

Les inventaires par échantillonnage en futaie feuillue : une alternative aux inventaires complets

P. Lejeune¹, V. Verrue¹

¹ Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux
Unité de Gestion et Economie forestières (Prof. J. Rondeux)
Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux
lejeune.p@fsagx.ac.be



Introduction

L'inventaire du matériel sur pied constitue un outil indispensable pour une gestion raisonnée des peuplements forestiers présentant une structure irrégulière et se régénérant par voie naturelle. Pareil inventaire constitue en effet le seul moyen d'apprécier la dynamique de rajeunissement, ainsi que l'évolution de la structure et de la composition du peuplement. Il doit ainsi permettre au gestionnaire d'orienter les opérations de martelage en fixant une norme (importance du matériel à prélever dans les différentes catégories de grosseur pour les différentes essences).

Les peuplements feuillus où le hêtre constitue l'essence dominante occupent près de 42.300 ha en Région wallonne [LECOMTE *et al.*, 2002] et constituent un exemple typique de formation forestière dont la gestion nécessite la réalisation d'inventaires.

L'intérêt de pouvoir maîtriser le matériel des hêtraies est sans doute renforcé par les problèmes sanitaires que ces dernières connaissent depuis 1999 [HUART et RONDEUX, 2001]. Les perturbations subies sont telles que le gestionnaire devra très prochainement disposer d'informations fiables et actualisées relatives au matériel restant sur pied, pour asseoir une stratégie de restauration efficace de ces peuplements.

La démarche classiquement mise en œuvre (notamment par les services extérieurs de la DNF) pour réaliser les inventaires en futaies feuillues irrégulières consiste à parcourir les peuplements dans leur intégralité et à dénombrer l'ensemble des arbres dont la circonférence à 1,5 m dépasse une valeur généralement fixée à 40 cm (« seuil d'inventaire »). On parle d'inventaire complet ou encore d'inventaire en plein.

Si cette technique présente l'avantage de procurer un recensement exhaustif des arbres constitutifs du peuplement, elle présente cependant divers inconvénients. Parmi ceux-ci, on peut citer l'importance des moyens humains nécessaires à la récolte des données. Ce point est particulièrement crucial dans les situations où de nombreux groupes de régénération atteignent le seuil d'inventaire, augmentant ainsi de manière spectaculaire le nombre d'arbres à mesurer. A titre d'indication, l'inventaire complet réalisé sur la forêt de Haut-Fays (Cantonement de Wellin) en 1991 a nécessité la mesure d'environ 50.000 arbres. La répétition d'un tel inventaire en 2002 conduirait à la mesure de plus de 56.000 arbres !

Le caractère exhaustif de l'inventaire complet n'est cependant pas synonyme d'absence d'erreur, celle-ci étant tout simplement inconnue. Certains auteurs considèrent que les erreurs commises lors d'inventaires complets varient dans une fourchette

allant de -15 % à +10 % (sur l'estimation de la surface terrière), correspondant en moyenne à une légère sous-estimation de la valeur réelle [DUPLAT et PERROTTE, 1981].

Un autre inconvénient des inventaires complets, lorsqu'ils font l'objet de répétitions dans le temps, est lié à la méthode d'estimation des accroissements qui leur est associée. Celle-ci se base en effet sur des comparaisons d'effectifs des différentes catégories de grosseur, considérant des accroissements théoriques correspondant aux largeurs de classes franchies ou non par les différents arbres (stationnaires, promus, doubles promus, ...). Les accroissements ainsi calculés n'ont de réelle valeur que lorsqu'ils portent sur des effectifs importants. Ces estimations sont en outre très sensibles aux erreurs de comptage, notamment dans les prélèvements non programmés (chablis, coupes sanitaires).

Un dernier inconvénient à mettre au passif des inventaires complets réside dans l'absence d'information concernant les arbres n'ayant pas atteint le seuil d'inventaire. Cette absence est d'autant plus préjudiciable que la continuité de la régénération naturelle constitue un des fondements de la gestion des futaies irrégulières d'allure jardinée et que cette continuité est loin d'être assurée dans bon nombre de futaies feuillues en Région wallonne.

Face à ce constat, il paraissait opportun d'étudier la faisabilité de mise en œuvre et d'exploitation d'une méthode d'inventaire qui atténue les inconvénients de l'inventaire complet, tout en produisant un éventail d'informations de qualité suffisante pour les besoins du gestionnaire.

L'objet de cette note technique est d'énoncer les principes de base d'une méthode d'inventaire par échantillonnage adaptée à la description des futaies d'allure irrégulière et d'illustrer ces principes par un exemple d'application concret.

Présentation de la méthode

Notions d'échantillon et d'erreur d'échantillonnage

L'idée qui prévaut dans un inventaire par échantillonnage est de concentrer l'effort de mesure et d'observation sur un ensemble très réduit d'arbres qui constitue l'échantillon. Les arbres mesurés sont le plus souvent sélectionnés en délimitant de petites surfaces (les unités d'échantillonnage encore appelées

« placettes » dans le jargon forestier) à des endroits choisis de manière adéquate dans la forêt. La réduction du nombre d'arbres mesurés est compensée par la rigueur du protocole d'inventaire et le plus grand soin apporté aux mesures réalisées (par exemple, les circonférences sont mesurées et notées au centimètre près).

Malgré tout le soin apporté à la récolte des données, le caractère fragmentaire de l'inventaire par échantillonnage induit inévitablement que les résultats obtenus sont entachés d'une erreur aléatoire, qualifiée d'*erreur d'échantillonnage*. L'interprétation de cette erreur repose sur une base statistique et est de ce fait calculée en considérant un niveau de confiance, généralement fixé à 95 % [RONDEUX, 1999]. A titre d'exemple, si l'estimation d'une surface terrière fournie par un inventaire est de 20 m²/ha et que l'erreur d'échantillonnage est de 2 m²/ha (soit 10 %), cette dernière doit s'interpréter de la manière suivante : il y a 95 chances sur 100 pour que la valeur réelle de la surface terrière recherchée soit comprise entre 18 m²/ha (20 - 2) et 22 m²/ha (20 + 2). Ces deux limites déterminent ce que l'on appelle un intervalle de confiance. On considère généralement comme acceptable, pour un inventaire de gestion, une erreur d'échantillonnage de l'ordre de 10 %. Pour une même forêt à inventorier, l'erreur d'échantillonnage sera d'autant plus faible que le nombre d'unités d'échantillonnage est élevé et, dans une moindre mesure, que celles-ci sont de taille importante. Bien évidemment, l'hétérogénéité des peuplements inventoriés influence également l'erreur d'échantillonnage, des peuplements homogènes donnant lieu à des erreurs moins élevées.

