



© T. Gheysen

LES INVENTAIRES FORESTIERS EN FUTAIE FEUILLUE : QUELLES MÉTHODES POUR QUELS OBJECTIFS ?

PHILIPPE LEJEUNE – THIBAUT GHEYSEN – JACQUES RONDEUX

L'inventaire forestier par échantillonnage est une méthode qui a fait ses preuves. Cependant, les nouveaux outils de mesures, d'encodage et de traitement apparus récemment ouvrent de nouvelles perspectives avec, entre autres, le développement de solutions prêtes à l'emploi. L'une d'elles est exposée ici avec ses qualités et limites.

L'utilisation d'inventaires pour la caractérisation de peuplements feuillus est une pratique à laquelle recourent les forestiers depuis la mise en place des premiers aménagements. Initialement orientés vers la seule caractérisation du matériel ligneux sur pied, ces inventaires doivent aujourd'hui répondre à des questions de plus en plus diversifiées liées à la gestion forestière actuelle qui se veut multifonctionnelle. Cette évolution, combinée avec

la rationalisation des moyens dont disposent les services forestiers, a conduit à repenser la mise en œuvre des inventaires de gestion.

Le présent article tente de faire la synthèse des travaux menés dans ce domaine depuis le début des années 2000 par la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Il se focalise sur la problématique des peuplements feuillus

de type irrégulier et aborde successivement les principes de base de la méthode, les modalités de sa mise en œuvre, les principaux types de résultats ainsi que les limites actuelles de la méthode.

PRINCIPES DE BASE

La méthode qui est proposée relève d'une manière générale des inventaires forestiers par échantillonnage. L'idée qui prévaut est de concentrer l'effort d'observation et de mesure sur une portion très réduite de la forêt (quelques pour cent). Les arbres mesurés sont sélectionnés au sein de petites surfaces circulaires (placettes d'échantillonnage) de quelques ares (maximum 10 ares) réparties de manière uniforme sur l'ensemble de la forêt à inventorier.

Le nombre de placettes d'échantillonnage conditionne en grande partie la précision

des résultats fournis par ce type d'inventaire. Cette précision est traduite par l'erreur d'échantillonnage qui peut être calculée pour la plupart des résultats délivrés par l'inventaire et qui traduit le niveau de confiance qui peut leur être accordé.

La méthode d'inventaire qui est proposée s'applique généralement à l'ensemble des peuplements feuillus d'une propriété, mais rien n'empêche de ne s'intéresser qu'à une partie de massif (une coupe, une série), voire aussi à un regroupement des peuplements de plusieurs propriétés de petite taille.

Les placettes d'échantillonnage sont réparties sur le terrain selon une grille systématique à maille rectangulaire (figure 1). En fonction de la surface à couvrir et des spécificités de l'inventaire (objectifs et contraintes), la densité de cette maille peut varier de une placette par hectare

Figure 1 – Exemple d'une grille de 100 mètres x 100 mètres conduisant à l'installation d'une placette par hectare (source du fond cartographique : Région wallonne).



à une placette par 8 à 10 hectares. D'une manière générale, on recommande d'installer au moins trente à cinquante placettes pour disposer de résultats pertinents en termes de précision. Les observations et mesures qui sont récoltées concernent non seulement la dimension des arbres sur pied, mais également leur caractérisation sur le plan de la qualité, de la présence des dégâts et de l'état sanitaire. En fonction des souhaits et des objectifs du gestionnaire, d'autres données peuvent également être récoltées. Elles concernent par exemple la régénération, la végétation herbacée ou encore le bois mort (figure 2). Il est important de préciser que la méthode est complètement modulaire et que les différentes catégories de données qui viennent d'être citées ne sont collectées que si elles répondent aux attentes du gestionnaire.

Les protocoles relatifs aux modalités d'installation des placettes et de récolte de données doivent être scrupuleusement

suivis. Ils sont décrits dans une note technique synthétique (www.fsagx.ac.be/gf) et un guide méthodologique complet est en préparation.

