Techniques d'inventaire forestier par échantillonnage systématique

Objectif : Connaître les techniques pour l'obtention des informations nécessaire à une gestion durable des forêts.

Sommaire

1 Introduction 1

2 Stratification du peuplement forestier 2

2.1 Instruments et méthodes pour effectuer la stratification 4
2.2 Critères pour la description sylvicole du peuplement forestier . 5

3 Élaboration du plan d'échantillonnage 6

3.1 Calcul de l'intensité d'échantillonnage 6
3.2 Situation des placettes d'échantillonnage 9
3.3 Caractéristiques des placettes d'échantillonnage..... 10
3.4 La mesure des variables forestières, appareils de mesure 10
3.5 Exemple pratique de détermination de l'échantillonnage pour un inventaire forestier..... 11

4 Validation de l'échantillonnage 14

4.1 Estimation de l'erreur d'échantillonnage 14

4.2 Exemple pratique de validation de l'échantillonnage. 15

5 Conclusion 17

6 Bibliographie 18

Erasmus+

INS. D'HORTICULTURA I JARDINERIA DE REUS

1 Introduction

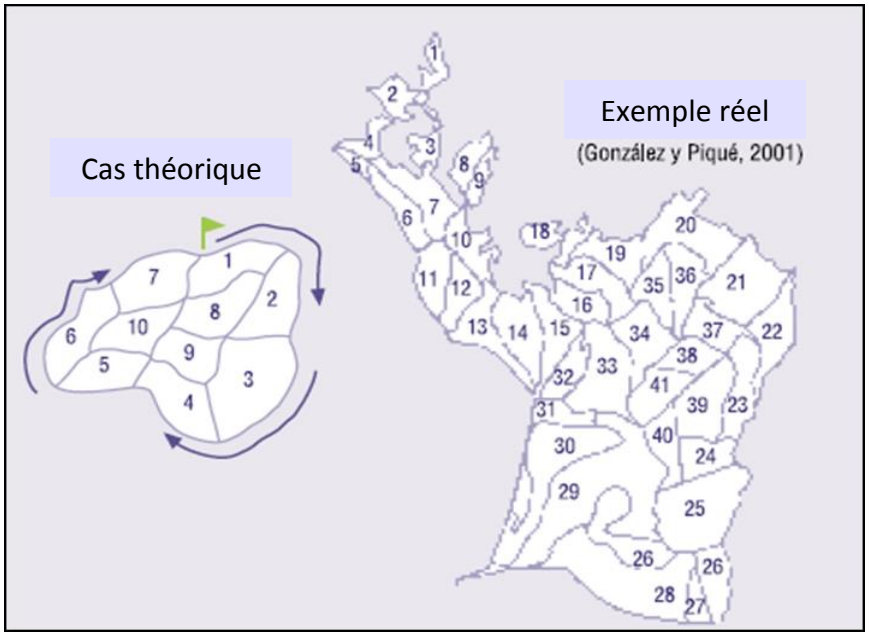
L'inventaire forestier est la technique utilisée pour obtenir, organiser et évaluer les informations quantitatives et qualitatives décrivant un peuplement forestier à un moment donné. Il fait référence à l'ensemble de la végétation ligneuse qui forme la zone forestière considérée.

C'est le premier niveau de la gestion forestière : la connaissance de la situation du peuplement forestier « à l'instant t », permet au technicien de prévoir son évolution possible et de planifier les actions les plus appropriées pour atteindre les objectifs fixés.

Les mots suivis d'un "*" sont définis dans le lexique en Annexe

2 Stratification du peuplement forestier

En raison de la taille et de la grande variabilité et diversité des types de peuplements forestiers, il est souvent nécessaire, dans un premier temps, de diviser la forêt en unités plus petites et plus homogènes (unité d'aménagement) facilitant sa caractérisation et l'aménagement ultérieur. Ce processus, appelé stratification, permet de définir les unités suivantes :



Exemple de parcellaire

Unités d'aménagement : ce sont de grandes surfaces (500, 1000 ha…) avec peu d'homogénéité. Elles sont permanentes, définies par un type écologique commun et répondent à une cohérence pratique (même objectif de gestion) et sont identifiées par des lettres majuscules : A, B...