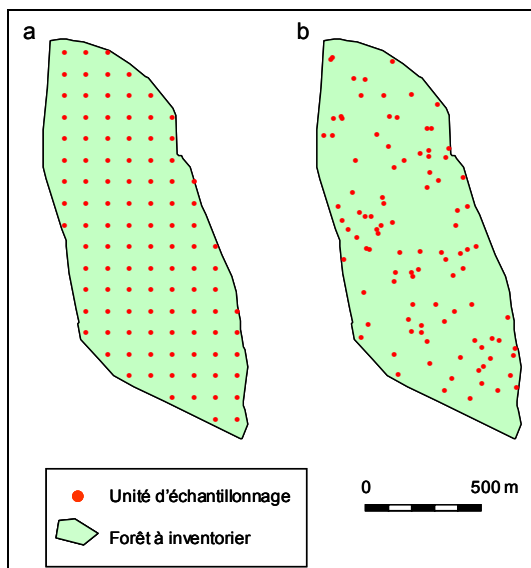
Pratiquement, on peut considérer qu'une centaine d'unités d'échantillonnage est nécessaire pour que l'erreur soit inférieure à 10 %. Considérant le temps d'installation d'une unité, la mise en œuvre de l'inventaire par échantillonnage ne devient concurrentielle qu'à partir d'une surface minimale de 50 ha.

Protocole d'échantillonnage

Le protocole d'échantillonnage reprend l'ensemble des considérations techniques liées à l'implantation des unités d'échantillonnage et à la collecte des données. Il constitue la pierre angulaire garantissant la cohérence de l'inventaire et la pertinence des informations que celui-ci fournira par la suite.

Implantation et délimitation des unités d'échantillonnage

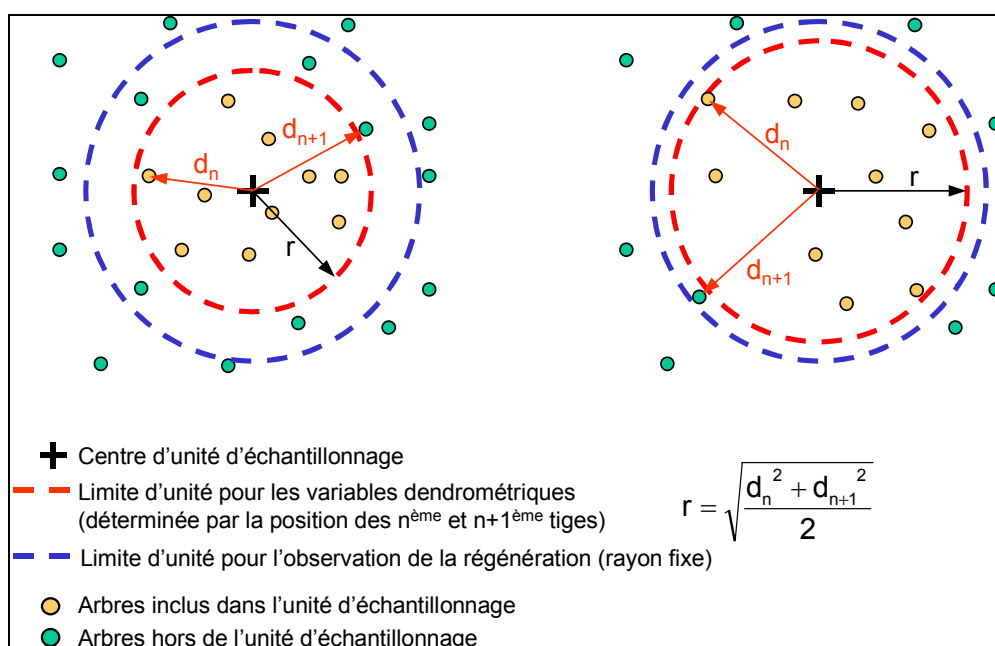
En ce qui concerne l'implantation des unités d'échantillonnage, la méthode qui a été appliquée dans cette étude est celle de l'échantillonnage systématique : les placettes sont réparties, de manière régulière, aux sommets d'une grille à maille rectangulaire ou carrée (a), dont les dimensions sont fixées en fonction du nombre de placettes souhaité et de la surface de la forêt à inventorier. Cette approche est souvent préférée à l'échantillonnage aléatoire (b) dans la mesure où elle permet une organisation des opérations de terrain plus efficace et, le cas échéant, une cartographie des résultats.



Modalités d'implantation des unités d'échantillonnage au sein de la forêt à inventorier : (a) systématique en utilisant une grille de 100 m sur 100 m et (b) aléatoire.

Une fois implantés sur le terrain, les sommets de la maille constituent les centres des placettes. Plusieurs méthodes existent pour désigner les arbres faisant partie d'une placette. La méthode retenue dans cette étude consiste à prendre en compte les n bois les plus proches du centre de la placette, ce qui implique l'installation d'une placette de forme circulaire, dont le rayon correspond à la moyenne quadratique des distances entre le centre et les $n^{\text{ème}}$ et $n+1^{\text{ème}}$ arbres les plus proches de ce dernier [LAURENT et RONDEUX, 1985]. Cette méthode est particulièrement intéressante dans les peuplements d'allure irrégulière qui présentent des variations importantes du nombre de tiges par unité de surface. Elle assure ainsi un effort de mesure constant (en termes de nombre de tiges mesurées), par opposition à la méthode qui consiste à installer des placettes à surface fixe.

