

Inventaire des haies (Méthodes utilisées par l'Inventaire Forestier National)

R. B. CHEVROU ⁽¹⁾

Pour l'Inventaire Forestier National, les haies sont définies comme étant des éléments boisés linéaires, irréguliers, de longueur minimum 25 mètres, de largeur maximum 10 mètres, contenant au moins trois arbres recensables (c'est-à-dire dont le diamètre à 1,30 mètre du sol est au moins égal à 7,5 cm) et en moyenne au moins un arbre recensable tous les 10 mètres. Sur un élément linéaire, une longueur d'au moins 25 mètres sans arbre recensable interrompt la haie (CHEVROU, 1973).

Les haies boisées s'opposent aux lignes de broussailles avec ou sans arbres épars (haies non boisées) et aux alignements (où les arbres sont régulièrement espacés).

I – PRINCIPES DES MÉTHODES D'INVENTAIRE.

1 – Généralités

Plusieurs méthodes ont été utilisées depuis le début des travaux de l'Inventaire Forestier National. (CHEVROU, 1973) :

- la méthode des intersections avec un réseau de parallèles, dite méthode d'inventaire par carrés ;
- la méthode des intersections avec les branches d'une croix, dite méthode d'inventaire des croix ;
- la méthode de sondage des surfaces par points, dite méthode des bandes associées.

Actuellement seule cette dernière méthode est utilisée, en raison de son extrême simplicité pour l'exécution des travaux et les calculs et de son coût réduit pour une précision donnée.

a – Méthode d'inventaire par carrés :

Deux côtés opposés d'un carré et des lignes intérieures parallèles à ces côtés forment une partie limitée d'un réseau infini de parallèles équidistantes d'intervalle d . (fig. 1).

Le réseau des haies de longueur L (limité à un territoire fixé) intersecte le réseau des parallèles en k points. Lorsque les deux réseaux sont placés au hasard l'un par rapport à l'autre, k est une variable aléatoire dont la valeur moyenne, ou espérance mathématique, est :

$$E(k) = \frac{2L}{\pi d}$$

En utilisant cette formule, on forme un estimateur de L :

$$\hat{L} = \frac{\pi d}{2} k \text{ et on a bien } E(\hat{L}) = L$$

En fait l'utilisation d'une partie du réseau de parallèles, partie limitée par un carré, conduit à estimer la densité des intersections par unité de longueur de parallèle, ou la densité des haies par unité de surface.

Le territoire est couvert par un grand nombre de carrés répartis uniformément, ce qui permet d'estimer avec précision la densité des haies par unité de surface.

L'expérience montre que cette méthode permet d'estimer, avec une grande précision, les longueurs moyennes des haies par carré. Pour l'inventaire du département de la Charente-Maritime un contrôle a montré que l'estimation de 95,67 mètres était très proche de la longueur moyenne mesurée sur les photographies aériennes : 95,80 mètres par carré.

Cette méthode présente un inconvénient sérieux lorsque le réseau des haies a une orientation privilégiée

(1) Inventaire Forestier National, 1^{er}, avenue de Lowendal, 75007 PARIS.

(exemple du département des Côtes-du-Nord):

On a intérêt, pour réduire le risque de biais, à utiliser un double réseau de parallèles équidistantes, de même intervalle pour simplifier les formules. Le second réseau s'appuie sur les deux côtés du carré perpendiculaires à ceux formant le premier réseau.

On a alors :

$$E(k) = \frac{4L}{\pi d} \quad \text{et} \quad \hat{L} = \frac{\pi d}{4} k$$

b – Méthode d'inventaire des croix :

La taille du carré doit être suffisante pour qu'on puisse faire une photo-interprétation convenable. Il s'ensuit que le nombre des intersections est considérable pour des photographies d'échelle 1/15000 ou 1/25000.

On peut alors réduire la partie utilisée du réseau de parallèles ou des réseaux de parallèles, à de courts segments qui permettront d'estimer la densité des haies par unité de surface par la formule :

$$\hat{L} = \frac{\pi}{2} n$$

où n est le nombre d'intersections par unité de longueur sur les segments.