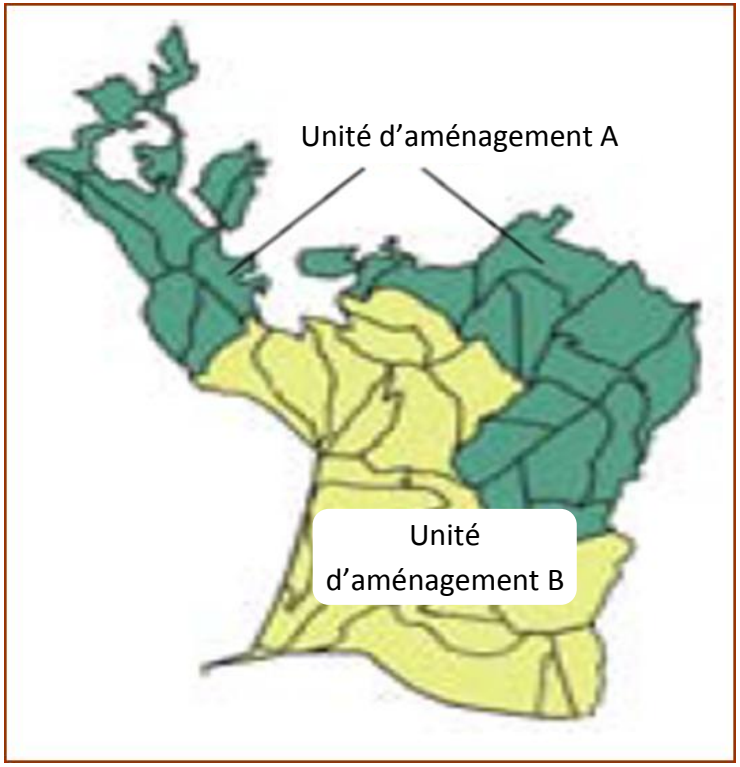
➤ Parcelles : ce sont des unités territoriales plus petites et plus homogènes en termes de caractéristiques écologiques et de qualité de station. Elles sont caractérisées par des frontières facilement identifiables. Elles sont permanentes et identifiées par un numéro : 1, 2, 3 …

➤ Sous-parcelles forestières : ce sont les unités les plus homogènes qui divisent les parcelles et qui sont les dernières unités d'inventaire et de gestion. Elles sont temporaires jusqu'à la révision du plan de gestion forestier (tous les 5-10 ans) dans le lequel il est possible de les redéfinir. Elles sont identifiées avec des lettres minuscules : a, b, c …

Dans l'exemple ci-contre on peut voir une division en unités d'aménagement, alors que dans l'exemple précédent la division était uniquement faite en parcelles forestières, sans regroupement de ces parcelles.

Unité A : (541 ha) formée par des parcelles principalement boisées dans les parties inférieures (jusqu'à 1700 m d'altitude). Utilisation prioritaire pour la production de bois et les loisirs de nature.

Unité B : (596 ha) formée par parcelles boisées des hauts plateaux et des alpages.