Indépendamment de la désignation des arbres faisant partie de l'échantillon et des mesures qui les concernent (voir plus loin), il convient de préciser les modalités de récolte des données relatives à la régénération naturelle. La répartition et la densité parfois importante de cette dernière rendent très difficile l'individualisation des semis et autres fourrés ou gaulis. L'approche qui est retenue pour décrire la régénération est d'évaluer son importance en termes de recouvrement. Celui-ci est estimé au sein d'une surface circulaire, centrée sur le sommet de la maille. Ce cercle de rayon constant se superpose au cercle de rayon variable qui contient les n bois de la futaie évoqués précédemment.



Superposition de l'unité à rayon variable utilisée pour la mesure des arbres (variables dendrométriques) et de l'unité à rayon fixe utilisée pour la description de la régénération naturelle.

Mesures réalisées

Il n'existe pas de règle absolue pour définir les mesures qui sont effectivement réalisées au sein des unités d'échantillonnage. L'exemple d'application qui est présenté par la suite reprend une série de variables mesurées ou observées sur les arbres, ainsi que l'estimation de quelques paramètres relatifs à la régénération naturelle.

Il convient cependant de souligner la nécessité de réaliser ces mesures avec soin, en utilisant un matériel fiable et régulièrement contrôlé. De même, les observations (évaluations, identifications) seront réalisées en respectant scrupuleusement les principes énoncés dans le protocole d'inventaire.

Encodage et traitement des données

Chaque placette fait l'objet d'une fiche de terrain spécifique rassemblant l'ensemble des données collectées sur le terrain. Certaines informations sont notées selon des listes de codes reprises sur une fiche de référence. Un exemple de fiche de terrain, ainsi que la liste des codes utilisés sont présentés en annexe.

Une fois les mesures terminées, ces données sont encodées sur ordinateur pour être traitées. Deux solutions peuvent être adoptées pour le dépouillement des données d'inventaire :

- l'utilisation d'un logiciel de type « tableur » dans lequel est rangé de manière structurée l'ensemble des données, avant de leur appliquer un certain nombre de traitements de base ;
- la mise en œuvre d'un logiciel spécialement dédié à la gestion et au traitement de données d'inventaire, organisant celles-ci au sein d'une base de données généralement de type relationnel.

Si la première solution offre l'avantage de la simplicité au niveau des moyens à mettre en œuvre, elle est beaucoup plus contraignante quant aux possibilités d'exploitation des données, l'utilisateur devant écrire lui-même les différentes requêtes permettant de traduire les données brutes en résultats synthétiques.

C'est la seconde solution qui a été choisie dans cette étude. Les informations récoltées sont structurées dans une base de données MSAccess© sur laquelle sont exécutés des modules de traitement écrits en langage « SQL », dont la puissance permet d'opérer des traitements complexes de manière relativement simple et rapide.

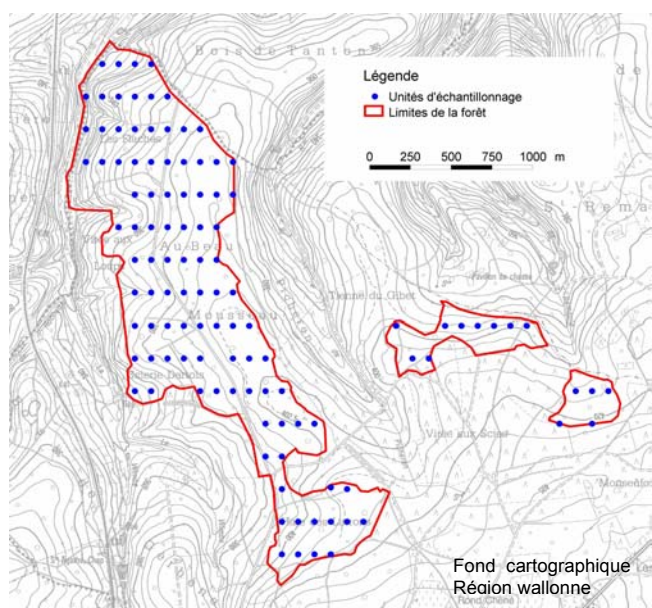
```
query = "SELECT Count(ue.ID) AS nb_ue, avg(nha) as nhamoy, avg(gha) as ghamoy,
avg(vha) as vhamoy FROM ue;"
Set dyna1 = db.OpenRecordset(query)
If (IsNull(dyna1("nb_ue")) = False) Then
query = "select tstudent from student where n = " & dyna1("nu_ue") & ";"
Set dyna2 = db.OpenRecordset(query)
errgha = Sqr(dyna1("vargha") / n) * dyna2("tstudent") / dyna1("ghamoy") * 100
errnha = Sqr(dyna1("varnha") / n) * dyna2("tstudent") / dyna1("nhamoy") * 100
errvha = Sqr(dyna1("varvha") / n) * dyna2("tstudent") / dyna1("vhamoy") * 100
```

Utilisation du langage « SQL » : extrait d'un programme de traitement des données permettant de calculer les valeurs moyennes et les erreurs d'échantillonnage relatives au nombre de tiges, à la surface terrière et au volume, pour un inventaire donné.

Exemple d'application

Réalisation de l'inventaire

La méthode qui vient d'être décrite a été appliquée à la hêtraie de Haut-Fays appartenant à la commune de Daverdisse (cantonnement de Wellin). Il s'agit d'une futaie de structure irrégulière dont la strate ligneuse est dominée par le hêtre et le chêne sessile. Une description complète de cette forêt est donnée par GILISSEN [2001]. La zone soumise à l'inventaire couvre une superficie de 236,73 ha. Une grille à maille rectangulaire de 100 m x 200 m a été tracée et superposée au parcellaire de la forêt, de sorte que 117 points de sondage ont ainsi été identifiés.



Carte de la forêt de Haut-Fays sur laquelle sont reportés les sommets de la grille d'échantillonnage (100 m x 200 m).