Les placettes d'échantillonnage sont installées de manière permanente. Pour ce faire, leurs centres sont matérialisés à l'aide d'arbres témoins marqués à la peinture.

MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

Le caractère modulaire de la méthode a déjà été évoqué en ce qui concerne la récolte des données sur le terrain. D'une manière plus générale, on peut différencier deux stratégies de mise en œuvre du plan d'échantillonnage de l'inventaire au sein des peuplements feuillus d'une propriété forestière. Ces deux approches respectent les mêmes fondements, mais diffèrent quelque peu par l'organisation temporelle des opérations de collecte des



données. Elles peuvent être qualifiées respectivement d'inventaire de type « aménagement » et d'inventaire « d'appui à la gestion ». La première approche vise à inventorier l'ensemble de la zone d'étude en une seule campagne de mesures (de quelques jours à quelques semaines). Un tel inventaire donne une image instantanée de l'ensemble des peuplements. Celle-ci peut être valorisée, par exemple, lors des révisions successives d'un plan d'aménagement. Lorsque le nombre d'unités d'échantillonnage le permet, des résultats partiels peuvent être produits à l'échelle de parties de la forêt : triage, série... La périodicité d'un tel inventaire peut être fixée par exemple à la moitié de la durée du plan d'aménagement, donnant ainsi la possibilité de vérifier l'évolution des peuplements en cours d'aménagement.

La seconde approche décompose la surface forestière en plusieurs parties ou blocs, et organise les campagnes de mesures de manière à parcourir un bloc par an. La périodicité de l'inventaire correspond alors au nombre de blocs. Typiquement, le découpage en blocs peut s'appuyer sur la division de la propriété en coupes ou en groupes de coupes. Les données récoltées dans le cadre de l'inventaire peuvent notamment être utilisées pour la préparation des martelages.

D'un point de vue pratique, la vitesse d'exécution des opérations de terrain varie beaucoup en fonction de la dimension de la grille d'échantillonnage (les temps de déplacement augmentent avec la distance entre placettes), la topographie, la densité des peuplements ainsi que le nombre de données à collecter. Par exemple, le fait de remplacer une estimation

visuelle des hauteurs de recoupe (estimation du volume « bois d'œuvre ») par une mesure précise à l'aide d'un dendromètre peut augmenter le temps de travail total de 20 à 25 % !

D'une manière générale, on peut considérer qu'une équipe de deux personnes bien entraînées et disposant d'un matériel performant (récepteur GPS et dendromètre de type Vertex) peut installer et récolter les données de dix à vingt-cinq placettes par jour.

Des outils spécifiques ont été développés pour assister la phase d'encodage et de traitement des données. Ces outils sont rassemblés au sein d'une application informatique fonctionnant dans l'environnement *Excel* et qui permet à un opérateur sans connaissance particulière en informatique ou en statistique de gérer à la fois l'encodage et le traitement des données. L'encodage s'effectue par l'intermédiaire d'un écran représentant la fiche de terrain et de quelques boutons de commande (« enregistrer », « effacer », « afficher »...). Le traitement des données est piloté au travers de menus déroulants et de quelques options que l'utilisateur doit définir préalablement à la réalisation des calculs par l'ordinateur (choix d'un barème de cubage, définition des groupes d'essences, mode de présentation des graphiques...).

EXEMPLES DE RÉSULTATS

L'objet de ce paragraphe est d'illustrer la diversité des résultats qu'il est possible de produire au départ de la méthode d'inventaire présentée dans cet article. Le

Paramètres dendrométriques généraux : surface terrière, nombre de tiges, volume par hectare
Composition : proportion des différentes essences présentes dans la futaie
Distribution des arbres par classes de grosseur et par essence
Distribution des surfaces par classes de densité de peuplement (exprimée en surface terrière)
Distribution des surfaces par types de peuplements (application d'une typologie décrivant la composition et la structure du peuplement)
Proportion d'arbres avec présence de dégâts, de défauts ou de problèmes sanitaires
Estimation des accroissements (volume, surface terrière, circonférence), de la production et du passage à la futaie (voir premier encadré)
Estimation de la répartition du volume sur pied en fonction de catégories de valorisation (bois d'œuvre, bois de chauffage...)
Importance du recouvrement par la régénération naturelle (ventilé par essences, par stades de développement et par qualité).
Histogramme de structure/composition avec comparaison éventuelle à une courbe de référence (voir second encadré)