Ces segments sont disposés en croix pour réduire le biais dû à une orientation privilégiée du réseau des haies.

c – Méthode d'inventaire des bandes associées :

Bien que les haies soient des éléments linéaires, on peut se ramener au cas d'un inventaire de superficies par points, méthode principalement utilisée par l'Inventaire Forestier National en ce qui concerne les boisements et les autres usages du sol.

La méthode consiste à associer à chaque élément de haie une bande de largeur $2r$ dont l'axe est celui de l'élément de haie. La bande est formée par l'ensemble des points situés à une distance orthogonale inférieure ou égale à r de l'axe de la haie (fig. 2).

On estime la surface S de ces bandes par sondage à l'aide d'une grille de point et la longueur totale des haies est donnée par :

$$L = \frac{S}{2r}$$

Avec cette méthode on peut calculer facilement la variance de l'estimation de la même façon que pour toute estimation de surface.

II – MISE EN OEUVRE DE CES MÉTHODES

1 – Généralités

Les documents de base pour l'exécution de ces inventaires sont des photographies aériennes verticales.

Sur ces photographies, il est possible de distinguer les haies boisées des autres éléments linéaires et des surfaces qui les entourent.

L'utilisation d'une couverture photographique aérienne pose trois problèmes : celui de la densité des photographies sur le territoire, celui de l'échelle et celui du contrôle et de l'actualisation des estimations.

a – Densité des photographies :

La densité des photographies aériennes varie pour deux raisons principales : l'irrégularité du plan de vol et la constance des recouvrements entre photographies successives lorsque le territoire photographié n'est pas sensiblement horizontal (pour maintenir ce recouvrement constant, il faut en effet faire varier les distances entre les centres de photographies successives en fonction de la variation de la distance entre l'avion et le terrain photographié).

Une correction relativement simple et générale a été mise au point par le Service de l'Inventaire Forestier National (CHEVROU, 1975). Elle consiste à déterminer la densité du nombre de photographies par unité de surface en tout point du territoire.

Chaque photographie (et tous les éléments de sondage de cette photographie) est affectée d'un poids exprimant cette densité. Cette méthode a l'avantage de corriger aussi les effets de la variation de l'altitude (ou plus précisément de l'éloignement de l'avion au sol). Un autre avantage, très important, est de simplifier la photo-interprétation, la surface interprétée sur chacune des photographies étant fixée une fois pour toutes, constante, et limitée par un cadre dans lequel sont placés les éléments de sondage (points, carrés, croix) dont le nombre est le même pour toutes les photographies.

b – Échelle :

La variation d'échelle sur les photographies pose un problème pour l'inventaire des haies (mais non pour les autres inventaires par points compte tenu de ce qui est écrit au paragraphe «a» ci-dessus). En effet, l'intervalle d entre les parallèles ou la largeur de la bande $2r$ varient au sol avec l'échelle s'ils sont constants sur la grille posée sur la photographie, ou doivent varier sur la grille si l'on veut qu'ils soient constants au sol.

Le plus simple est de les garder constants sur la grille car on utilise la même grille pour toutes les photographies. Il faut alors déterminer l'échelle de la photographie sur la position du carré, de la croix ou du point d'inventaire.

Au niveau sol, les paramètres d et r varieront ce qui n'entraînera pas de biais si l'on en tient compte dans les calculs, mais augmentera la variance de l'estimation.

c – Contrôle et actualisation des estimations :

Des contrôles et des visites sur le terrain sont nécessaires pour contrôler et corriger la photo-interprétation, actualiser les estimations (les photographies sont toujours relativement anciennes ne serait-ce que pour tenir compte des délais de tirage), et estimer les volumes de bois sur pied (cubage des arbres recensables) éventuellement.

Il faut pouvoir retrouver au sol ce qui a été interprété sur la photographie. Ce sera par exemple le carré délimité par ses côtés, ou une partie de bande associée de longueur fixée à 50 mètres.