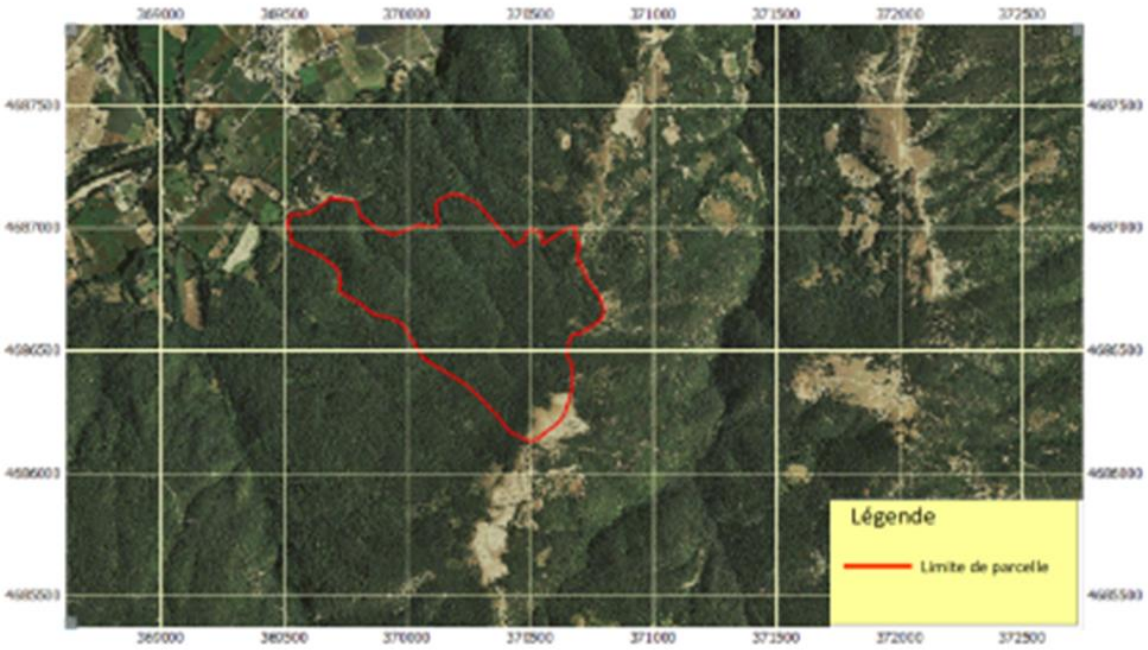
Exemple de division en unités d'aménagement

Parcelle et sous-parcelle forestière sont les unités de gestion. Ce sont à ces échelles que les décisions de gestion forestière sont prises.

Dans une phase ultérieure les peuplements forestiers seront caractérisés. Ces peuplements détermineront le type d'inventaire qu'il faut mener : description qualitative ou inventaire quantitatif par échantillonnage systématique.

2.1 Instruments et méthodes pour effectuer la stratification

Pour servir de base à l'inventaire, le technicien forestier utilise la cartographie la plus appropriée : image satellite, ortho-photoplans, ou cartes topographiques à différentes échelles : 1/5000 ou 1/10000. Les limites de parcelles identifiées seront tracées directement sur ce fond de plan. L'utilisation de SIG informatisés (Systèmes d'Information Géographique) ou de différents types de visionneuses géographiques permet de faciliter le travail. De nombreuses organisations et entités fournissent des informations cartographiques disponibles sur Internet :



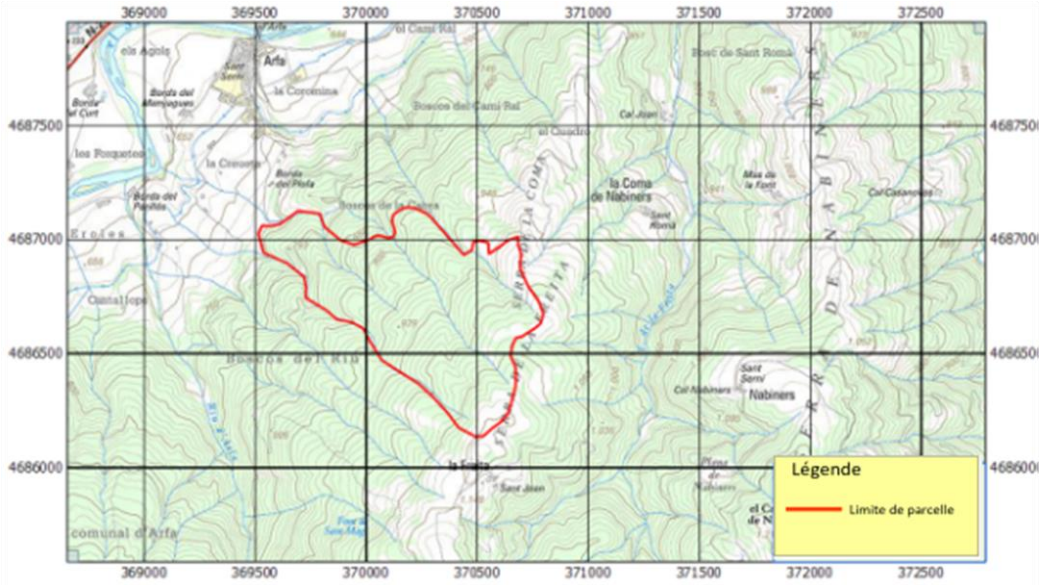
Exemple image satellite : le trait rouge représente les limites de parcelle