Les équipes de terrain sont constituées de 2 ou 3 personnes selon les cas. Le travail de terrain se décompose en deux étapes :

- le cheminement et la localisation des placettes ;
- la collecte des données.

Cheminement et localisation des placettes

Cette opération est réalisée à l'aide d'un GPS de type « Garmin 76 » équipé d'une antenne externe de type « GA29 ». Les coordonnées des sommets de la maille générés par un logiciel de système d'information géographique ont été préalablement chargées dans la mémoire du récepteur GPS [LEJEUNE, 2001].

Collecte des données

Les données sont ensuite collectées en utilisant le formulaire de terrain repris en annexe. Le nombre d'arbres à mesurer est fixé à 11¹ [RONDEUX *et al.*, 2001]. Ce nombre de tiges est donné à titre indicatif et n'est pas limitatif. Il constitue néanmoins un bon compromis « coût/précision » car le gain de précision lié à la prise en compte d'un nombre de bois plus important ne compense généralement pas l'augmentation du temps de mesure qui en découle. Le rayon de la placette ne peut, par convention, excéder 18 m. Dans les situations de faible densité en termes de matériel sur pied, on peut donc rencontrer des placettes qui comportent moins de 11 bois. Sont pris en compte tous les arbres vivants dont la circonférence à 1,5 m est supérieure ou égale à 30 cm. Cette valeur du seuil d'inventaire est assez inhabituelle, 40 cm étant une valeur couramment admise en futaie feuillue. Elle est dictée par l'historique de la forêt où les inventaires complets ont toujours été réalisés sur base d'un seuil d'inventaire de 30 cm [COLETTE, 1960].

Les données qui ont été observées ou mesurées sur les arbres sont les suivantes :

- essence ;
- circonférence à 1,5 m ;
- hauteur de découpe marchande pour les arbres dont la circonférence à 1,5 m est supérieure ou égale à 100 cm ;
- présence d'écorcement avec différenciation entre dégâts anciens et frais. Pour ces derniers, identification de la période d'écorcement (été ou hiver) [LEJEUNE *et al.*, 2002].

Les circonférences sont mesurées au ruban de 3 m. La mesure des hauteurs est réalisée à l'aide d'un dendromètre de type Vertex III [PAUWELS, 2001].

D'autres variables telles que l'importance de bois morts, l'état sanitaire ou la présence, sur les arbres, de champignons, de décollements d'écorce ou de cavités peuvent également être collectées dans le cadre d'un inventaire qui se voudrait encore plus multi-fonctionnel.

Afin de pouvoir remesurer ultérieurement les arbres au sein des placettes (dans la perspective d'un inventaire permanent permettant notamment l'estimation d'accroissements en circonférence), la

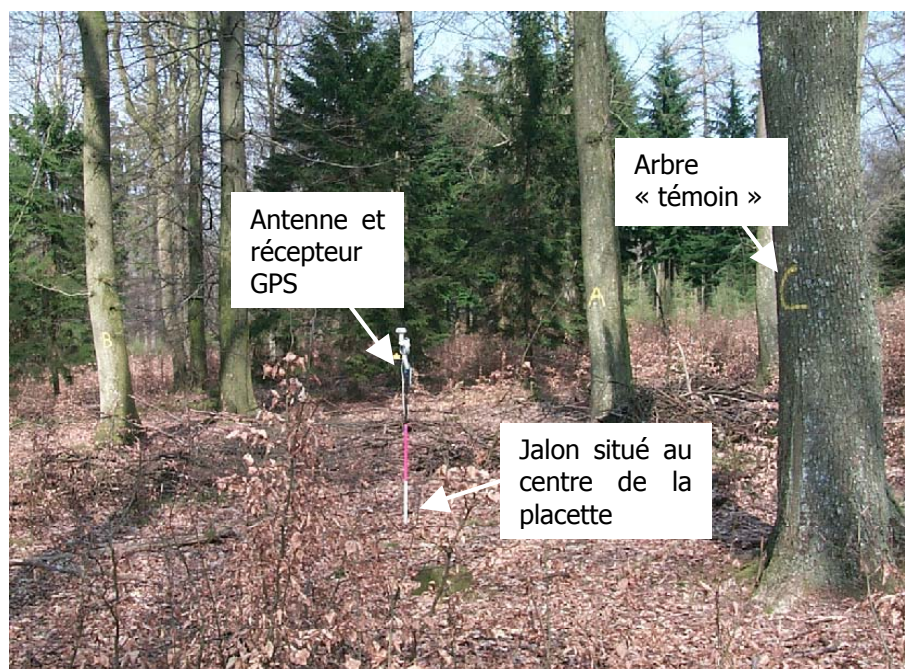
¹ Cela signifie que seules les 10 tiges les plus proches du centre sont situées à l'intérieur de la placette. Les 10^{ème} et 11^{ème} tiges interviennent pour définir le rayon de la placette.

position des arbres par rapport au centre de la placette est mémorisée grâce à deux informations supplémentaires :

- distance de l'arbre au centre de la placette ;
- azimuth de l'arbre par rapport au centre de la placette.

Les distances sont déterminées à l'aide du dendromètre Vertex, alors que les azimuths sont mesurés à la boussole forestière.

Trois arbres de la placette sont en outre marqués à la peinture afin de retrouver facilement la placette lors de futures opérations de remesurage.



Unité d'échantillonnage installée en hêtraie : jalon matérialisant le centre de la placette, arbres témoins.

Toutes les opérations de terrain (localisation, délimitation des placettes et récolte des données) ont été réalisées entre le 11 et le 15 mars 2002. Elles ont nécessité, en termes de moyens humains, l'équivalent de 16 hommes.jour. A cela, il convient d'ajouter environ 2 hommes.jour pour le travail de bureau : préparation des cartes, multiplication des formulaires, encodage des données sur micro-ordinateur. L'ensemble des opérations d'inventaire a donc nécessité un total de 18 hommes.jour. A titre de comparaison, l'inventaire complet réalisé en 1991 sur la même zone avait mobilisé pour les opérations de terrain une brigade (4 personnes) pendant une vingtaine de jours [GILISSEN, comm. pers.]. Cet inventaire complet n'avait cependant concerné que la

mesure des circonférences à 1,5 m des arbres de la futaie.