Cela conduit à travailler sur les éléments de sondage et les longueurs associées et non sur des densités de haies par unité de surface.

2 – Méthode d'inventaire par carrés :

La longueur intérieure au carré est estimée à partir des intersections. Plaçons-nous dans le cas d'un seul réseau de parallèles et supposons qu'entre les deux côtés il y ait quatre segments de parallèles (au total six segments de parallèles). (fig. 1).

Entre ces parallèles, il n'y a que cinq intervalles. Par conséquent, la longueur totale L_i des haies intérieures au carré i sera estimée, à partir du nombre k_i d'intersections avec les six parallèles, par la formule :

$$L_i = \frac{5}{6} \cdot \frac{\pi d}{2} \cdot k_i = \frac{5 \pi d}{12} \cdot k_i$$

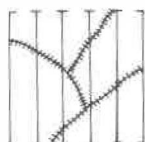


Fig. 1 : INVENTAIRE PAR CARRÉS. Réseau simple — $k = 8$

a – Estimations :

Pour chacun des carrés, on calcule la longueur totale des haies correspondantes. C'est la longueur L_i multipliée par un coefficient d'extension qui dépend de la grille (ou pourcentage de la surface de la grille couverte par les carrés) et du poids donné à la photographie. La longueur totale des haies est obtenue par sommation. L'estimation corrigée de la longueur totale des haies est obtenue par une régression : longueur mesurée au sol en fonction de k .

3 – Méthode d'inventaire des croix :

Seule la phase de photo-interprétation a été expérimentée. Il est apparu nécessaire de distinguer différentes catégories d'intersections lorsque les croix sont très petites :

- intersection de poids 1 : une haie traverse un bras de la croix.
- intersection de poids $\frac{1}{2}$: l'extrémité d'une haie touche un bras de la croix. (ou réciproquement).
- intersection de poids $\frac{1}{4}$: l'extrémité d'une haie touche l'extrémité d'un bras de la croix.

Remarquer qu'une haie traversant (ou touchant) le centre d'une croix à m branches devra être comptée m fois (ou $\frac{m}{2}$ fois).

4 – Méthode des bandes associées :

Pour que la bande associée à une haie de longueur H , telle qu'elle a été définie plus haut, ait une surface égale à $2rH$, il faut que le rayon de courbure de l'axe de la haie soit en tout point supérieur à r .

Dans l'Inventaire Forestier National, r a été pris égal à 25 mètres (ou l'équivalent sur la grille à l'échelle moyenne des photographies). Ceci réduit le nombre des cas où le rayon de courbure est inférieur à r .

De plus, le calcul montre que, si le rayon de courbure est, en un point donné, inférieur à r , la surface de la bande associée est peu différente de $2rH$ lorsque l'angle intérieur, entre les segments de haies situés de part et d'autre de ce point, est supérieur à 90° . Dans le cas contraire (angle inférieur à 90°), on coupe la haie en ce point et l'on forme deux bandes associées se chevauchant au niveau du point concerné. De plus on suppose que les axes des deux segments forment un angle en ce point (fig. 2).

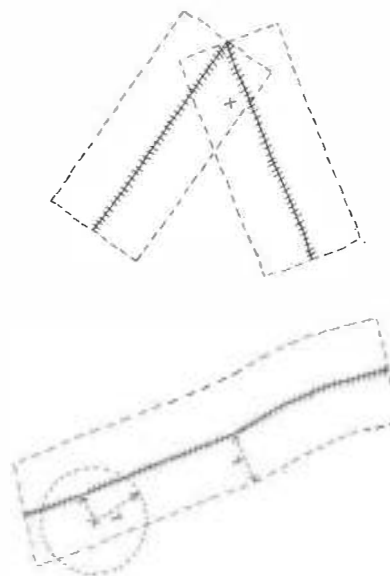


Fig. 2 : MÉTHODE DES BANDES ASSOCIÉES.

a — Matérialisation de la bande associée :

Le point d'inventaire est centre d'un cercle de rayon r matérialisé sur la grille.