- Instituto cartográfico y geológico de Catalunya (http://www.icgc.cat/)
- http://geoportail.wallonie.be/walonmap
- Institut National de l'Information Géographique et Forestière (https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique67)
- Visor de cartografía catastra del Ministerio de Hacienda y Función Pública, (https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapaC.aspx)
- Google Earth : ortofoto y topográfico
- Ma Visionneuse : Institut National de l'Information Géographique et Forestière (http://mavisionneuse.ign.fr/)

2.2 Critères pour la description sylvicole du peuplement forestier

Ainsi, avec l'aide de la cartographie, le gestionnaire localise facilement les différents peuplements forestiers qui seront délimités et caractérisés. La première étape sera de faire une description sylvicole qualitative. Les paramètres de cette description sont les suivants :

Tous ces paramètres seront rassemblés dans une fiche dans laquelle il est possible d'insérer une photo. A partir de ces fiches on peut confectionner la carte du peuplement forestier.



Exemple de carte topographique

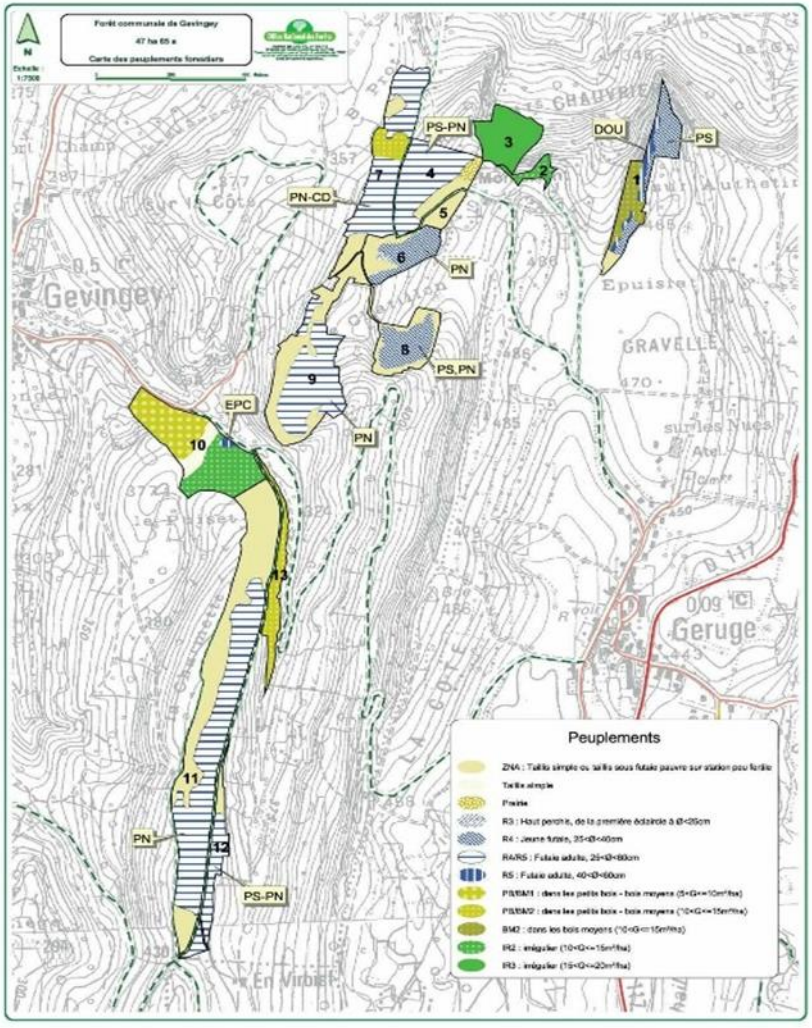
- Composition d'essences : pure ou mélangée (essences nobles et secondaires).
- Composition du mélange : feuillus, résineux ou mixte.
- Structure verticale du mélange : peuplement principal, subordonné et d'accompagnement.
- Structure (répartition des arbres par classes d'âges ou de diamètres) : régulière ou irrégulière.
- Régime (mode de renouvellement des arbres) : futaie, taillis, mélange futaie-taillis, peupleraie ; régénération naturelle ou artificielle.
- Distribution en catégories de grosseur (mesurée à 1,3 m) : semis, perche, petit bois, moyen bois et gros bois.
- Renouvellement : appréhender le potentiel de régénération.
- Autres aspects : âge, vigueur, état sanitaire, faune…