Résultats

Matériel sur pied

Le tableau présente une première série de résultats relatifs aux principaux paramètres dendrométriques caractérisant le matériel ligneux sur pied. Il s'agit de valeurs moyennes portant sur l'ensemble du massif, complétées des erreurs d'échantillonnage associées à ces estimations (pour un niveau de confiance de 95 %).

Variable	Unité	Moyenne	Intervalle de confiance	Erreur (%)
Surface terrière totale	m ² /ha	19,9	18,5 – 21,4	7,4
Surface terrière du hêtre	m ² /ha	14,5	13,5 – 15,5	6,9
Nombre de tiges (c1,5 > 30 cm)	/ha	238	205 - 270	13,7
Nombre de tiges (c1,5 > 40 cm)	/ha	169	147 – 190	12,8
Volume « bois fort tige »	m ³ /ha	232	214 – 250	7,9
Volume « marchand »	m ³ /ha	145	131 – 160	10,2

Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : paramètres dendrométriques principaux (valeur moyenne, intervalle de confiance (pour un degré de confiance de 95%) et erreur d'échantillonnage)

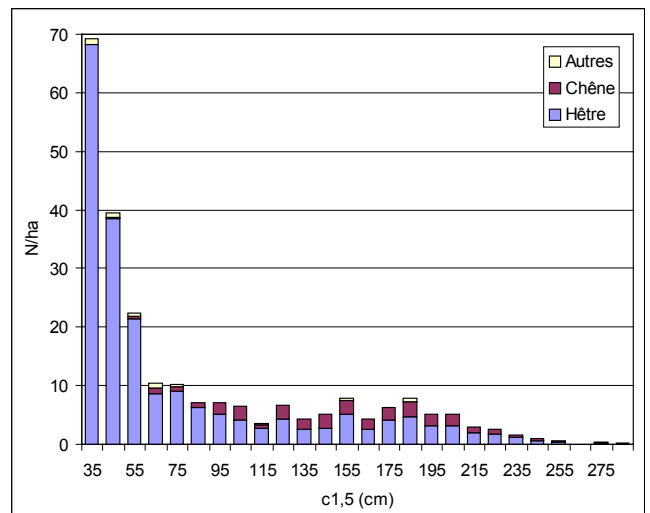
On constate que les erreurs sont inférieures à la limite de 10 % généralement admise dans ce type d'inventaire. Seule l'erreur liée aux nombres de tiges dépasse cette limite (13,7 % et 12,8 %), ce qui peut s'expliquer par la forte hétérogénéité du nombre de tiges par unité de surface caractérisant toute futaie à structure irrégulière. Le volume « bois fort tige » est calculé à l'aide des équations de cubage à une entrée proposées par DAGNELIE *et al.* [1999]. Le volume « marchand » est considéré uniquement pour le hêtre et le chêne. Il résulte de l'application de la formule dite de « Huber » [RONDEUX, 1999] aux arbres dont la circonférence à 1,5 m est supérieure ou égale à 100 cm.

$$V_{\text{march}} = \frac{\left(\frac{c_{1,5} \cdot k_{bo}}{100} \right)^2}{4\pi} \cdot h_{\text{rec}}$$

où V_{march} est le volume marchand individuel (en m^3) ;
 $c_{1,5}$, la circonférence individuelle (en cm) ;
 k_{bo} , le coefficient de décroissance ;
 h_{rec} , la hauteur de découpe marchande (en m).

Les valeurs du coefficient de décroissance pour le hêtre et le chêne sont estimées par des équations faisant intervenir la circonférence à 1,5 m [THILL et GRAYET, 1978 ; THILL et PALM, 1979].

La figure et le tableau ci-contre présentent la distribution des tiges par essence et par classe de circonférence de 10 cm d'amplitude. La catégorie « autres » qui représente 2 % du nombre total de tiges correspond essentiellement à de l'épicéa et, dans une moindre mesure, à quelques pieds d'érable sycomore, d'aulne glutineux ou encore de douglas. On remarque que les perches de hêtre ($30 \leq c_{1,5} < 40$ cm) constituent près de 30 % de l'effectif total des tiges inventoriées.



Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : distribution des tiges par classe de circonférence à 1,5 m et par essence.

c1,5 (cm)	Hêtre	Chêne	Autres	Total
35	68,3		0,8	69,1
45	38,6	0,1	0,9	39,6
55	21,4	0,3	0,7	22,5
65	8,7	0,9	0,7	10,4
75	9,1	0,7	0,5	10,3
85	6,2	0,9		7,1
95	5,1	1,9		7,0
105	4,2	2,3		6,5
115	2,7	0,5	0,3	3,6
125	4,4	2,2	0,1	6,8
135	2,6	1,6		4,2
145	2,7	2,4		5,1
155	5,2	2,3	0,3	7,8
165	2,5	1,7		4,3
175	4,1	2,1		6,2
185	4,8	2,5	0,7	7,9
195	3,1	1,9		5,0
205	3,2	2,0		5,1
215	2,1	1,0		3,0
225	1,7	0,9		2,6
235	1,1	0,5		1,6
245	0,6	0,4		1,0
255	0,4	0,2		0,6
265	0,1			0,1
275	0,3	0,1		0,4
285		0,1		0,1
Total	203,2	29,5	5,1	237,8

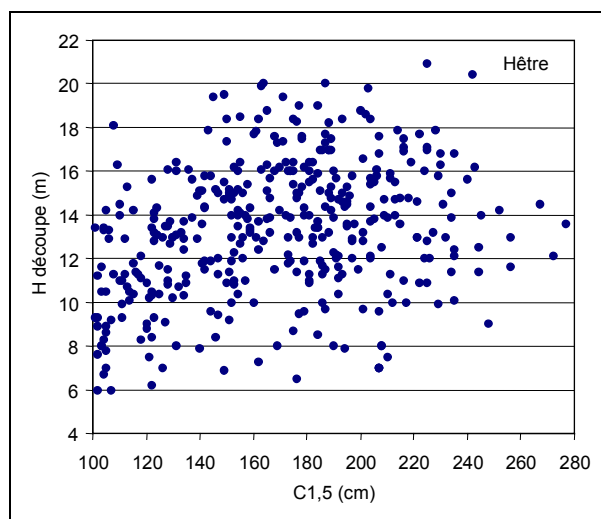
Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : distribution du nombre de tiges par classe de circonférence à 1,5 m et par essence.