Seuls les segments de haies traversant ou touchant la circonférence du cercle sont pris en considération. Seuls sont retenus ceux pour lesquels la projection orthogonale du centre du cercle sur leur axe est comprise sur le segment (entre ses deux extrémités).

Le nombre de segments retenus est le poids donné au point d'inventaire. L'expérience montre que ce poids dépasse très rarement trois. Ce poids est égal au nombre de bandes associées dans lesquelles tombe le point d'inventaire.

b — estimations et calculs :

Compte tenu du poids de la photographie (paragraphe II, 1, a), le point d'inventaire représente une surface s_i appelée surface d'extension.

Si le poids du point est p_i (le point tombe dans p_i bandes associées) et si l'échelle de la photographie en ce point est E_i , la longueur de haies représentée par ce point est :

$$L_i = \frac{s_i}{2r} p_i E_i$$

où r = rayon du cercle sur la grille.

La longueur totale est obtenue par sommation.

CONCLUSIONS

Seule la méthode d'inventaire des bandes associées semble indépendante de l'orientation du réseau des haies. De plus, elle est facile à mettre en oeuvre et à exploiter à tous les niveaux et elle est d'un coût faible par rapport aux autres.

La méthode des croix peut ne pas être affectée par une orientation privilégiée des haies dans la mesure où le nombre des branches de la croix est grand. Le biais maximum diminue quand le nombre des branches augmente dans le cas d'un réseau de haies formé de rectangles contigus.

La complexité des calculs vient de ce qu'on utilise des photographies aériennes. Elle serait moindre si l'on pouvait, à bon marché, utiliser des cartes renseignées.

Ces méthodes sont applicables à l'inventaire de tous les éléments linéaires suffisamment denses, mais la précision devient faible lorsque la longueur totale inventoriée est faible (exemple des alignements pour lesquels l'Inventaire Forestier National utilise une autre méthode).

Noter enfin que la condition sur les rayons de courbure des éléments linéaires est une limitation à l'utilisation de la méthode des bandes associées.

Un exemple des résultats obtenus est donné ci-après (annexes et tableau). Les résultats, plus ou moins détaillés, peuvent être demandés au Ministère de l'Agriculture, Service de l'Inventaire Forestier National.

ANNEXES

Nous reprendrons ici les résultats théoriques principaux obtenus par le Service de l'Inventaire Forestier

National (DELTHEIL, 1926 ; MANTEL, 1953 ; MORAN, 1966).

1 — Intersection d'un segment de droite avec un réseau simple de parallèles équidistantes :

l = longueur segment

d = distance entre deux parallèles successives

m = nombre d'intersections

La valeur moyenne de m est $E(m) = \frac{2l}{\pi d}$

Sa variance est égale à

$$V_1(m) = \frac{4l}{\pi d} \sum_{m=1}^k (\sin t_m - t_m \cos t_m) + \frac{2l}{\pi d} - \left(\frac{2l}{\pi d}\right)^2$$

$$\text{où } l = kd + a \\ t_m = \arccos\left(\frac{m d}{l}\right)$$

$$t_0 = \frac{\pi}{2} \text{ et } t_k + 1 = 0$$

2 – Intersection avec un double réseau d'angle θ et d'intervalles d et rd (avec $r \geq 1$) :

$$m = m_1 + m_2$$

$$E(m) = \frac{2}{\pi d} \left(1 + \frac{1}{r} \right)$$

$$V_2(m) = V_1(m_1) + V_1(m_2) + \left(\frac{2}{\pi d} \right)^2 \frac{1}{r} \left(\frac{\pi}{4} (\pi - 2\theta) \cos \theta + \frac{\pi}{2} \sin \theta - 2 \right)$$

3 – 2 segments liés d'angle θ et réseau simple

Les longueurs des segments sont l_1 et l_2 , et le nombre d'intersections est $m = m_1 + m_2$

$$E(m) = \frac{2(l_1 + l_2)}{\pi d}$$

$$V(m) = V_2(m) \text{ en prenant } r = \frac{l_2}{l_1} \geq 1$$

4 – Biais = écart relatif entre m et $E(m)$:

- Réseau simple : de - 48 p. 100 à + 17 p. 100
- Réseau double perpendiculaire de même intervalle de - 21,5 p. 100 à 11 p. 100
- Utilisation du biais : ce biais peut être utilisé pour déterminer la direction du réseau des haies.
- Suppression du biais : on peut orienter les réseaux de parallèles au hasard pour chaque unité de sondage.