3 Élaboration du plan d'échantillonnage

Le type d'inventaire décrit est l'inventaire par échantillonnage systématique. Les unités d'échantillonnage dans la forêt sont disposées à intervalles réguliers sur base d'une maille systématique afin de couvrir uniformément toute la surface. Les placettes sont reparties aux sommets d'une grille à maille carrée qui se superpose à la carte de la forêt à inventorier.

3.1 Calcul de l'intensité d'échantillonnage

L'intensité d'échantillonnage est définie comme le nombre de placettes d'échantillonnage devant être réalisées dans un peuplement forestier. Ce paramètre dépend de la précision souhaitée dans l'échantillonnage (qui détermine le niveau d'erreur d'échantillonnage) et de la variabilité ou de l'hétérogénéité du peuplement forestier. Lorsque l'on souhaite une précision plus élevée (avec moins d'erreur d'échantillonnage), le nombre de placettes est supérieur mais l'inventaire sera alors plus coûteux en temps et en argent.



Exemple de carte avec les différentes typologies des peuplements forestiers. (Forêt communale de Gevingey)

En ce qui concerne les peuplements hétérogènes, l'intensité d'échantillonnage doit être supérieure. La variable statistique qui permet de déterminer cette variabilité est la surface terrière moyenne (G). Pour le calcul du nombre de placettes d'échantillonnage on utilise la formule suivante :

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2 + \frac{4CV^2}{N}}$$

n = nombre de placettes d'échantillonnage
t = t de Student (estimateur statistique). Dans les inventaires forestiers : t = 2 pour un niveau de confiance fixé à 95%
CV = Coefficient de variation
E = erreur relative maximale admissible (dépend de l'objectif de gestion)
N = nombre total de placettes dans la population (surface de sondage)

La procédure pratique pour déterminer le nombre de parcelles d'échantillonnage dans un peuplement est la suivante :

- **Estimation du coefficient de variation (CV) :** Le technicien devra pour cela effectuer un échantillonnage pilote sur la parcelle pour déterminer la surface terrière moyenne en différents points au moyen d'un relascope à chainette (ou encoche) ou à prisme. Des applications smartphone (Android et IoS) existent actuellement également (ex : MOTI).

- **Établissement d'une erreur maximale** en fonction de l'objectif de l'inventaire et du type de peuplement, sur la base par exemple des orientations du tableau de la page suivante.

Exemples d'erreur maximale tolérée en fonction du peuplement et de l'objectif de l'inventaire :

Types de peuplements	Objectif	Erreur maximale tolérée
Futaie mature (structure régulière) en cours de régénération ou derniere éclaircie.	Fiabilité maximale	Échantillonnage avec erreur maximale de : • 10% de G en parcelles de surface ≥30 ha • 20 % de G en parcelles de surface < 30 ha
Peuplements de taillis avec objectif de production de bois de chauffage ou trituration.	Estimation du volume de bois de chauffage ou trituration.	Estimation des paramètres du peuplement forestier. Echantillonnage sans erreur maximale.
Peuplements susceptibles de faire l'objet d'éclaircies commerciales (haut perchis et futaie). Structure régulière.	Détermination des opérations sylvicoles à réaliser et obtention de produits intermédiaires.	Échantillonnage avec erreur maximale de : • 25 % de G en parcelles de surface < 30 ha • 15 % de G en parcelles de surface ≥30 ha On admet une erreur supérieure à 25% si les produits ont une faible valeur commerciale.
Jeunes peuplements susceptibles de faire l'objet d'éclaircies non comerciales ou très jeunes reboisements forestiers.	Détermination des opérations sylvicoles à réaliser.	Échantillonnage sans erreur maximale

Lorsque le coefficient de variation (CV) est plus élevé (plus grande hétérogénéité du peuplement forestier) l'erreur maximale tolérée (E) est plus faible (plus de précision) car l'intensité d'échantillonnage (nombre de placettes à inventorier) est plus élevée et inversement.