Le tableau suivant porte sur la distribution des volumes par catégorie commerciale et par essence et ce, uniquement pour le hêtre et le chêne. Si l'on considère ces deux essences, environ 65 % du volume « marchand » est constitué de hêtre contre 45 % pour le chêne. La catégorie 150-200 est la plus représentée avec près de 50 % des 34.500 m³ de bois « marchand » comptabilisés dans le périmètre inventorié.

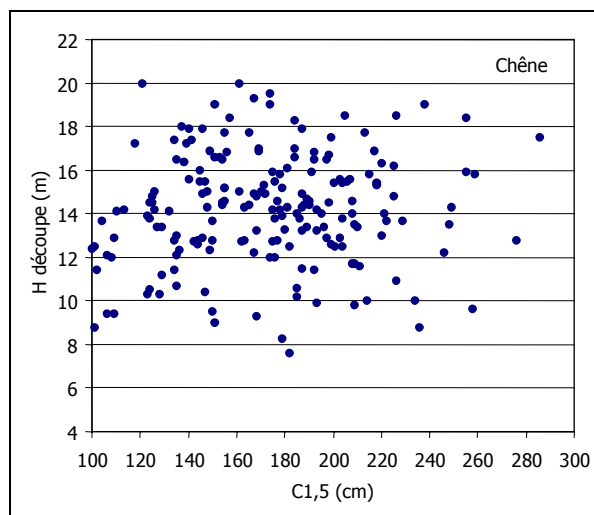
Catégorie commerciale (cm)	Hêtre		Chêne		Total	
	Vha	Vtot	Vha	Vtot	Vha	Vtot
100-120	4,4	1041	1,9	458	6,3	1500
120-150	11,4	2689	8,6	2045	20,0	4734
150-200	43,3	10249	24,8	5870	68,1	16119
200-220	15,9	3763	10,0	2370	25,9	6133
220-250	12,8	3024	6,1	1451	18,9	4475
250 et +	3,9	914	2,3	544	6,2	1458
Total	91,6	21680	53,8	12738	145,4	34418

Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : distribution des volumes à la découpe marchande par catégorie commerciale et par essence.

Les mesures de hauteur de la découpe marchande réalisées ont été mises en relation avec la circonférence à 1,5 m. La très grande hétérogénéité de cette relation, tant pour le hêtre que pour le chêne, montre la difficulté d'estimer correctement le volume de bois « marchand » sans procéder à cette mesure de hauteur.



Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : relation entre la hauteur de découpe marchande et la circonférence à 1,5 m pour les hêtres mesurés dans les unités d'échantillonnage.



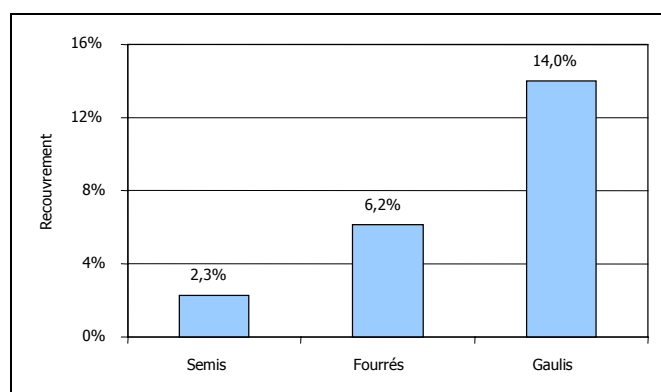
Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : relation entre la hauteur de découpe marchande et la circonférence à 1,5 m pour les chênes mesurés dans les unités d'échantillonnage.

Régénération naturelle et dégâts d'écorcement

Exception faite des mesures de hauteurs, les informations qui viennent d'être présentées sont comparables à celles que peut fournir un inventaire complet tel qu'il était réalisé par le passé dans la forêt de Haut-Fays. Les données relatives à la régénération et aux dégâts d'écorcement collectées dans le cadre de l'inventaire par échantillonnage apportent des compléments d'information particulièrement intéressants pour le gestionnaire de la forêt.

1° Régénération naturelle

L'histogramme présenté à la figure suivante traduit le recouvrement par les différents stades de développement² de la régénération naturelle observée.



Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : recouvrements par stade de développement pour la régénération naturelle de hêtre présentant une valeur d'avenir probable ou certain.

² Semis : hauteur < 50 cm, fourrés : 50 cm < hauteur < 4 m, gaulis : hauteur > 4 m et c1,5 < 30 cm.

Seuls sont pris en compte les groupes de régénération présentant une valeur d'avenir jugée par l'opérateur de terrain comme probable ou certaine. Mis à part quelques semis et fourrés d'épicéa (0,3 %), la seule régénération naturelle observée est celle du hêtre. On constate que celle-ci est majoritairement constituée de gaulis (14,0 %) et dans une moindre mesure de fourrés (6,2 %) et de semis (2,3 %). Ce déséquilibre apparent des différents stades de régénération s'explique par des temps de passage³ très différents d'un stade à l'autre. Ainsi, le temps de passage de la classe « semis » (hauteur < 50 cm) est inférieur à celui de la classe « fourrés » (50 cm < hauteur < 4 m) qui est lui-même inférieur au temps de passage de la classe « gaulis » (hauteur > 4 m et c1,5 < 30 cm). On peut donc considérer, en première analyse, que la répartition de la régénération entre les différents stades de développement, si elle n'est pas rigoureusement uniforme, permet cependant d'envisager un passage à la futaie relativement constant pour les décennies à venir.