Tableau 1 – Liste des principaux types de résultats produits par la méthode d'inventaire.

tableau 1 synthétise les principales informations produites dès lors que l'ensemble des données prévues dans le protocole de terrain sont récoltées. Les différents résultats produits peuvent se présenter sous trois formes principales :

- des estimations de paramètres globaux ou moyens (surface terrière moyenne, par exemple) ;
- des tableaux de fréquence (distribution des arbres par classes de grosseur ou encore distribution des surfaces recouvertes par les différents stades de régénération, par exemple) ;
- des graphiques (histogramme de distribution des tiges par classes de grosseur et par essences, par exemple).

Lorsque les résultats le permettent, ils sont complétés d'une estimation de l'erreur d'échantillonnage associée. Une illustration plus complète des résultats produits par ce type d'inventaire est proposée sur le site internet de la FUSAGx (www.fsagx.ac.be/ge/ifg).

LIMITES DE LA MÉTHODE

Les principales limites de cette méthode d'inventaire sont liées au principe d'échantillonnage sur lequel elle repose. Elles sont essentiellement de deux ordres.

Inventaire de surfaces restreintes

La première limite concerne la réalisation d'inventaires sur de faibles étendues. En dessous d'une certaine surface, il n'est en effet plus pertinent de recourir à l'échantillonnage pour estimer les différentes caractéristiques d'un peuplement. Cette surface « seuil » est relativement difficile à fixer a priori, car elle dépend de nombreux facteurs (hétérogénéité du peuplement, objectifs du gestionnaire, moyens disponibles...). On peut globalement considérer qu'en dessous de 20 à 50 hectares, il n'est plus recommandé de faire appel à un inventaire par échantillonnage.

Accroissement et production par hectare

Le premier tableau présente les estimations d'accroissement, de production et de passage à la futaie au niveau « peuplement ». Ces résultats sont exprimés en termes de nombre de tiges par hectare (NHA), de surface terrière par hectare (GHA, m^2/ha)

et de volume par hectare (VHA, m^3/ha). Le passage à la futaie comptabilise les arbres qui franchissent le seuil d'inventaire (circonférence à 1,5 mètre = 40 cm) entre les deux inventaires. La production cumule l'accroissement et le passage à la futaie.

	Accroissement		Production		Passage à la futaie	
	Moyenne	e%	Moyenne	e%	Moyenne	e%
NHA			6,0	59	5,4	65
GHA	0,4	17	0,7	40	0,3	89
VHA	4,2	17	7,6	42	3,4	97

Accroissement en circonférence

Le second tableau reprend les accroissements moyens en circonférence. Afin de ne pas alourdir la présentation, seules les cinq essences les plus fréquentes sont reprises. Ces valeurs traduisent les accroissements individuels moyens entre les deux inventaires. Elles constituent des indicateurs intéressants, à la fois en regard des potentialités stationnelles et de la sylviculture pratiquée. On constate que les erreurs

d'échantillonnage augmentent avec la rareté de l'essence. L'accroissement individuel des chênes indigènes est estimé avec une marge d'erreur de 11 % ($1,11 \text{ cm/an} \pm 0,12 \text{ cm/an}$), ce qui en fait une estimation relativement précise. Par contre, dans le cas du frêne, l'erreur d'échantillonnage est beaucoup plus importante (48 %) et rend l'estimation moins fiable et donc moins intéressante ($1,03 \text{ cm/an} \pm 0,49 \text{ cm/an}$).

