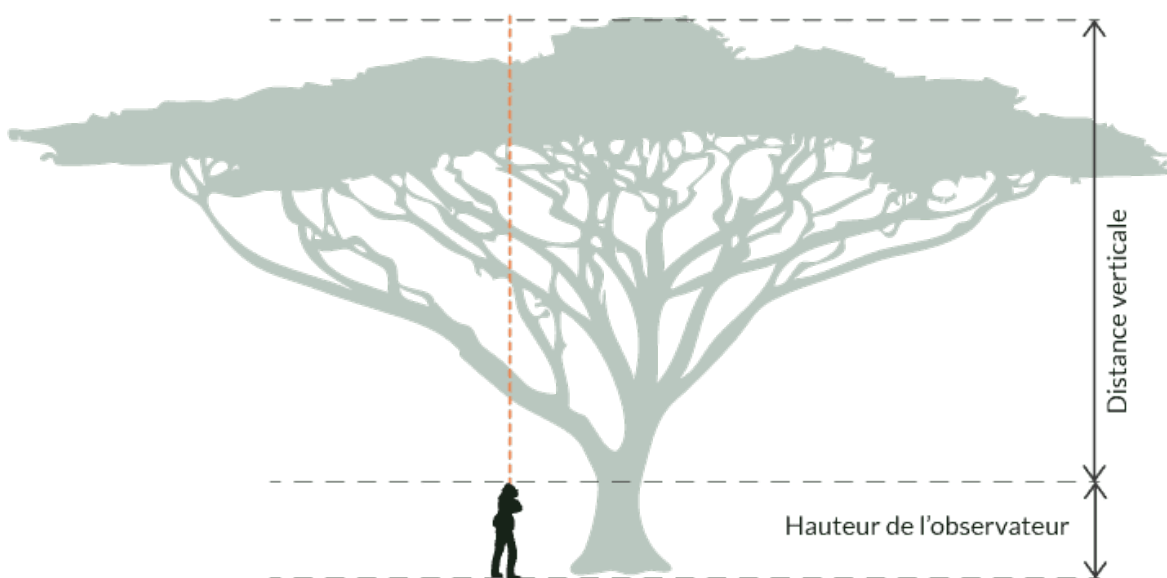
#### Cas particuliers: mesure directe des distances verticales

La plupart des manuels de dendrométrie ont été écrits il y a longtemps, et les dispositifs modernes comme les télémètres laser n'existaient alors pas. C'est peut-être pourquoi parfois des alternatives évidentes et simples pour mesurer les hauteurs totales ne sont pas abordées. Nous allons maintenant voir deux cas particuliers de mesure de distance verticale.

#### Couronnes diffuses

Dans les cas de conifères ou de grands arbres avec des couronnes diffuses, comme c'est souvent le cas dans les forêts tropicales, on peut mesurer la distance verticale directement avec un instrument laser. Les mesures d'angles sont obsolètes dans ce cas. Pour cette mesure, les télémètres laser modernes permettent de passer à un mode de «priorité à la dernière impulsion», qui mesure la distance avec l'objet le plus éloigné au lieu de l'objet le plus proche rencontré.

Cette technique, cependant, ne doit être utilisée que dans des cas particuliers où aucune autre position de mesure adaptée n'a pu être trouvée. Elle fonctionne aussi pour les arbres de la canopée supérieure sans autres couronnes dans l'arrière-plan vertical. Il ne faut pas oublier d'ajouter la hauteur de l'observateur (autrement dit: du dispositif de mesure dans la main de l'observateur) à cette mesure.