2° Dégâts d'écorcement

Une proportion anormalement élevée de tiges dont la circonférence est inférieure à 100 cm présentent des dégâts d'écorcement de cervidés.



Jeune hêtre fortement touché par un dégât d'écorcement de cervidé.

Il s'est avéré intéressant de tenter de quantifier ce phénomène afin d'évaluer de manière objective son évolution au cours du temps mais également son impact éventuel sur la pérennité du peuplement. Les arbres présentant des traces fraîches ou anciennes

³ Nombre d'années nécessaires aux arbres d'une catégorie donnée pour passer à la catégorie supérieure [COLETTE, 1960].

d'écorcement ont donc été systématiquement relevés dans les unités d'échantillonnage. Le tableau suivant présente la synthèse qui a pu être établie au départ de ces données. Globalement, on peut considérer que 15 % des hêtres de circonférence inférieure à 100 cm sont atteints à des degrés divers par des écorcements dus aux cervidés.

c1,5 (cm)	hêtres écorcés (%)
35	13,4
45	17,1
55	22,3
65	3,7
75	14,9
85	18,3
95	7,4
Total	15,0

Inventaire 2002 de la hêtraie de Haut-Fays : proportion de hêtres écorcés par classe de circonférence à 1,5 m.

Conclusions et perspectives

La méthode d'inventaire par échantillonnage qui est proposée pour caractériser les futaies feuillues a été testée avec succès sur un massif d'environ 240 ha. Elle s'est avérée relativement simple à mettre en œuvre sur le terrain et les temps d'exécution mesurés (18 hommes.j) sont très favorables si on les compare aux valeurs enregistrées pour l'inventaire complet. Les erreurs d'échantillonnage estimées sont inférieures à la limite des 10 % généralement admise en inventaires de gestion. Seule l'estimation du nombre de tiges est entachée d'une erreur plus importante (13 %), ce qui peut s'expliquer par la structure même des peuplements inventoriés. Parallèlement à la quantification du matériel sur pied, l'inventaire fournit une information très précieuse sur la dynamique de rajeunissement du peuplement : les taux de recouvrement de la régénération de hêtre montrent que celle-ci est bien présente et relativement bien distribuée parmi les différents stades de développement. Le relevé des tiges écorcées a également permis de quantifier ce phénomène de manière objective.

Au plan des inconvénients liés à la méthode proposée, on peut déplorer le coût relativement élevé des appareils de mesure utilisés (Vertex et GPS principalement). La valeur totale de cet équipement atteint environ 2.500 €. Il est cependant important de

souligner que l'inventaire peut être réalisé correctement avec un matériel plus simple : topofil (mesureur de distance à fil perdu), chevillère (ruban métallique de 25 m à enrouleur automatique), dendromètres classiques (de type « Blume-leiss » ou « Suunto »), avec cependant une productivité nettement réduite. En outre, les appareils qui sont évoqués dans l'exemple peuvent être utilisés dans d'autres contextes que le seul inventaire de gestion : ainsi, le Vertex peut servir à estimer la hauteur dominante lors du martelage, alors que le GPS peut être utilisé à des fins de cartographie des peuplements.

Les unités d'échantillonnage ayant été matérialisées sur le terrain (arbres témoins), elles feront l'objet de remesurages à intervalles de temps réguliers. Les données qui seront ainsi récoltées devraient permettre de quantifier de manière relativement précise l'accroissement du peuplement, de même que l'évolution de la régénération et des taux d'écorcement. Ces remesurages seront organisés dans le temps de manière à visiter les unités d'échantillonnage situées dans les peuplements parcourus en martelage. La charge de travail ultérieure sera donc relativement limitée par rapport au premier passage. Le gestionnaire disposera alors d'un véritable « tableau de bord » de sa forêt régulièrement actualisé au prix d'une charge de travail réduite.

Références utiles

COLETTE L. [1960]. *Trente années de contrôle en hêtraie jardinée*. Travaux série **B 25**, Groenendaal-Hoeilaart, Station de Recherches des Eaux et Forêts, 44 p.

DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J. et THILL A. [1999]. *Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Les Presses agronomiques de Gembloux, 148 p.

DUPLAT P. et PERROTTE G. [1981]. *Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers*. Fontainebleau, ONF, Section Technique, 432 p.

GILISSEN J. [2001]. La futaie de Haut-Fays : Septante années de contrôle en hêtraie jardinée. *Forêt Wallonne* **52**, 7-9.

HUART O. et RONDEUX J. [2001]. Genèse, évolution et multiples facettes d'une maladie inhabituelle affectant le hêtre en Région wallonne. *Forêt Wallonne* **52**, 8-19.

LAURENT C. et RONDEUX J. [1985]. *Etude comparative de diverses unités d'échantillonnage à nombre de bois prédéterminé (cas des forêts résineuses équiennes)*. Document **85/2**, Gembloux, FUSAGx, Centre de Recherche et de Promotion forestières, IRSIA, Section « Aménagement et Production », 21 p.

LECOMTE H., FLORKIN P., MORIMONT J.P. et THIRION M. [2002]. *La forêt wallonne : état de la ressource à la fin du 20^{ème} siècle*. Fiche technique du Ministère de la Région wallonne, Namur, DGRNE, DNF, 69 p.

LEJEUNE P., ROTHEUDT H. et VERRUE V. [2002]. *Proposition d'une méthode d'inventaire des dégâts frais de cervidés applicable en Région wallonne : les dégâts d'écorcement*. Note technique forestière de Gembloux n°**6**, Gembloux, FUSAGx, 9 p.

LEJEUNE P. [2001]. *Les possibilités d'utilisation du matériel GPS en forêt*. Note technique forestière de Gembloux n°**3**, Gembloux, FUSAGx, 10 p.