Essence	Accroissement en circonférence (cm/an)	Nombre d'arbres mesurés	e%
Chênes indigènes	1,11	704	11
Charme	1,06	171	10
Pin sylvestre	0,89	34	24
Épicéa	1,22	24	24
Érable sycomore	1,64	13	36
Frêne	1,03	13	48

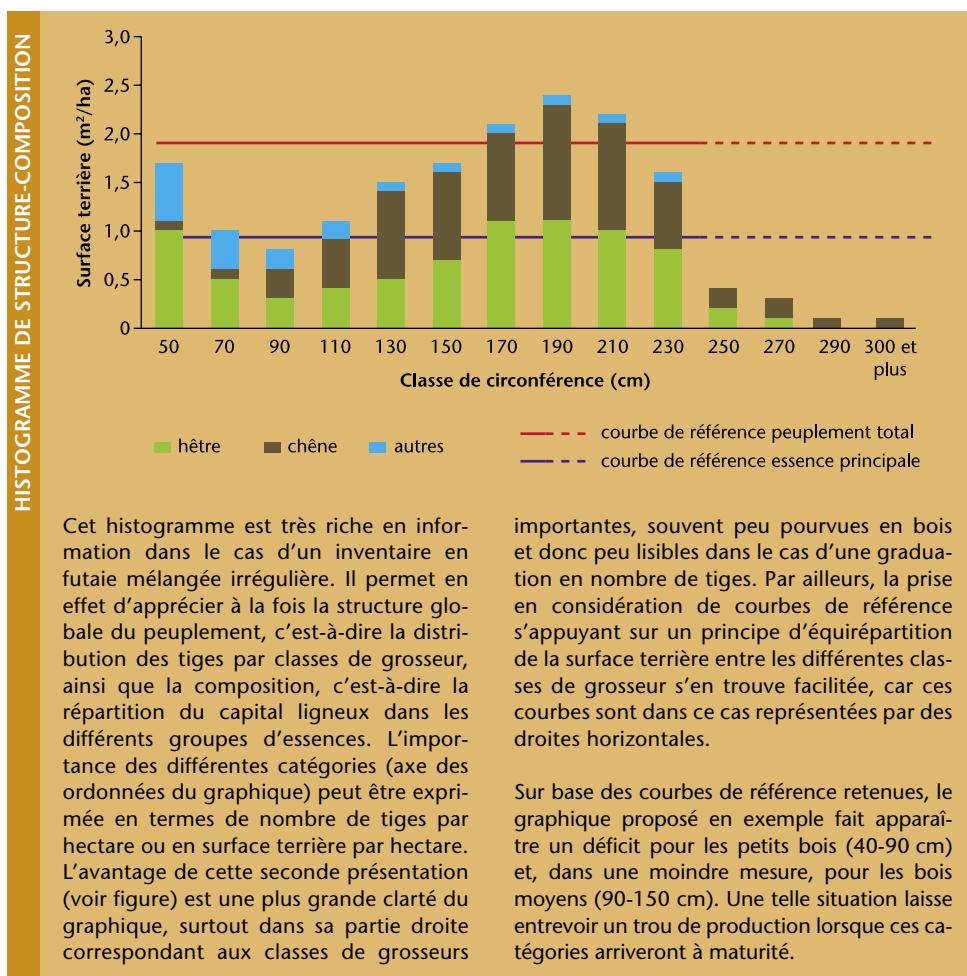
Il s'agit d'un exemple typique d'objet rare tel qu'évoqué dans le paragraphe relatif aux limites de la méthode. En effet, le frêne ne représente que 1 % des arbres inventoriés dans le massif. D'une manière générale, si le gestionnaire accorde à cette essence un intérêt proportionnel à sa représentativité dans le peuplement, l'estimation qui est fournie peut être considérée comme suffisante. Par contre, si pour

une raison donnée, le gestionnaire souhaite disposer d'informations précises (nombre de tiges, distribution par classes de grosseur, état sanitaire, accroissement...) sur cette essence marginale à l'échelle de sa propriété, il se doit de mettre en place une démarche appropriée. La technique du recensement complet par objet (voir paragraphe *Recensement complet*) peut constituer dans ce cas une alternative qui réponde à ce souhait.