On peut aussi augmenter le nombre de réseaux en prenant un polygone dont les côtés sont tous tangents à un même cercle inscrit de rayon R ou à la limite ce cercle. La longueur L de haies intérieures à une telle surface s'exprime en fonction du nombre m d'intersections avec le périmètre :

$$L = \frac{\pi R}{4} m$$

TABLEAU
UN EXEMPLE D'INVENTAIRE DES HAIES BOISÉES EFFECTUÉ DANS LE
DÉPARTEMENT DU CALVADOS.
Nombre d'arbres par type de forme et par essence ; volume (m^3) des taillis
(non perchés) par essence.

REGION		PAYS D'AUGE	CAMPAGNE DE CAEN	BESSIN	PRE- BOCAGE	COLLINES BOCAINES	BOCAGE VIRVOIS	DEPARTE- MENT
SURFACE (ha)		184 750	106 870	65 440	83 690	49 010	70 660	560 420
LONG. HAIES (km)		12 888	2 516	5 627	4 662	4 156	3 907	33 756
ESSENCE	Type de forme							
CHENE	N	8 787	-	64 316	33 448	36 766	68 203	211 520
	E	1 465	2 287	91 113	36 128	43 000	112 251	286 244
	T	183 063	-	54 937	17 481	18 702	34 811	308 994
	Taillis m3	6 767	412	2 895	1 936	128	3 245	15 383
HETRE	N	5 858	2 287	-	4 662	-	7 104	19 911
	E	-	-	5 360	-	-	14 208	19 568
	T	41 006	-	-	-	-	-	41 006
	Taillis m3	907	766	429	70	288	2 073	4 533
CHATAIGNER	N	-	-	-	-	-	2 368	2 368
	E	-	-	2 680	-	-	-	2 680
	T	-	-	2 680	-	-	-	2 680
	Taillis m3	-	-	2 090	-	-	24	2 114
FRENE	N	46 864	16 010	9 379	22 142	37 565	9 472	141 432
	E	-	9 148	107 192	37 294	-	15 393	169 027
	T	285 578	27 446	50 784	48 948	39 643	9 473	461 872
	Taillis m3	42 236	8 348	23 435	19 448	26 181	7 224	126 872
ORME	N	73 225	57 180	36 179	83 909	43 160	23 682	317 335
	E	2 929	52 606	182 228	30 301	6 394	26 642	301 100
	T	1 064 692	108 984	135 332	87 406	-	-	1 396 414
	Taillis m3	79 376	41 009	33 672	28 131	34 065	2 083	218 336
AUTRES ESSENCES	N	77 619	4 574	6 700	2 331	47 955	27 470	166 649
	E	-	11 436	13 400	3 496	27 175	11 840	67 347
	T	499 395	6 861	80 394	20 978	-	10 776	618 404
	Taillis m3	63 857	4 940	10 211	9 989	39 900	7 684	136 581
TOTAUX	N	212 353	80 051	116 574	146 492	165 446	138 299	859 215
	E	4 394	75 477	401 973	107 219	76 569	180 334	845 966
	T	2 073 734	143 291	324 127	174 813	58 345	55 060	2 829 370
	Taillis m3	193 143	55 475	72 732	59 574	100 562	22 333	503 819

TYPE DE FORME :
N – normale
E – émonde
T – têtard

SUMMARY

Inventory of hedges

The french National Forest Inventory service uses different methods for surveying of tree-hedges. Two of

them are an extension of the Buffon needle problem for the estimation of the length of a curve. The last one is an extension of plot sampling method for area estimation. For each of these methods, formulae are given and procedures briefly exposed.