PAUWELS D. [2001]. *Le Vertex : une nouvelle génération de dendromètres multi-usages*. Note Technique Forestière de Gembloux n°**1**, Gembloux, FUSAGx, 13 p.

RONDEUX J. [1999]. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Les Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.

RONDEUX J., VERRUE V. et LEJEUNE P. [2001]. *Accord cadre : recherche forestière. Action 1.3.2. Développement de techniques d'inventaire appliquées aux différentes facettes de la gestion forestière intégrée*. Rapport d'avancement de décembre, 7 p.

THILL A. et GRAYET J.P. [1978]. *Etude dendrométrique du hêtre commun*. Note technique du Centre d'Ecologie forestière et rurale n°**32**, Gembloux, FUSAGx, 60 p + annexes.

THILL A. et PALM R. [1979]. *Etude dendrométrique des chênes indigènes (Quercus robur L. et Quercus petraea (Mattuschka) Lieblein)*. Note technique du Centre d'Ecologie forestière et rurale n°**33**, Gembloux, FUSAGx, 68 p + annexes.

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes qui, par leurs conseils et suggestions, ont permis d'améliorer le contenu et la présentation de ce document : E. BOUSSON, M. EVRARD, D. PAUWELS et J. RONDEUX.

Il nous est également agréable de remercier M. GILISSEN, chef de cantonnement à Wellin, pour nous avoir donné l'opportunité de réaliser cette expérience ainsi que le personnel technique de la Division Nature et Forêt, MM. ADAM, GROFILS, LEONET ET WUIDAR pour leur aide précieuse dans la récolte des données sur le terrain.

Cette note technique est le fruit d'une recherche menée par l'Entité des Eaux et Forêts de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux dans le contexte de « l'Accord-cadre : recherche forestière » financé par la Région wallonne.

Synthèse

Peuplements cibles

- Futaie feuillue de 50 ha minimum

Unités d'échantillonnage et maille

- Echantillonnage systématique à maille rectangulaire ou carrée permettant d'installer au moins 100 placettes sur la zone inventoriée
- Placettes de 10 bois (rayon variable) pour les mesures dendrométriques
- Placettes de 12 m de rayon pour l'inventaire de la régénération

Cas particuliers

- Rayon maximum de 18 mètres
- Distances prises horizontalement dans la mesure du possible, sinon, parallèlement au sol et mesure de pente
- Déplacement de la placette si elle tombe en bordure du peuplement

Données à récolter

- Essence
- C150 sur les 10 tiges les plus proches du centre
- Distance (en m) et azimut (°) de chaque arbre de la placette et du 11^{ème} arbre le plus proche du centre
- Hauteur de découpe marchande (en m) pour les arbres dont la circonférence est supérieure à 100 cm
- Présence éventuelle de signes de dépérissement, de décollements d'écorce, de champignons, de cavités et de dégâts d'écorcement
- Essence, stade, recouvrement et avenir de la régénération
- Présence éventuelle de bois morts

Matériel nécessaire

- Fiches de terrain
- Topofil ou GPS (+antenne)
- Boussole
- Ruban de 3 m
- Griffes et bombe de peinture (si remesurage)
- Chevillère ou Vertex
- Dendromètre « Blume-leiss » ou « Suunto » ou « Vertex »

Encodage des données

- Base de données MSAccess©

Traitement des données

- NHA, GHA, VHA par essence et erreurs d'estimation associées
- Distributions des tiges par classe de grosseur de 10 cm pour chaque essence
- Distributions du volume par catégorie marchande pour chaque essence
- Recouvrement par stade de développement de la régénération naturelle pour chaque essence
- Importance des dégâts d'écorcement par catégorie de grosseur pour chaque essence
- Estimation des accroissements par essence (si remesurage)

Utilisation des résultats

- Prévion du martelage
- Calcul des valeurs financières du peuplement
- Suivi de la régénération du peuplement
- Evaluation de la proportion de dégâts d'écorcement

Liste de codes

Etages

- 1 Futaie (ét. principal)
- 2 Futaie (sous-étage)
- 3 Réserve (TSF)
- 4 Brin de taillis
- 5 Futaie jardinée

Intensité d'écorcement

- 1 fort
- 2 moyen
- 3 faible

Essences

Feuillus	Résineux
32 Alisiers	52 Cyprès
12 Aulne blanc	43 Douglas
13 Aulne glutineux	41 Epicéa commun
11 Bouleaux	42 Epicéa de Sitka
14 Charme	44 Mélèze
15 Châtaignier	46 Pin noir d'Autriche
1 Chênes indigènes	47 Pin noir de Corse
35 Chêne pédonculé	45 Pin sylvestre
2 Chêne rouge	48 Pin weymouth
34 Chêne sessile	50 Sapin de Vancouver
17 Erable champêtre	49 Sapin pectiné
16 Erable plane	51 Autres sapins
4 Erable sycomore	54 Thuya
5 Frêne	53 Tsuga
3 Hêtre	
19 Marronnier	
7 Merisier	55 Autres résineux
20 Noisetier	
21 Noyer	
6 Ormes	
22 Peuplier blanc	
23 Peuplier grisard	
24 Peuplier noir	
25 Peuplier tremble	
31 Poirier	
30 Pommier	
26 Robinier	
27 Saule marsault	
28 Autres saules	
18 Sorbier	
33 Sureaux	
29 Tilleuls	
10 Feuillus divers	

Stades de régénération

- 1 Semis (h < 0.5 m)
- 2 Fourrés (0.5 m < h < 4m)
- 3 Gaulis (h > 4m ; c150 < 30 cm;)
- 4 Taillis

Recouvrements

+	< 5% rare
1	< 5% fréquent
2	5 - 25 %
3	25 - 50%
4	50 - 75%
5	75 -100%

Avenir de la régénération

- 1 Régénération acquise
- 2 Régénération d'avenir probable
- 3 Régénération sans avenir

Cette note technique est le fruit des actions de recherche menées par l'Entité des Eaux et Forêts de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux dans le contexte de « l'Accord-cadre : recherche forestière » financé par la Région wallonne.