3.2 Situation des placettes d'échantillonnage

L'implantation des unités d'échantillonnage sur le terrain se fait de manière systématique : les placettes sont réparties de manière régulière aux sommets d'une grille à maille rectangulaire ou carrée qui constituent les centres des placettes. Pour ce faire, procédez comme suit :

➤ Calculer la distance entre les centres des parcelles d'échantillonnage :

$$a = \sqrt{\frac{S}{n}}$$

a = distance entre centres des placettes d'échantillonnage
S = surface de la parcelle forestière
n = nombre de placettes d'échantillonnage

➤ Choisir aléatoirement un point sur la carte de coordonnées géographiques connues (point de référence). Placez sur ce point un sommet du maillage

➤ Calculer les coordonnées géographiques des autres sommets du maillage situé dans la surface du peuplement à partir du point de référence. Les coordonnées de ces points seront le centre des placettes d'échantillonnage. Ceci est réalisable automatiquement grâce à des logiciels de SIG.

3.3 Caractéristiques des placettes d'échantillonnage

Les placettes d'échantillonnage peuvent être carrées, rectangulaires ou circulaires. Les circulaires présentent moins d'erreur liée aux arbres de bordure, elles sont faciles à installer et ne présentent aucune direction préférentielle, elles sont donc préférables dans les inventaires forestiers. La dimension des unités dépend de la densité et de l'hétérogénéité des peuplements. Dans parcelles très denses, il faut réduire le rayon de l'unité d'échantillonnage. Si le peuplement est hétérogène il faut réduire aussi le rayon et augmenter la densité du réseau de points pour mieux en saisir la variabilité. Le nombre de pieds de diamètre supérieur ou égal à 7,5 cm (DHP > 7,5 cm) qu'il serait idéal de mesurer, dans chaque placette, est compris entre 15 et 25. En terrain pentu, la surface de chaque placette sera corrigée de la manière suivante :

$$Spm = \Pi R^2 cos(\alpha)$$

S_{pm} = Surface de la placette d'échantillonnage
R = Rayon de la placette d'échantillonnage
α = angle de pente du terrain

3.4 La mesure des variables forestières, appareils de mesure

Pour chaque espèce présente dans la parcelle d'échantillonnage, le technicien mesurera les variables suivantes :

- **Diamètre de l'arbre à hauteur de poitrine** (DHP) : mesure de tous les arbres de la placette d'échantillonnage de DHP est supérieur ou égal à 7,5 cm. Les instruments qui seront utilisés sont : le ruban forestier, le compas forestier (il peut être électronique), le compas finlandais et le relascope de Bitterlich. Il s'agit du diamètre (oude la circonférence) du tronc mesuré à 1,3 m (en Belgique : 1,5 m) au-dessus du niveau du sol. Ces diamètres sont regroupés en classes de diamètres.

- **Hauteur totale (H)** des arbres-études (cf définition ci-contre) dans la placette d'échantillonnage. Les appareils utilisées sont le clinomètre SUUNTO, le dendromètre SUUNTO ou BLUME-LEISS, le relascope de Bitterlich ou certaines applications smartphone (ex : MOTI).

- **Croissance (C)** des arbres-études quantifiée par la longueur (en mm) des dix derniers cernes d'accroissements annuels et l'âge des arbres : comptage des cernes annuels totaux par extraction d'une carotte de sondage à la tarière de Pressler. Cette étape n'est pas systématique.

- **Epaisseur de l'écorce** (mm) des mêmes arbres avec une jauge à écorce ou avec un marteau sondeur.