Inventaire d'objets ou de phénomènes rares

La seconde restriction concerne la recherche d'informations relatives à des objets ou phénomènes rares. Par objet ou phénomène rare il faut comprendre des éléments ou des caractéristiques peu fréquents dans la forêt étudiée, mais présentant néanmoins un intérêt pour le gestionnaire. Pour illustrer la caractérisation d'objets rares, on peut citer la quantification (nombre, surface terrière, volume...) et la description (qualité, accroissement...)

d'arbres relevant d'une essence secondaire (les érables en hêtraie par exemple). L'estimation de la quantité de bois mort ou encore la proportion d'arbres touchés par des dégâts de gibier ou une attaque d'insectes constituent des exemples de caractérisation de phénomènes rares. Plus encore que dans le cas des surfaces restreintes, il est difficile de préciser a priori les limites en deça desquelles les caractéristiques étudiées entrent dans cette catégorie. L'erreur d'échantillonnage associée à l'estimation des différentes variables reste le principal



Cet histogramme est très riche en information dans le cas d'un inventaire en futaie mélangée irrégulière. Il permet en effet d'apprécier à la fois la structure globale du peuplement, c'est-à-dire la distribution des tiges par classes de grosseur, ainsi que la composition, c'est-à-dire la répartition du capital ligneux dans les différents groupes d'essences. L'importance des différentes catégories (axe des ordonnées du graphique) peut être exprimée en termes de nombre de tiges par hectare ou en surface terrière par hectare. L'avantage de cette seconde présentation (voir figure) est une plus grande clarté du graphique, surtout dans sa partie droite correspondant aux classes de grosses

importantes, souvent peu pourvues en bois et donc peu lisibles dans le cas d'une graduation en nombre de tiges. Par ailleurs, la prise en considération de courbes de référence s'appuyant sur un principe d'équirépartition de la surface terrière entre les différentes classes de grosseur s'en trouve facilitée, car ces courbes sont dans ce cas représentées par des droites horizontales.

Sur base des courbes de référence retenues, le graphique proposé en exemple fait apparaître un déficit pour les petits bois (40-90 cm) et, dans une moindre mesure, pour les bois moyens (90-150 cm). Une telle situation laisse entrevoir un trou de production lorsque ces catégories arriveront à maturité.

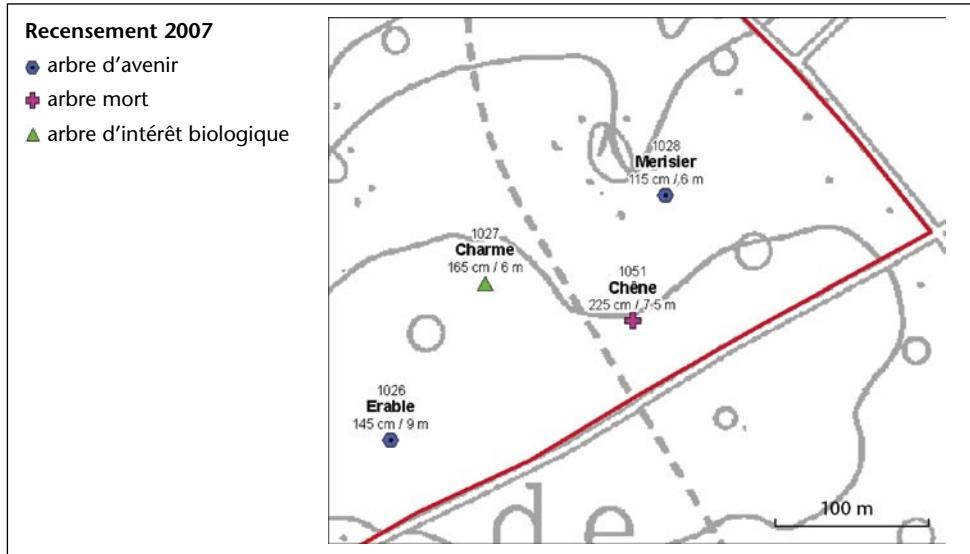


Figure 3 – Extrait d'une carte de localisation d'arbres d'avenir ou d'intérêt biologique résultant d'un recensement par objet (source du fond cartographique : Région wallonne).

indicateur renseignant sur la capacité de l'inventaire à délivrer une information pertinente et suffisamment précise.