### Arbres émergents

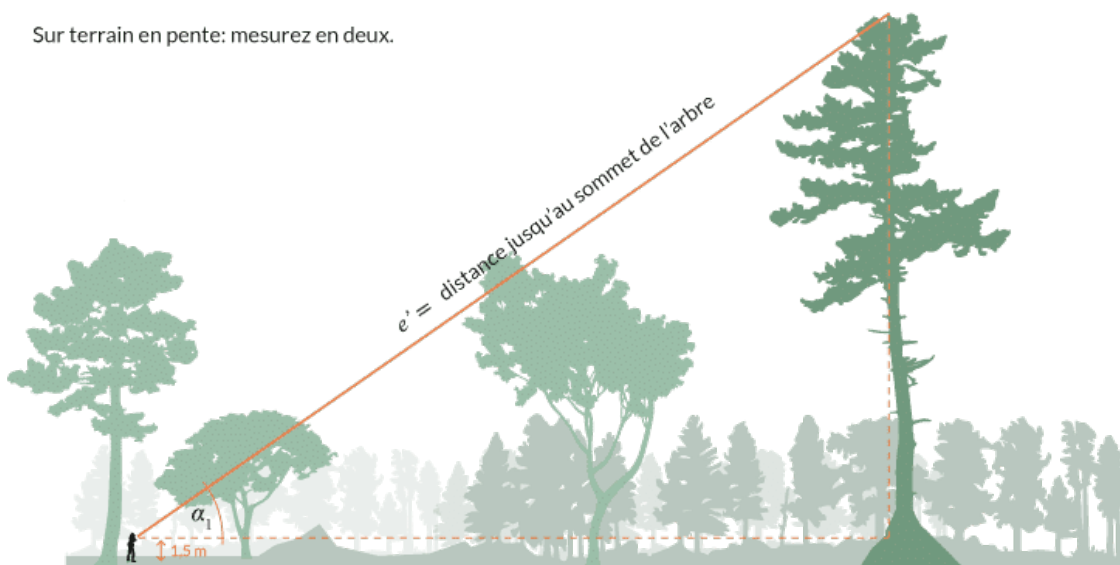
Dans les forêts tropicales avec des arbres émergents et des hauteurs parfois supérieures à 60 m, il est souvent impossible de trouver une position (et de mesurer sa distance) depuis laquelle l'arbre peut être vu entièrement. Il peut néanmoins être possible de trouver des trouées dans la couche de la couronne qui ouvrent une ligne de visée jusqu'au faîte.

Dans ce cas, et si aucune autre option n'est disponible, il est possible d'utiliser la méthode sinus pour obtenir une hauteur entre le faîte et la ligne horizontale de visée en mesurant la distance et l'angle avec le faîte. Il faut alors additionner la hauteur de l'observateur. Cela n'est cependant correct que sur un terrain complètement plat.

Exemple pour un terrain complet

$$e' = 112 \text{ m}, \alpha = 35^\circ = 112 \cdot \sin(35) = 64 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 65,5 \text{ m}$$

Sur terrain en pente: mesurez en deux.



#### Le saviez-vous?

#### Qu'en est-il des mesures de la hauteur totale par LiDAR aérien?

Les conceptions d'IFN modernes incluent parfois le balayage d'échantillons par LiDAR aérien depuis un avion. Dans le cas où la structure forestière permet d'obtenir un nombre suffisant d'échos du

terrain dans les trouées de la canopée, et si un bon modèle de terrain (MNT) peut être dérivé de ces derniers échos, un modèle de hauteur de canopée (MHC) de haute résolution peut être dérivé en soustrayant la hauteur du terrain à la hauteur de surface absolue (MNS = modèle numérique de surface).

Dans les structures forestières comme les forêts tropicales, mais aussi dans les structures simples, ces mesures de hauteur par LiDAR sont généralement considérablement plus exactes que les hauteurs totales mesurées sur le terrain! Néanmoins, pour utiliser ces données pour construire des modèles de hauteur totale, on aurait besoin:

1. d'une segmentation des couronnes des arbres individuels;
2. d'une correspondance entre les mesures de dhp sur le terrain et les couronnes des arbres respectifs, ce qui n'est pas facile à réaliser et susceptible d'erreurs de co-enregistrement;
3. d'une imagerie de LiDAR disponible avec une densité de points adaptée, et un nombre suffisantes d'échos du terrain; et
4. d'experts capables d'analyser les nuages de points du LiDAR (et des licences logicielles correspondantes).

En outre, cette technique ne s'appliquera qu'aux arbres de la canopée supérieure.

### Dispositifs typiques de mesure de la hauteur totale

Les décisions concernant l'équipement pour un IFN font partie de la phase de planification. Bien que les prix de l'équipement varient et qu'il y ait un large éventail de prix à considérer, voici un aperçu non exhaustif de dispositifs typiques (ou catégories d'outils) – catégorisés en dispositifs mécaniques et électroniques.

**Attention:** Les prix donnés ici sont une moyenne des classes de prix sur le marché européen (pour 2021).

#### Dispositifs mécaniques

Les dispositifs mécaniques n'ont pas besoin de batteries et sont généralement très robustes. Les dispositifs de ce groupe ne peuvent généralement mesurer que les angles d'inclinaison. Un inconvénient est que la lecture directe d'une hauteur totale nécessite une distance horizontale fixe, ce qui limite le

choix des positions. En outre, une correction de pente est nécessaire lorsque l'on travaille sur une pente. Ils contiennent généralement des échelles, sur lesquelles la hauteur totale peut être lue si l'observateur se trouve à la bonne distance horizontale de l'arbre.

On peut déterminer cette distance avec un ruban de mesure, en le tenant horizontalement. Certains instruments (comme les altimètres Blume-Leiss et Haga, le clinomètre Silva, le relascope à miroir et certains clinomètres Suunto) sont équipés d'une échelle ou d'un prisme supplémentaire pour déterminer visuellement une distance spécifique. Cela nécessite cependant une ligne de visée dégagée et ne fonctionne que dans les structures forestières relativement ouvertes. Les prix (en 2021) varient entre ~170 EUR (clinomètre Suunto) et ~600 EUR (Blume-Leiss) ou ~2 200 EUR (relascope)



### Note

#### Correction de pente

Les principes trigonométriques se fondent sur la mesure d'une distance horizontale. Travailler sur une pente avec des dispositifs mécaniques nécessite donc une correction de la hauteur mesurée en fonction de l'angle de pente. Si la distance a été mesurée comme distance de pente, la distance horizontale correspondante est plus courte par le facteur cosinus (angle d'inclinaison).

**Exemple:** sur une pente avec un angle de pente de  $16^\circ$ , une distance de mesure de 20 m a été utilisée avec l'un des dispositifs mécaniques ci-dessus. La hauteur totale a été lue (à partir de l'échelle de 20 m) à 18 m. Cependant, la vraie distance horizontale est inférieure à la distance de pente de 20 m ( $20 \cdot \cos(16^\circ) = 19,2$  m). Cela signifie que l'on est en réalité plus proche de l'arbre qu'attendu et que l'on doit corriger la hauteur mesurée par le facteur cosinus, de sorte que la hauteur réelle est maintenant ( $18 \cdot \cos(16^\circ) = 17,3$  m).

#### Dispositifs électroniques

Le groupe des dispositifs électroniques modernes comprend différents télémètres laser et des clinomètres, ainsi que l'instrument Vertex (Haglöf), qui est un outil courant dans les inventaires forestiers. Tous ces outils peuvent mesurer les angles d'inclinaison (avec un capteur d'inclinaison électronique) et les distances.

Tandis que les dispositifs à laser utilisent un rayon laser pour mesurer les distances, le Vertex mesure la distance à partir d'un signal sonore ultrasonique qui peut facilement pénétrer une végétation dense. L'inconvénient est une portée limitée (30-50 m de distance maximum) et une sensibilité aux sons d'interférence (comme les sons des cigales, de la pluie, de la circulation routière, etc.).



### Ressources vidéo

La vidéo suivante (en anglais) explique comment mesurer la hauteur totale avec le Haglöf Vertex IV + transpondeur. [Mesurer de la hauteur total avec le Vertex IV](#)

[\[https://www.youtube.com/watch?v=OrGh-4Giyq0&t=2s\]](https://www.youtube.com/watch?v=OrGh-4Giyq0&t=2s)

L'inconvénient d'un instrument laser est qu'une ligne de visée dégagée jusqu'à l'objet est nécessaire, ce qui est difficile à trouver dans les forêts tropicales très denses. Les prix (en 2021) varient de ~500 EUR (Nikon Forestry Pro) à ~1 800 EUR (Vertex IV) et ~2 000 EUR (TruPulse 360).



### Ressources vidéo

Avant de conclure cette section, voyons la vidéo suivante (en anglais) qui explique les bases de la mesure des hauteurs totales avec un télémètre laser et un clinomètre

[Mesurer la hauteur totale avec un télémètre laser et un clinomètre](#)

## Mesure d'autres variables au niveau de l'arbre

Outre le dhp et la hauteur totale de l'arbre, il y a beaucoup d'autres variables d'intérêt que l'on peut mesurer ou observer sur les arbres individuels. La plupart sont des variables catégorielles qui classifient les arbres en différentes catégories, ce qui permet ensuite la production des résultats désirés.

Quelles variables doivent être observées, et comment elles sont définies, dépend largement des parties prenantes et des groupes d'utilisateurs qui pourront utiliser les résultats d'un IFN. En tout cas, le protocole d'inventaire doit contenir une définition et une description complètes et réalisables de l'approche d'évaluation.

Les ONG et les institutions gouvernementales travaillant sur la conservation de la nature auront des

besoins en information différents de, par exemple, l'industrie du bois ou les entreprises qui travaillent dans l'écotourisme. Dans la section suivante, nous abordons des groupes de variables qui sont couramment évaluées dans le contexte des IFN.

### Espèces d'arbre

L'identification des espèces d'arbre fait partie des variables les plus importantes évaluée au niveau des arbres individuels; c'est une variable nominale qui est définie par des noms (*nomen* est un mot latin qui signifie nom). L'identification des espèces est pertinente pour l'évaluation de la diversité d'espèces, mais aussi pour le choix des modèles de biomasse. Le défi de l'identification des espèces varie selon type de forêt et le biome. Si elle ne présente pas de problème dans les zones à faible diversité d'espèces, elle est critique dans les forêts tropicales riches en espèces et dans certains écosystèmes forestiers secs, où l'on peut trouver au moins 1 000 espèces d'arbre dans une région d'inventaire et plus de 100 par hectare.

Il est quasiment impossible de trouver des botanistes chevronnés capables de déterminer le nom scientifique correct des espèces et prêts à intégrer l'équipe de terrain pendant des mois, et ce serait très coûteux, car ces experts sont rares et chers.

Les agents forestiers formés avec des trajectoires universitaires peuvent distinguer un relativement grand nombre d'espèces, mais souvent, particulièrement lorsque des personnes locales sont engagées pour accompagner les équipes de terrain, ce sont principalement les noms locaux des espèces commerciales qui sont bien connus.

En outre, les noms locaux peuvent ne pas être traduisibles en un seul nom scientifique, et à l'inverse: un seul nom local peut inclure plus d'un nom scientifique. Et il peut y avoir plusieurs noms locaux pour un nom scientifique singulier.

**Les défis sont encore plus importants si les agents forestiers régionaux ou locaux sont habitués à des noms locaux qui peuvent varier entre différentes régions d'un pays.**



### Astuces rapides!

Préparer un support taxonomique utile et complet (liste d'espèces) avec des traductions entre les noms locaux et les espèces botaniques représente un immense effort à long terme et doit commencer tôt pendant la phase de planification de l'inventaire.

Dès que possible, chaque équipe de terrain doit être composée d'agents forestiers de terrain adeptes de l'identification des espèces. En outre, des guides locaux avec une connaissance botanique doivent être recherchés et rémunérés pour assurer une identification des espèces exacte. À l'avenir, on aura certainement des applications pour l'identification des espèces d'arbre où des photos d'écorce, de feuilles, de fruits, etc. appuieront l'identification des espèces.

La FAO travaille sur un outil de vérification de qualité et de validation des listes d'espèces de support.

### **Le problème des espèces inconnues dans les évaluations de biodiversité**

Dans les forêts tropicales riches en espèces, mais aussi dans les forêts sèches avec une diversité élevée, une certaine proportion d'arbres ne peut pas être identifiée pendant le travail de terrain, même par des botanistes compétents. Si ces arbres sont classifiés comme inconnus sans autre information, cela posera des problèmes pendant l'estimation de la richesse en espèces en tant qu'indicateur de biodiversité.

Le problème ici est qu'il n'est pas certain que tous les arbres inconnus appartiennent à une même espèce singulière, ou s'il y a de multiples ou même très nombreuses espèces différentes. Généralement, on trouve peu d'espèces en abondance relativement grande, et beaucoup d'espèces en faible abondance. Les espèces inconnues sont généralement les moins courantes, et de manière prédominante les espèces non commerciales (du moins lorsque l'on fait appel à des assistants de terrain expérimentés dans les opérations forestières).

Par conséquent, même si l'identification au niveau de l'espèce n'est pas possible avec un effort raisonnable, il est important de trouver au moins combien d'espèces différentes ont été observées dans l'inventaire. Le sous-ensemble d'arbres inconnus peut alors être classifié comme «inconnu\_1, 2, 3...». Cela nécessite de prélever des échantillons ou des photos utiles qui permettent une claire distinction postérieure. C'est seulement là qu'il sera possible de calculer des indices de diversité en fonction de l'abondance des espèces ou d'appliquer des estimateurs de richesse en espèces en prédisant le nombre total d'espèces à partir du nombre d'espèces observées dans une région inventoriée.

### **Variables sur les aspects commerciaux**

Un IFN n'apporte pas de données utiles à la planification de la gestion forestière dans des petites aires, mais il peut fournir des données pertinentes pour les aspects commerciaux à plus grande échelle. Cette information est parfois nécessaire pour évaluer le potentiel de marché et l'utilisation durable des produits forestiers ou pour justifier des investissements accrus dans l'industrie de production du bois.

Les variables typiques liées aux caractéristiques commerciales qui peuvent être évaluées sur les arbres individuels sont:

- hauteur de tige commerciale;
- forme de tige;
- qualité du bois; et
- dommages.

La définition de ces variables dépendra des normes courantes du bois commercial dans un pays; elles ne peuvent pas être définies en général ou au niveau mondial. Puisque beaucoup de ces variables sont évaluées par une interprétation visuelle, il est très important de former les équipes de terrain à l'utilisation d'une norme commune. Les différentes catégories doivent avoir une définition et une description très claires. Des exemples et des images contribuent aux données de haute qualité et comparables de manière cohérente entre les équipes de terrain.

### **Exemples de définition d'autres variables catégorielles**

Afin de nous pencher sur la définition d'une variable catégorielle au niveau de l'arbre, prenons la qualité de tige comme exemple. Généralement, une évaluation de qualité n'est significative que pour les plus grands arbres, et la variable n'est pertinente que si un certain dhp minimum (par ex. > 30 cm) est dépassé, qui s'applique au bois commercial.

La forme de tige peut être décrite de multiples façons. Une tige peut être droite, courbe dans une direction, ou courbe dans de multiples directions. Ce serait les différentes expressions possibles de la variable «courbature de tige». En outre, une tige peut être tordue, ou présenter une bifurcation à une faible hauteur, ou une bifurcation à une hauteur élevée. Ce sont les expressions de la variable «forme de tige».

Les «dommages de tige» ont aussi un impact sur la qualité du bois et peuvent aller de dommage de coupe, de débardage, champignons, couronne cassée, à bien d'autres classes. Enfin, il est possible de catégoriser les sections de tige en différentes classes ou gammes de qualité spécifiques au pays. Selon ces classifications, il est ensuite possible de dériver des estimations du volume moyen du bois, par exemple, pour ces différentes classes.

Les définitions des variables qui font seulement une distinction entre différents niveaux, comme faible,

moyen et élevé (par ex. appliquée à la dégradation ou la complexité d'une structure forestière) sont difficiles et les équipes de terrain ont tendance à tout interpréter comme «moyen». Il est donc préférable d'éviter d'utiliser ces types de catégories.

### Résumé

**Avant de conclure, voici les principaux points d'apprentissage de cette leçon:**

- Une fois la position de la parcelle située sur le terrain, le plan parcellaire détermine quels arbres sont inclus dans l'échantillon et doivent être mesurés.
- Il n'y a que deux types de mesures directes dans un inventaire forestier: les longueurs et les angles.
- Le dhp est une variable centrale de l'inventaire forestier et de l'analyse car dans la plupart des cas, il est facilement et directement mesuré. La surface terrière est directement dérivée du dhp, qui est étroitement liée au volume, à la biomasse et au carbone. En outre, la distribution des diamètres dans une forêt donne un aperçu clair de la structure forestière et des étapes de développement.
- La position normalisée pour les mesures du diamètre des arbres sur pied est à hauteur de poitrine, définie comme une hauteur de 1,3 m dans la plupart des pays.
- Que l'on utilise des dispositifs historiques ou modernes, la base de la mesure de la hauteur totale est toujours la trigonométrie.
- Outre le dhp et la hauteur totale de l'arbre, il y a beaucoup d'autres variables d'intérêt que l'on peut mesurer ou observer sur les arbres individuels, comme les espèces d'arbre, la hauteur de tige, les dommages de tige, la forme de tige etc.