Définition d'arbre-étude : *C'est un arbre représentatif de la parcelle d'échantillonnage. Normalement on choisit un arbre de chaque classe de diamètre près du centre de la classe. Quatre ou cinq arbres-étude sont mesurés au moins dans chaque parcelle.*

3.5 Exemple pratique de détermination de l'échantillonnage pour un inventaire forestier

Nous considérons le cas suivant :

Espèce **:** *Quercus robur L*
Situation : Région de Bourgogne (Département de Saône-et-Loire)
Âge : 70 ans Futaie, gros bois, structure régulière.
Surface du peuplement : 56,5 ha
Objectif de gestion : production du bois de qualité (gestion durable)
Caractéristiques des placettes d'échantillonnage : circulaire. Rayon=15 m (adapté à la densité de la population.) Surface = 706,8 m^2

Quercus Robur

➤ Calcul de l'intensité d'échantillonnage :

Nous appliquons la formule du point 3.1. Nous considérons un CV= 20 % (*) et une erreur maximale tolérée 15 % (tableau 1 « Peuplements susceptibles d'éclaircies commerciaux avec une surface supérieure à 30 ha »).

Le coefficient de variation est déterminé avec un échantillon pilote pour l'estimation de la surface terrière. Nous pouvons utiliser le relascope à chaînette. Le technicien peut aussi faire une hypothèse basée sur son expérience.

Calculs : $N = \frac{565000}{706{,}8} \approx 799$ $n = \frac{4 \times 0{,}2^2}{0{,}15^2 + \frac{4 \times 0{,}2^2}{799}} \approx 7$ $\mathrm{Im} = \frac{7}{799} \approx 0{,}01$

I_m = Intensité d'échantillonnage. Le nombre de placettes d'échantillonnage est donc 7.

➤ Situation des placettes d'échantillonnage :

Pour placer les points d'inventaire (placettes d'échantillonnage) une distribution systématique est mise en place aux sommets d'une grille à maille carrée. Le point de référence est déterminé de manière aléatoire. Dans cet exemple, les coordonnées cartésiennes du point de référence sont :

Pr: UTMx: 642880 mE, UTMy: 5194690 mN, (31T).

Calcul de la distance entre les parcelles d'échantillonnage selon la formule du point 3.2 :

$$a = \sqrt{\frac{565000}{7}} = 284m$$

Les coordonnées géographiques des points d'échantillonnage sont les indiques sur la figure suivante :

	UTM x	UTMy
Pr	642880	5194690
1	642880	5194406
2	643164	5194406
3	643448	5194406
4	643164	5194122
5	643448	5194122
6	643732	5194122
7	643448	5193838

Carte d'inventaire forestière. Situation des points d'échantillonnage (coordonnées cartésiennes)

4 Validation de l'échantillonnage

Dans chaque placette d'échantillonnage, nous mesurerons les différentes variables décrites au point 3.4. Une démarche préliminaire au traitement des données, pour la caractérisation sylvicole du peuplement forestière, consistera à vérifier l'erreur d'échantillonnage et à la valider en fonction de l'objectif de gestion. Si l'erreur d'échantillonnage est inférieure au maximum admissible, l'échantillonnage sera valide et se poursuivra avec le traitement des données, sinon, l'intensité de l'échantillonnage devrait être augmentée ou redéfinir la stratification.

4.1 Estimation de l'erreur d'échantillonnage

Pour estimer l'erreur d'échantillonnage nous allons utiliser la surface terrière. Cette variable est celle qui s'ajuste le mieux parce que nous l'estimons directement à partir de la mesure des diamètres à hauteur de poitrine d'homme (DHP).

L'expression mathématique qui nous permet de calculer l'erreur est :

$$E(\%) = \frac{tCV}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} 100$$

n = nombre de placettes d'échantillonnage dans le peuplement forestière
t = t de Student (estimateur statistique)
Dans les inventaires forestiers t=2 pour un niveau de confiance fixé à 95%
CV = Coefficient de variation
E = Erreur relative maximale tolérée (en fonction de l'objectif de gestion)
N = nombre total de placettes dans la population (surface de sondage)
S = déviation standard de l'échantillon
$\bar{x}$ = moyenne de l'échantillon.

4.2 Exemple pratique de validation de l'échantillonnage

Nous considérons le cas suivant :

Espèce : *Pinus sylvestris*
Situation : Région C. A. Catalunya (zone de Prepirineo)
Âge : 50 ans. Futaie, Petit bois, structure régulière.
Station forestière moyenne : *modèle Ps 08 « models de gestio per als boscos de piroig. Centre de la Proprietat Forestal ».* Faible risque d'incendie
Objectif de gestion : production du bois de bonne qualité (gestion durable)

Échantillonnage :

Erreur maximale tolérée : 15% (voir tableau page 8)
Valeurs d'échantillonnage :
n =6, surface terrière (m^2/ha) : 42 – 35,4 – 40,5 – 47,2 – 41 – 46,3
Caractéristiques des placettes d'échantillonnage :
Circulaire / rayon = 10m (adapté à la densité du peuplement) / surface = 314,16 m^2

Peuplement régulier de Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*)

La démarche préliminaire consiste à calculer la moyenne et l'écart-type de l'échantillon (surface terrière), puis à calculer l'erreur d'échantillonnage.

Moyenne de la surface terrière (échantillonnage) : $\bar{x}$ = 42,02 m²/ha

Écart-type de l'échantillon : S = 4,29 m²/ha, avec n = 6 et t = 2

Calcul du coefficient de variation de l'échantillonnage : $CV = \frac{4,29}{42,02} \times 100 = 10,20\%$

Calcul du nombre total de placettes dans la population (Surface de sondage) : $N = \frac{350000}{314,16} \approx 1114$

Calcul de l'erreur d'échantillonnage : $E(\%) = \frac{2 \times 10,2}{\sqrt{6}} \sqrt{1 - \frac{6}{1114}} = 8,3\%$

L'erreur d'échantillonnage est de 8,3%, elle est inférieure à l'erreur maximale tolérée (15%). On considère donc que l'échantillonnage est valide. Le technicien peut procéder au calcul des différents paramètres du peuplement forestier : densité, diamètre moyen, hauteur moyenne et dominante, surface terrière moyenne, structure en diamètre et spatiale, potentiels de croissance… permettant la gestion durable de cette forêt.

5 Conclusion

Pour une gestion durable des forêts, il est nécessaire de faire un inventaire forestier qui nous permette de les **caractériser** et **d'appliquer les techniques sylvicoles les plus appropriées**.

L'échantillonnage systématique est celui qui convient le mieux à la gestion forestière. C'est un échantillonnage **plus fiable**.

Le technicien forestier doit travailler avec un **degré de fiabilité approprié à l'objectif de gestion** pour optimiser les ressources.

6 Bibliographie

(a) : Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. José María González Molina, Miriam Piqué Nicolau y Pau Vericat Grau. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Diciembre 2006.

(b) : L'inventari dendromètric en els plans tècnics de gestió forestal (Instruccions de redacció de l'inventari forestal). Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Centre de la Propietat Forestal.

(c) : Sylviculture des chênes sessiles et pédonculés. École Nationale du Génie Rurale, des eaux et des Forêts. Nancy. Y. Bastien. Octobre de 1997.

(d) : Models de gestió per als boscos de pi roig (Pinus sylvestris L). Generalitat de Catalunya. Departament de Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Centre de la Propietat Forestal. Varios autores. Octubre 2011

Conception et rédaction : Jordi RIBA

Crédits illustrations :

Pages 0, 4, 5, 14 et 16 : © J. Riba

Page 1 : S. Gaudin © CNPF

Page 6 : © Forêt communale de Gevingey. Office National des Forêts)

Page 12 : © École Nationale du Génie Rurale, des eaux et des Forêts. Nancy.

Édition : Juin 2019

Maquette : Eduter-CNPR

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication (communication) n'engage que son auteur, et la Commission européenne n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

Plus d'informations ?

Voici les partenaires d'eforOwn qui peuvent vous informer, vous former et vous accompagner

Vous êtes propriétaire forestier

En Belgique

SRFB · KBBM

En Espagne

CTFC

En France

CNPF

Vous êtes étudiant ou enseignant

En Belgique

Province de HAINAUT
HAUTE ÉCOLE CONDORCET

En Espagne

INS. D'HORTICULTURA I JARDINERIA DE REUS

EPLEFPA MIRECOURT

En France

eduter Cnpr

AGRO SUP DIJON