Pour tenter d'atténuer ces problèmes, il est possible d'adapter le plan d'échantillonnage en augmentant le nombre de placettes ou la surface de ces dernières. Une telle mesure entraîne cependant une augmentation du coût de l'opération. Il est également envisageable de recourir à des techniques d'échantillonnage plus efficientes que l'échantillonnage systématique simple qui est préconisé dans la méthode proposée (stratification, échantillonnage en grappes, utilisation d'informations complémentaires...). Ces techniques sont cependant plus complexes à mettre en œuvre et leur efficacité s'avère souvent limitée dès lors que l'on s'intéresse à plusieurs aspects de la description du peuplement (matériel sur pied, régénération, biodiversité...).

Recensement complet

Lorsque le contexte et/ou les objectifs sont tels que les techniques d'inventaire par échantillonnage s'avèrent inadaptées, il convient de se tourner vers un recensement complet d'objets, qu'il s'agisse d'arbres ou de tout autre élément intéressant le gestionnaire. L'évolution des technologies permet d'envisager ce type de collecte de données d'une manière beaucoup plus efficiente que par le passé (inventaire en plein). Ainsi l'utilisation conjointe d'un encodeur de terrain et d'un récepteur GPS rend possible non seulement une identification et une description individuelle des arbres, mais également un positionnement relativement précis de ces derniers. Les données étant directement encodées sur un support informatique, elles sont aisément exploitables, notamment dans un logiciel de cartographie, pour fournir différents documents utilisables par le gestionnaire (figure 3).

CONCLUSIONS

Les inventaires par échantillonnage constituent une source d'informations de premier plan dans le contexte d'une gestion forestière qui connaît actuellement une diversification des objectifs et une rationalisation des moyens disponibles. La méthode d'inventaire qui est présentée dans cet article offre une solution pragmatique pour rassembler de manière standardisée un panel d'informations relativement complet dans le contexte de la gestion d'un massif forestier feuillus de quelques dizaines à quelques milliers d'hectares. L'outil qui est proposé se veut modulaire : la caractérisation basique et rapide du matériel sur pied (densité, composition, structure) peut être complétée d'une quantification et d'une caractérisation d'autres éléments susceptibles d'intéresser le gestionnaire : régénération, bois mort, typage phytosociologique, état sanitaire... Différentes modalités de mise en œuvre sont proposées, pour s'adapter aux objectifs poursuivis et aux contraintes rencontrées par le forestier. Les spécificités inhérentes aux techniques d'échantillonnage sont telles qu'il est déconseillé de recourir à ce type d'inventaire en deçà d'une surface de 20 à 50 hectares ou pour caractériser des objets ou des phénomènes rares. Dans ces conditions, le recours à une technique de recensement complet par objet s'appuyant sur des technologies modernes d'acquisition de données et de positionnement peut s'avérer une alternative intéressante.

Il est important de garder à l'esprit que les informations délivrées par la méthode proposée se rapportent à des échelles de description relativement globales :

propriété, série, groupe de coupes, voire coupe. La prise en compte de telles informations dans le cadre des opérations de martelage, réalisées à une échelle plus fine, doit se faire avec discernement. Les expériences actuellement en cours devraient nous apporter un certain éclairement sur la meilleure manière d'exploiter ces informations à des fins sylvicoles. Les premiers dispositifs pilotes installés de 2002 à 2004 font actuellement l'objet de remesurages. Les renseignements qu'ils vont délivrer sur l'évolution des peuplements et sur leur croissance seront également intéressants à analyser. Ils devraient faire l'objet d'un prochain article. ■

Les travaux présentés dans cet article ont été réalisés dans le contexte de l'« Accord cadre de recherche et vulgarisation forestières » financé par la Région wallonne (DGRNE).

PHILIPPE LEJEUNE

lejeune.p@fsagx.ac.be

THIBAUT GHEYSEN

gheysen.t@fsagx.ac.be

JACQUES RONDEUX

rondeux.j@fsagx.ac.be

Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels,
Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux