

## ❖ **II.2. Structure et caractéristiques des peuplements forestiers**

### ▪ **Distribution des grosseurs de peuplement**

- ✓ Décomposant un peuplement forestier en classes de diamètre (ou circonférence) d'égale amplitude chacune.
- ✓ La répartition des tiges obéit à certaines lois.
- ✓ Si on porte en abscisses les classes de diamètre (ou circonférence) et en ordonnées les nombre d'arbres par classe (c'est-à-dire les « fréquences » de la distribution étudiée). On aura deux cas selon la structure du peuplement :



## \* Les peuplements équiennes

Un peuplement équienne d'une même essence, sur station homogène, n'ayant pas encore fermé son couvert, verra ses tiges se répartir suivant la **loi de GAUSS** ou **loi normale** d'équation :

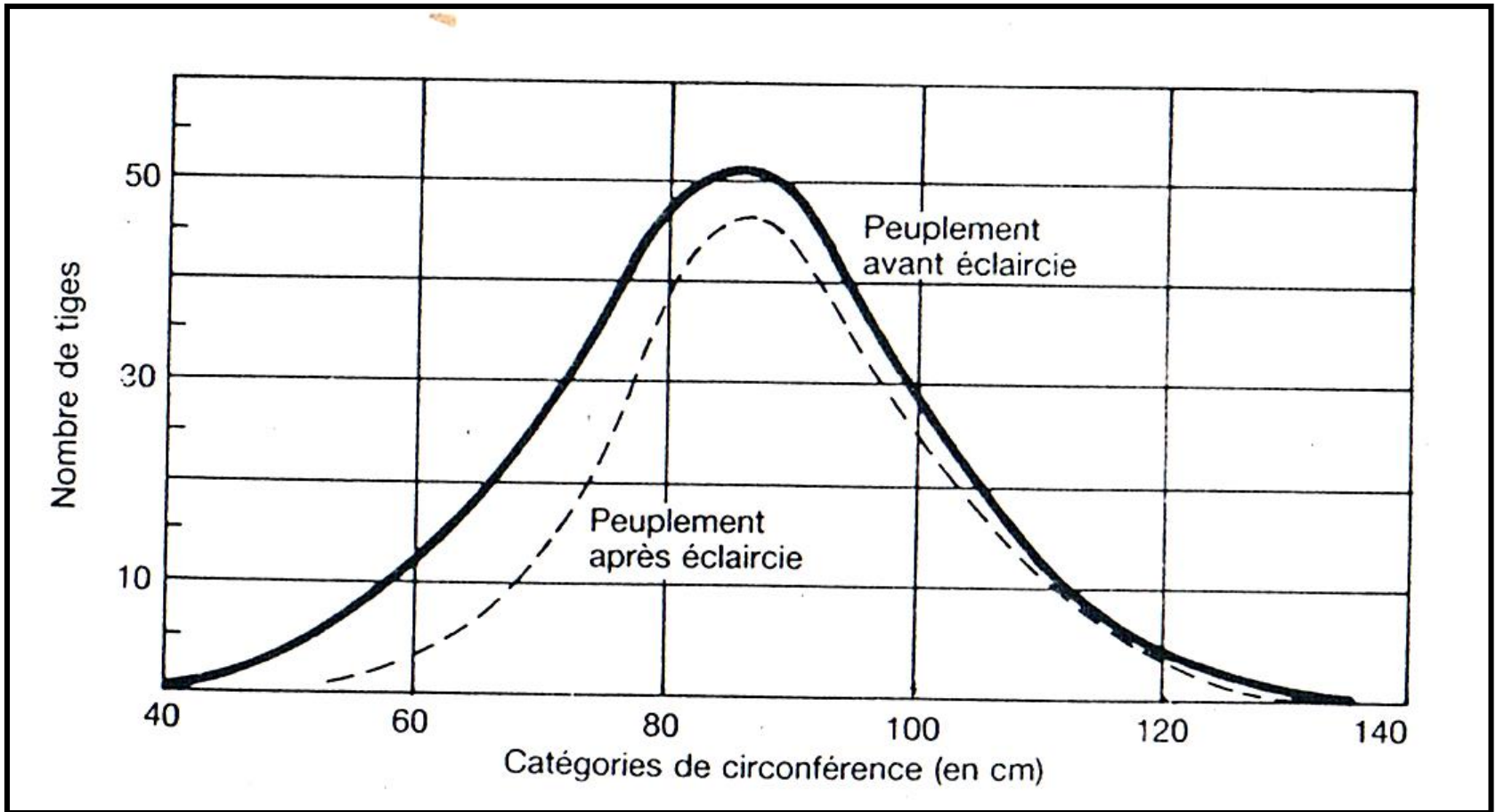
$$y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2}$$

Où :  $y$  est la fréquence ;  $\sigma$  l'écart type des observations autour de la moyenne ;  $N$  nombre total des arbres  $x$  les observations (diamètre par exemple) ;  
 $m$  la moyenne arithmétique de ces observations  $x$  ;  
 $e$  la base des logarithmes népériens ( $e = 2.72$ ).



- ❖ Les tests statistiques permettent d'apprécier **la normalité** d'une distribution.
- ❖ Les éclaircies et la mortalité naturelle ont pour effet le plus souvent de faire **disparaître la symétrie** de la distribution. Les petites catégories de diamètre voyant leurs fréquences fortement diminuer, les grosses catégories au contraire se gonflant « anormalement ».





**Figure 21 . Distribution des grosseurs de tiges du Mélèze d'Europe**



## TD N° 4 de Dendrométrie

- Dans une station expérimentale de Douglas, l'étude des fréquences par classes de circonférence a donné les résultats présentés dans le tableau suivant.

Classes de circonférence (cm)	Fréquences absolues
60	2
70	5
80	13
90	35
100	45
110	45
120	38
130	15
140	4
150	1



- ✓ 1/ Calculez les caractéristiques de position : le mode, la médiane et la moyenne arithmétique.
- ✓ 2/ Calculez les caractéristiques de dispersion : l'écart type, la variance.
- ✓ 3/ Construire un graphique en portant en abscisses les classes de circonférence (en cm) et en ordonnées les effectifs absolues.
- ✓ 4/ Présentez la répartition des observations autour de la moyenne.



## Les peuplements inéquiennes

Un peuplement inéquienne lorsqu'il est homogène et correctement jardiné présente la distribution des diamètres sous forme de courbe exponentielle d'équation :

$$y = k e^{-ax}$$

dans laquelle :  $x$  représente les diamètres à 1.30 m (en abscisses).

$y$  les nombres de tiges (en ordonnées)

$e$  la base des logarithmes népériens ( $e = 2.72$ )

$k$  et  $a$  sont des constantes qui caractérisent chaque distribution



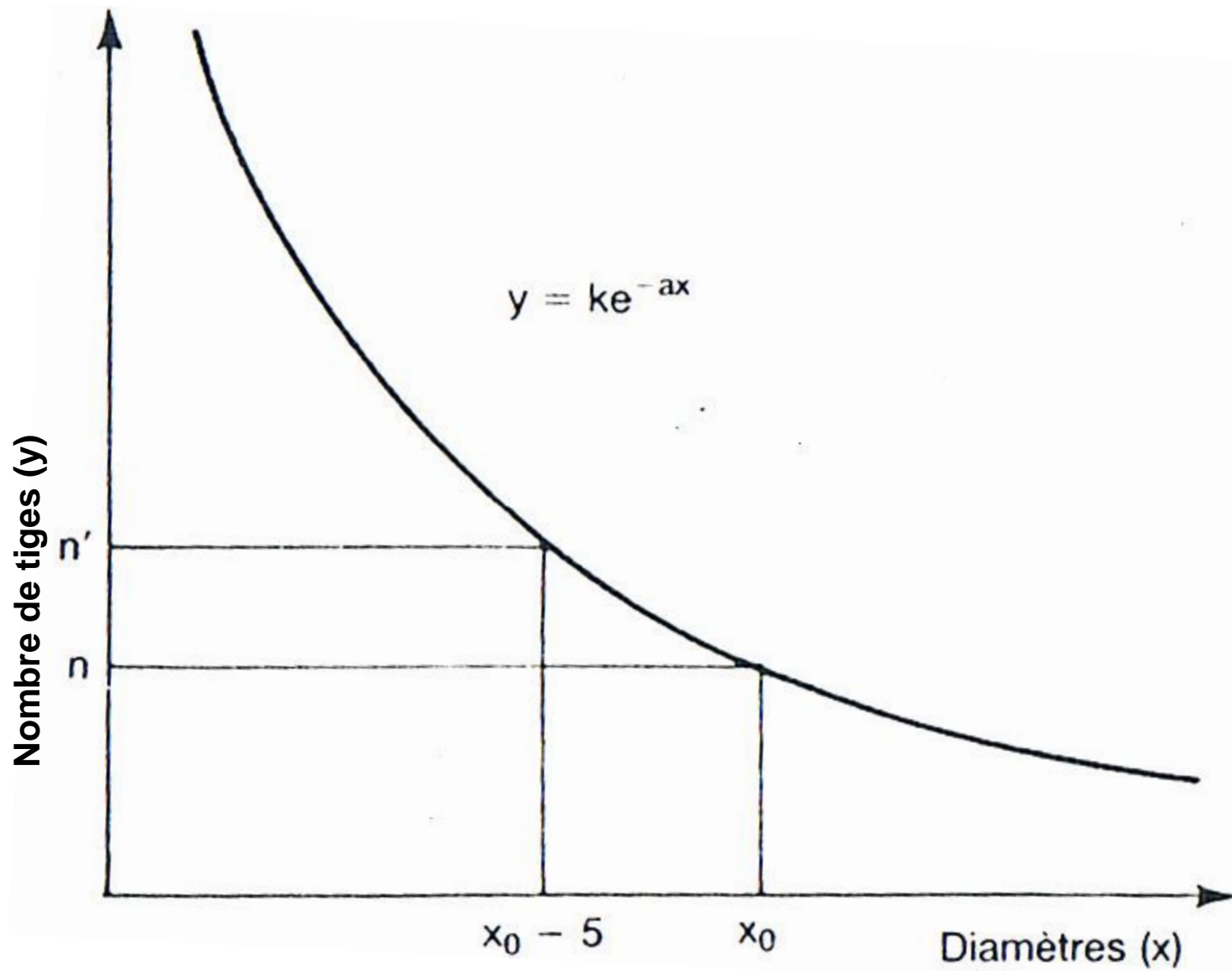


Figure 22 . Distribution des grosseurs de tiges d'un peuplement inéquienne





✓ Supposons que l'inventaire ait été fait par catégories de diamètre variant de 5 en 5 cm. On connaît donc le nombre  $n$  de tiges contenues dans une catégorie de diamètre  $x_0$  et le nombre  $n'$  de tiges contenues dans une catégorie de diamètre  $x_0 - 5$ .

✓ On peut donc écrire :  $n = k e^{-ax_0}$

✓ 
$$\frac{n'}{n} = q' = \frac{k e^{-a(x_0-5)}}{k e^{-ax_0}} = e^{5a}$$

✓  $\log q' = 5 a \log e = 5 a \times 0.4343 = a \times 2.1715$ .

✓  $k$  s'obtient ensuite en portant la valeur de  $a$  ainsi trouvée dans l'équation :  $n = k e^{-ax_0}$  où seul  $k$  reste encore inconnu.



## ▪ Les tiges moyennes des peuplements

- ❖ Il est utile de représenter un peuplement forestier par une ou plusieurs de ses caractéristiques moyennes : diamètre ou circonférence moyenne, hauteur moyenne, surface terrière à l'hectare, etc ....

### ➤ La tige de diamètre moyen arithmétique

Le diamètre moyen arithmétique  $\bar{d}$  d'un peuplement composé de **N** tiges de diamètres  $d_1, d_2, \dots, d_n$  est défini

par l'équation :  $d = \frac{\sum d_i}{N}$



- ❖ Si les tiges sont classées en catégories de diamètres :  $d_a, d_b, \dots, d_q$  comprenant chacune  $n_a, n_b, \dots, n_q$  tiges, on peut écrire :

- ✓ 
$$\bar{d} = \frac{n_a d_a + n_b d_b + \dots + n_q d_q}{n_a + n_b + \dots + n_q}$$

- ✓ 
$$\bar{d} = \frac{\sum n_i d_i}{N} \text{ (N étant le nombre total des tiges)}$$



## Exemple

Classe de diamètre (cm)	Nombre de tiges
20	1
30	2
40	5
50	14
60	26
70	7
80	2

$$d_{\text{moy}} = 20 \times 1 + 30 \times 2 + \dots + 70 \times 7 + 80 \times 2 / 57$$

$$d_{\text{moy}} = 55.96 \text{ cm}$$



## ➤ La tige de surface terrière moyenne

On appelle surface terrière d'un arbre la surface de la section transversale de cet arbre à hauteur d'homme (soit 1.30 m).

La surface terrière d'un peuplement est la somme des surfaces terrières de tous les arbres qui le composent.

Soit  $G = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^N d_i^2$  cette surface terrière; la distribution par classes de diamètres permet d'avoir  $G$  :

$$G = n_a \frac{\pi}{4} d_a^2 + n_b \frac{\pi}{4} d_b^2 + \dots + n_q \frac{\pi}{4} d_q^2 = \frac{\pi}{4} \sum n_i d_i^2$$

L'arbre de surface terrière moyenne est :  $g_m = G/N$



## TD N° 5 de Dendrométrie

**Exercice N° 1** : Un inventaire a été réalisé dans le massif forestier de Senalba Gharbi Ouest (forêt de Goutaïa) sur 5 placettes d'échantillonnage, de forme circulaire et d'une superficie de 8 ares chacune. Les mesures ont porté sur la circonférence à 1.30 m du sol (C) en cm. Les résultats relatifs à chaque placette sont portés dans les tableaux suivants :



**PI 1****PI 2****PI 3****PI 4****PI 5**

Arbre N°	C (cm)	Arbre N°	C (cm)	Arbre N°	C (cm)	Arbre N°	C (cm)	Arbre N°	C (cm)
1	85	1	150	1	140	1	92	1	130
2	120	2	102	2	160	2	108	2	132
3	102	3	141	3	117	3	173	3	120
4	150	4	135	4	60	4	155	4	117
5	180	5	103	5	81	5	105	5	100

✓ Calculer la surface terrière moyenne à l'hectare



## ▪ Les hauteurs moyennes et dominantes des peuplements

### ➤ La hauteur moyenne de LOREY

$$h_L = \frac{\sum g_i h_i}{G}$$

- ❖ Si on a un peuplement dont les arbres de la petite classe de diamètre ont une surface terrière  $g_1$ , une hauteur moyenne  $h_1$  et sont au nombre de  $n_1$ . On a de même, à la suite,  $g_2$ ,  $h_2$ ,  $n_2$ , etc.

- $$h_L = \frac{n_1 g_1 h_1 + n_2 g_2 h_2 + \dots}{n_1 g_1 + n_2 g_2 + \dots} = \frac{\sum n_i g_i h_i}{G}$$





**Exercice N° 2** : On présente le tableau suivant :

Classe de diamètre (cm)	Nombre de tiges	Hauteur moyenne (m)
20	1	19
30	2	25
40	5	26
50	14	29
60	26	33
70	7	34
80	2	35

✓ Calculer la hauteur de LOREY.

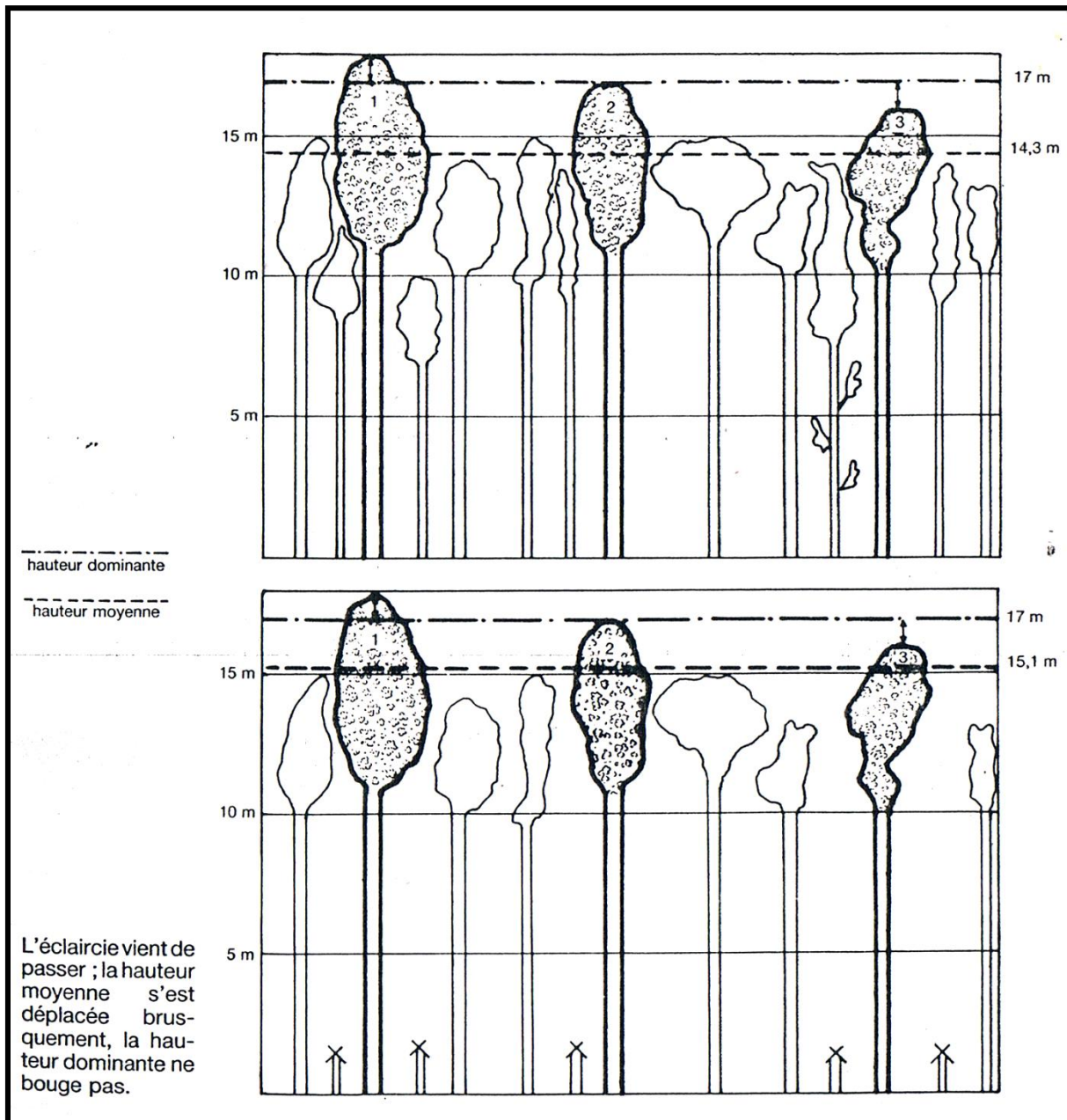


## ➤ **La hauteur dominante**

- ❖ On appelle hauteur dominante la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare.

Cette hauteur est beaucoup moins liée aux opérations sylvicoles que la hauteur moyenne puisque les éclaircies touchent fort peu aux grands arbres qui sont dans la plupart du temps aussi les plus gros et les plus beaux.





**Figure 23 . Hauteur dominante et hauteur moyenne**

### Exercice N° 3 : On présente le tableau suivant :

Nombre de tiges de chaque classe	45	45	45	45	45
Diamètre moyen de chaque classe (en cm)	15.34	19.18	22.44	25.83	32.19
Hauteur moyenne de chaque classe (m)	19.0	20.8	22.5	23.6	25.7

- ✓ Calculez la hauteur dominante.



# CHAPITRE III : LES INVENTAIRES FORESTIERS

- ❖ Inventorier un peuplement forestier permet de le **quantifier**, de définir un **état initial du capital sur pied**. Le suivre dans le temps permet par la suite de mieux connaître **son évolution**. Ce suivi peut être effectué dans deux optiques :
  - Dans une optique d'**aménagement**, permettant de donner des directives de gestion et planifier les récoltes.
  - Dans une optique **sylvicole**, permettant de raisonner une sylviculture dans le temps.



### ▪ 3.1. L'inventaire pied par pied

- ✓ Ce type d'inventaire consiste en un **dénombrement exhaustif** des tiges par essence et par classe de diamètre.
- ✓ L'équipe se compose d'un chef d'équipe qui pointe et d'agents qui appellent. Le meilleur groupe de travail est composé d'un **pointeur** et trois **compteurs**.
- ❖ Si on est dans le cas de la mesure des grosseurs à hauteur d'homme. On a selon le cas :



- ✓ En taillis-sous-futaie, une équipe de trois compteurs et un pointeur peut inventorier en terrain plat 15 à 20 ha par jour en 7 heures de travail effectif. La cadence diminue en cas de relief accidenté.
- ✓ En futaie, cas de loin le plus fréquent, il sera difficile même dans les meilleures conditions, d'arriver aux 15 ha journalières. On admettra, suivant les cas, 12 à 14 ha en peuplement de densité moyenne et en terrain plat.
- ❖ En montagne, il est classique de parler de 1 ha à l'heure pour l'équipe soit 7 à 10 ha dans la journée.



- ❖ Soit : **S** la surface totale de forêt à inventorier,
  - s** la surface que parcourrait, dans les conditions locales de relief, **en une heure** un ouvrier compteur s'il allait d'arbre en arbre sans avoir aucune mesure à faire,
  - N** le nombre d'arbres total à compter,
  - n** le nombre d'arbres que l'ouvrier compteur mesurerait **à l'heure** si ces arbres étaient groupés sans qu'il y ait lieu de se déplacer,
  - T** le temps mis, en heures, pour réaliser l'inventaire en question par cet ouvrier travaillant seul avec un pointeur.





$$T = \frac{S}{s} + \frac{N}{n}$$

Exemple : Soit une forêt de montagne, en parcours difficile à inventorier.

$S = 55$  ha ;  $s = 1.10$  ha à l'heure ;  $N = 27000$  arbres ;

$n = 300$  arbres (5 arbres par minute).

On a :  $T = \frac{55}{1.1} + \frac{27000}{300} = 50 \text{ h} + 90 \text{ h} = 140 \text{ h}.$

Si l'équipe de travail comprends trois ouvriers, il lui faudra œuvrer pendant  $\frac{140}{3} = 47$  heures de travail effectif soit à peu près de chose 6 journées de travail de 8 heures



- ❖ Il convient que chacun dans l'équipe soit muni d'une « **griffe forestière** » qui permet de **rainer l'écorce** des arbres. Un **trait de griffe horizontal** toujours **du même côté**, à hauteur convenable sur chaque tige, précisera que l'arbre a déjà été mesuré et **évitera ainsi les doubles appels**.
- ❖ Des méthodes de **pointage** variées permettent d'inscrire les tiges sur les **calepins d'inventaire** ou de **martelage**. Les points et les brins se combinent de différentes façons.



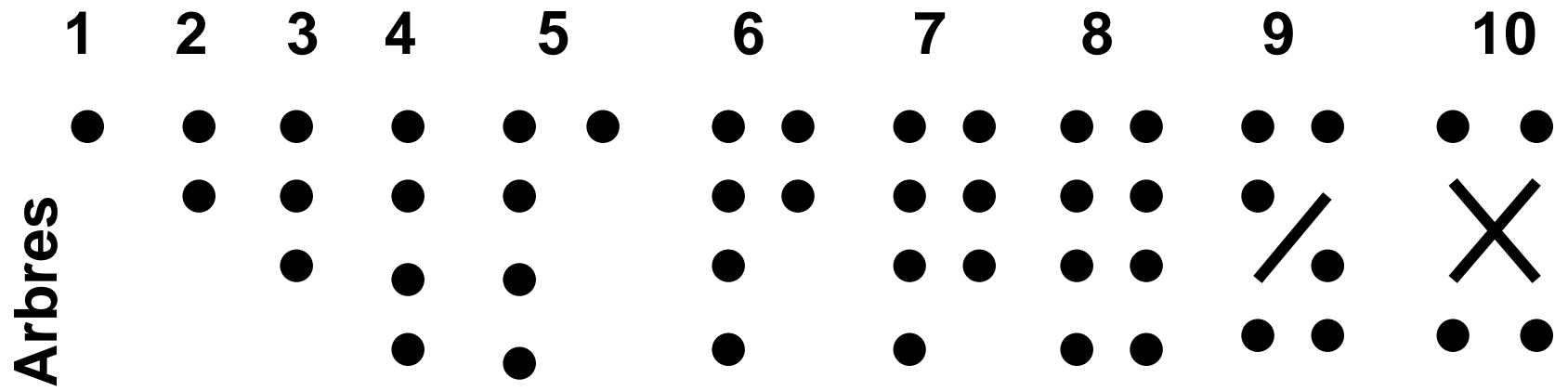
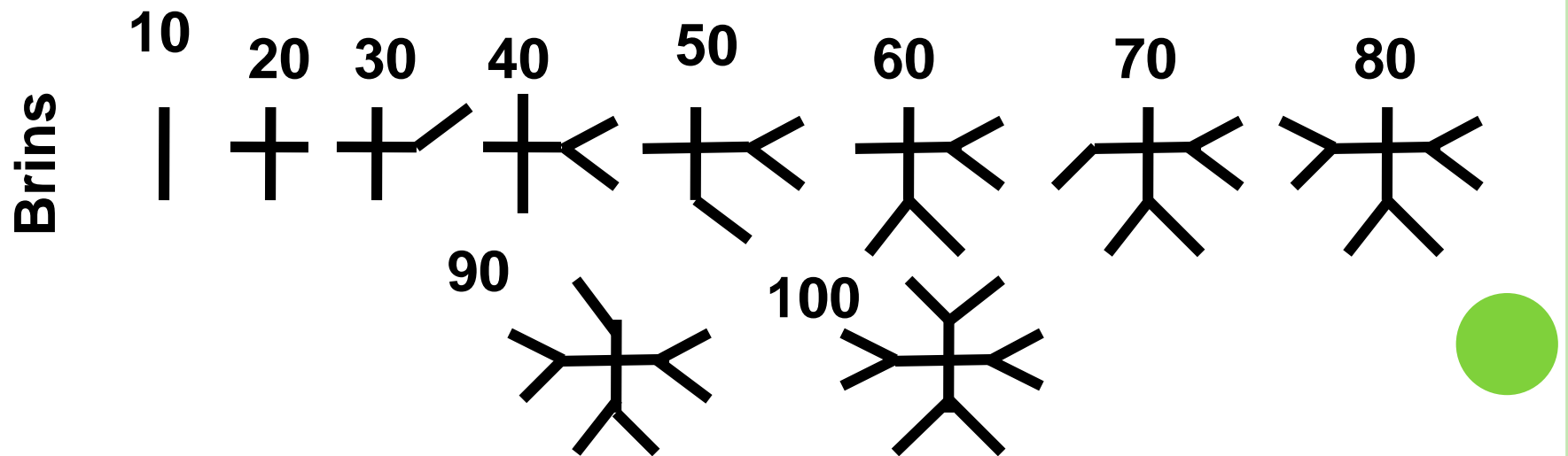


Figure 24. Pointage d'un inventaire



## ▪ La précision des inventaires pied par pied

❖ On distingue :

✓ Les erreurs dues aux **instruments**.

✓ Les erreurs de **mesure**.

✓ **Oublis, répétitions**.

❖ On estime que 95 % des résultats en surface terrière de tels inventaires sont situés dans un intervalle (**-15 %**, **+10 %**) de la vraie valeur.

❖ Cet intervalle **augmente** si la surface des parcelles **dépasse 20 ha**.



## ▪ 3.2. Les inventaire par échantillonnage

- ✓ La méthode classique d'inventaire pied par pied des peuplements forestiers est longue, fastidieuse et coûte fort cher.
- ✓ Les **inventaires par échantillonnage** apportent une solution satisfaisante à ce problème.
- ✓ Un forêt constitue en effet une « **population** » au sens statistique du terme dont on peut envisager l'inventaire par échantillonnage à l'aide de placettes représentant un pourcentage plus ou moins faible de la surface totale.



## ▪ Principe de la méthode

- ✓ Choisissons un certain nombre de « **placettes échantillons** » dans la forêt à inventorier.
- ✓ On prend par exemple une placette de **5 ares par hectare**.
- ✓ Supposons qu'il s'agisse de connaître le volume moyen ou le volume total du peuplement.
- ✓ Dans chacune des  $N$  placettes d'échantillonnage inventoriées, nous trouvons un volume, qui rapporté à l'hectare s'appellera  $x_i$ .



❖ Une estimation du volume à l'hectare du peuplement sera

donc : 
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

❖ On peut calculer :

- La variance des observations : 
$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

- L'écart-type des observations : 
$$\sigma = \sqrt{s^2}$$

- Le coefficient de variation : 
$$c.v. = \frac{S \times 100}{\bar{x}}$$

- L'écart-type relatif de la moyenne : 
$$s_x / \bar{x} = \frac{c.v.}{\sqrt{N}}$$

- e l'intervalle de confiance au seuil de 5 % : 
$$\pm t s_x / \bar{x}$$

❖ Le seuil de confiance de 5 % signifie que le volume exact a une probabilité de 95 % d'être compris entre les deux limites de l'intervalle, et une probabilité de 5 % d'être extérieur à cet intervalle.

## TD N° 6 de Dendrométrie

- ❖ On a réalisé un inventaire par échantillonnage dans un peuplement régulier (haut perchis de Chêne de 80 ans).
- ❖ On a installé une placette de sondage de 5 ares par hectare de peuplement. Le nombre de placettes est de 40 réparties au hasard. Le calcul sur les volumes bois fort (en  $m^3/ha$ ) a donné les résultats suivants :





N° placette	Volume/ha	N° placette	Volume/ha	N° placette	Volume/ha
1	243 m <sup>3</sup>	14	341	27	334
2	302	15	279	28	174
3	319	16	198	29	160
4	280	17	179	30	253
5	271	18	216	31	236
6	289	19	262	32	249
7	294	20	268	33	176
8	179	21	260	34	139
9	335	22	168	35	252
10	268	23	144	36	183
11	114	24	205	37	201
12	251	25	121	38	285
13	278	26	187	39	290
/	/	/	/	40	270

Calculez :

1/ Le taux d'échantillonnage.

2/ Le volume total.

3/ Le volume moyen.

4/ L'écart-type.

5/ La variance.

6/Le coefficient de variation.

6/ L'écart-type relatif de la moyenne  $s_x/\bar{x}$ .

7/ L'intervalle de confiance au seuil de 5 % :  $\pm t s_x/\bar{x}$

(t lu dans la table de STUDENT pour  $40 - 1 = 39$  degrés de liberté : 2.03).



## ▪ **Choix du type d'échantillonnage**

- ❖ Soit une parcelle de 15 ha. Nous la décomposant en 150 carrés de 10 ares chacun. Chaque carré représentant une **unité** possible d'**échantillonnage** de 10 ares.
- ✓ Si nous prenons 8 % comme taux d'échantillonnage, nous devons « choisir » :  $150 \times 8 / 100 = 12$  carrés à inventorier.
- ✓ Nous pouvons les choisir de **3 manières différentes** :



- **Échantillonnage strictement au hasard**

- ❖ Numérotions de 1 à 150 les carrés en cause. Inscrivons ces numéros chacun sur un bout de papier que nous plierons, mettons ces 150 papiers pliés tous identiques dans un chapeau, mélangeons et tirons-en 12 au « **hasard** » : les 12 numéros inscrits sur ces papiers détermineront la position des 12 carrés de 10 ares qui constitueront notre échantillon.
- ❖ Dans la pratique, il existe des « tables de nombres au hasard » qui permettent d'effectuer un « tirage au sort » d'une façon plus pratique.



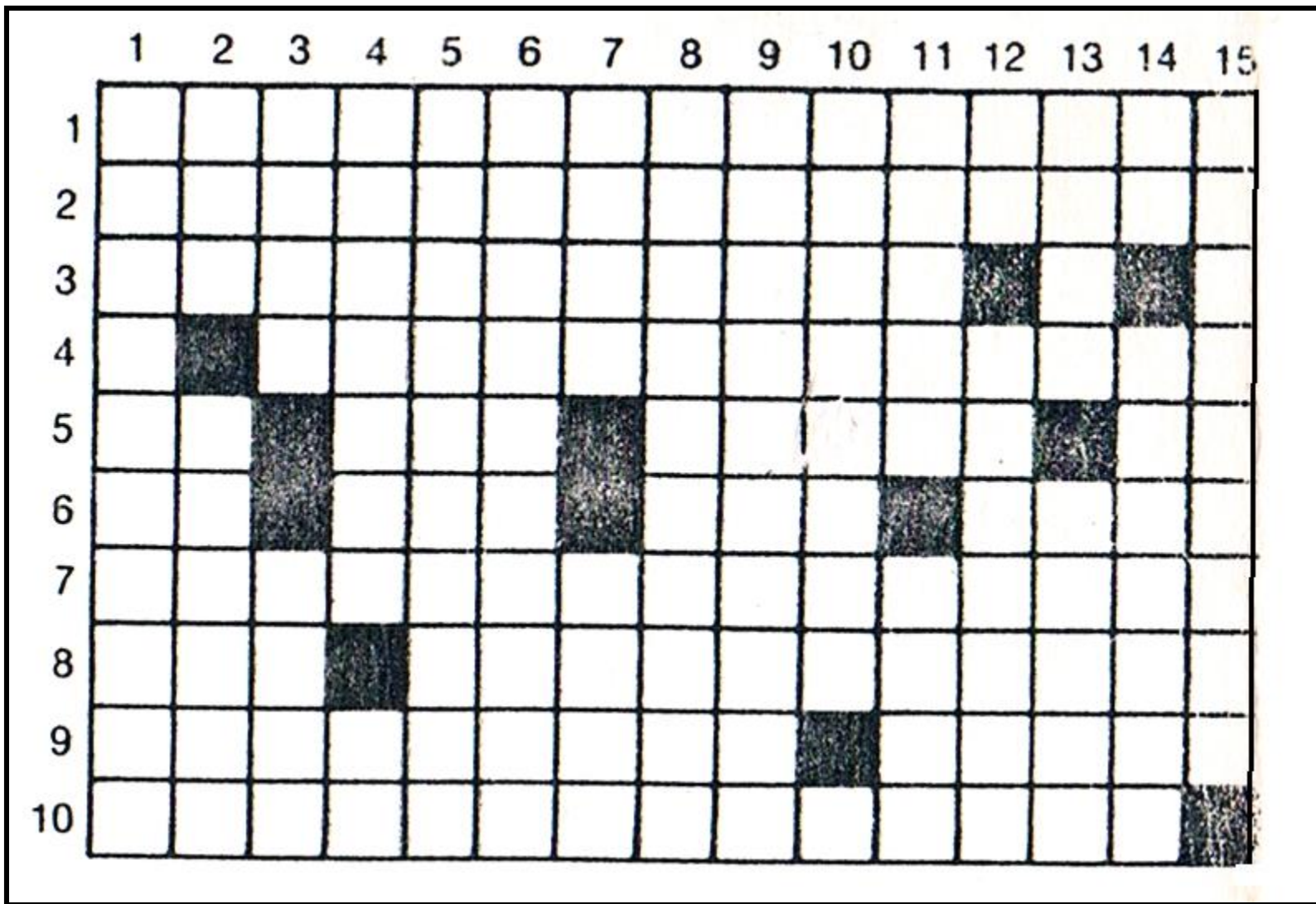


Figure 25 : Échantillonnage strictement au hasard



## ➤ **Avantages de l'échantillonnage au hasard**

- ✓ C'est le seul inventaire pour lequel le calcul de « **l'erreur à craindre** » est **valable**.
- ✓ Il est facile de **modifier le taux d'échantillonnage** en cours d'exécution.

## ➤ **Inconvénients**

- ✓ Ce type d'échantillonnage est aussi bien compliqué à **matérialiser sur carte** qu'à **réaliser sur terrain** lorsque le taux d'échantillonnage est relativement élevé.
- ✓ Il laisse des **trous** dans les peuplements à inventorier.



## • Échantillonnage stratifié

- ❖ Supposons que la forêt ne soit pas homogène, qu'il existe des « **strates** » de composition différentes les unes des autres : là une jeune futaie dense de Chêne, plus loin un massif résineux, plus loin encore une futaie de Chêne âgée et clairière, etc...
- ❖ Nous partageons la forêt en **blocs**, six dans le cas de la figure, un par « **type de forêt** » que pour simplifier nous avons supposés égaux et nous imposerons de prendre dans chacun un certain nombre de carrés (2 dans notre exemple) qui seront choisis au **hasard**.



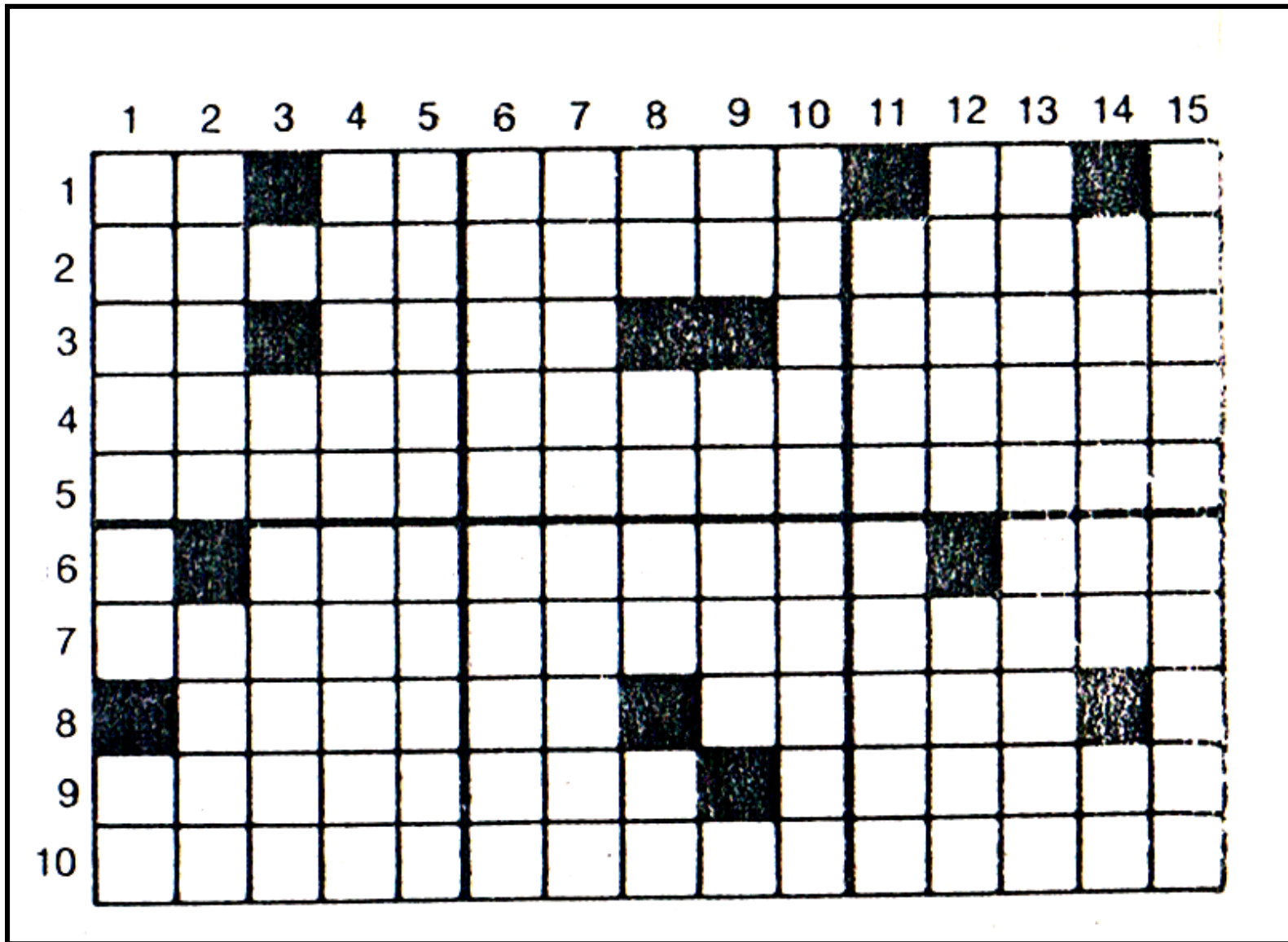


Figure 26 : Échantillonnage stratifié





## ➤ **Avantages de l'échantillonnage stratifié**

- ✓ Il tient compte au mieux de la **variabilité des peuplements**.
- ✓ Il permet de **varier le taux d'échantillonnage** en fonction des **coefficients de variation** de chaque strate.

## ➤ **Inconvénients**

- ✓ Le calcul de l'erreur à craindre est plus compliqué et nécessite l'emploi d'une « **analyse de la variance** » qui permet la décomposition de la variance totale ( **variation entre strates** et **dans les strates** ).



## • **Échantillonnage systématique**

- ❖ La forêt étant ou non décomposée en strates, les placettes d'échantillonnage seront choisies toujours automatiquement de la même façon. Par exemple espacées à intervalles constants sur des lignes parallèles également équidistantes.
- ✓ **Exemple** : la forêt sera parcourue suivant des lignes parallèles distantes de 100 m les unes des autres. Sur chaque ligne, l'équipe d'inventaire installe une placette tous les 100 m (échantillonnage systématique à raison d'une placette par hectare).



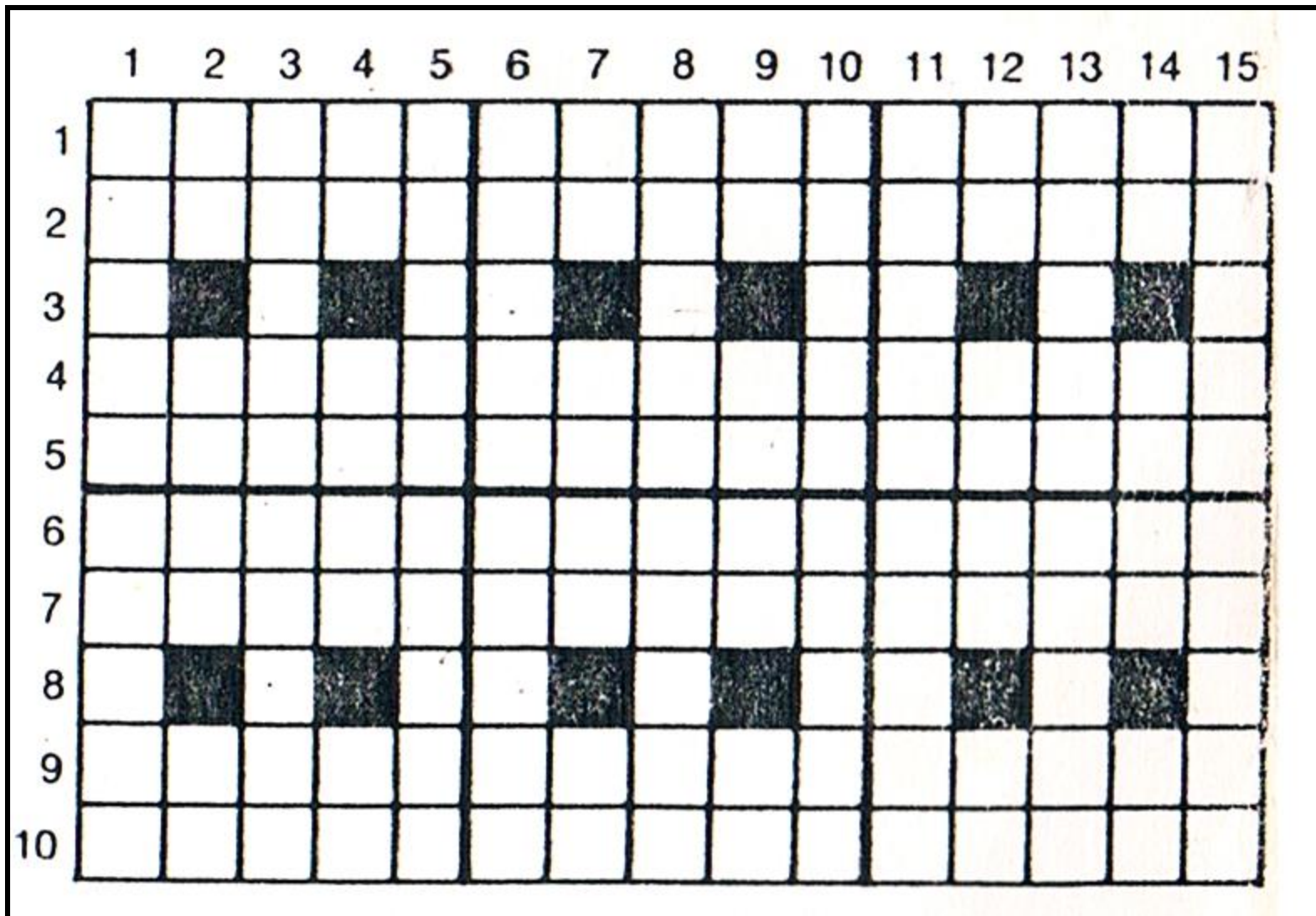
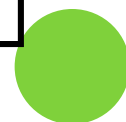


Figure 27: Échantillonnage systématique



## ➤ **Avantages de l'inventaire systématique**

- ✓ Très facile à matérialiser sur carte aussi bien qu'à réaliser sur terrain.
- ✓ Il régularise la densité de répartition des placettes d'échantillonnage.

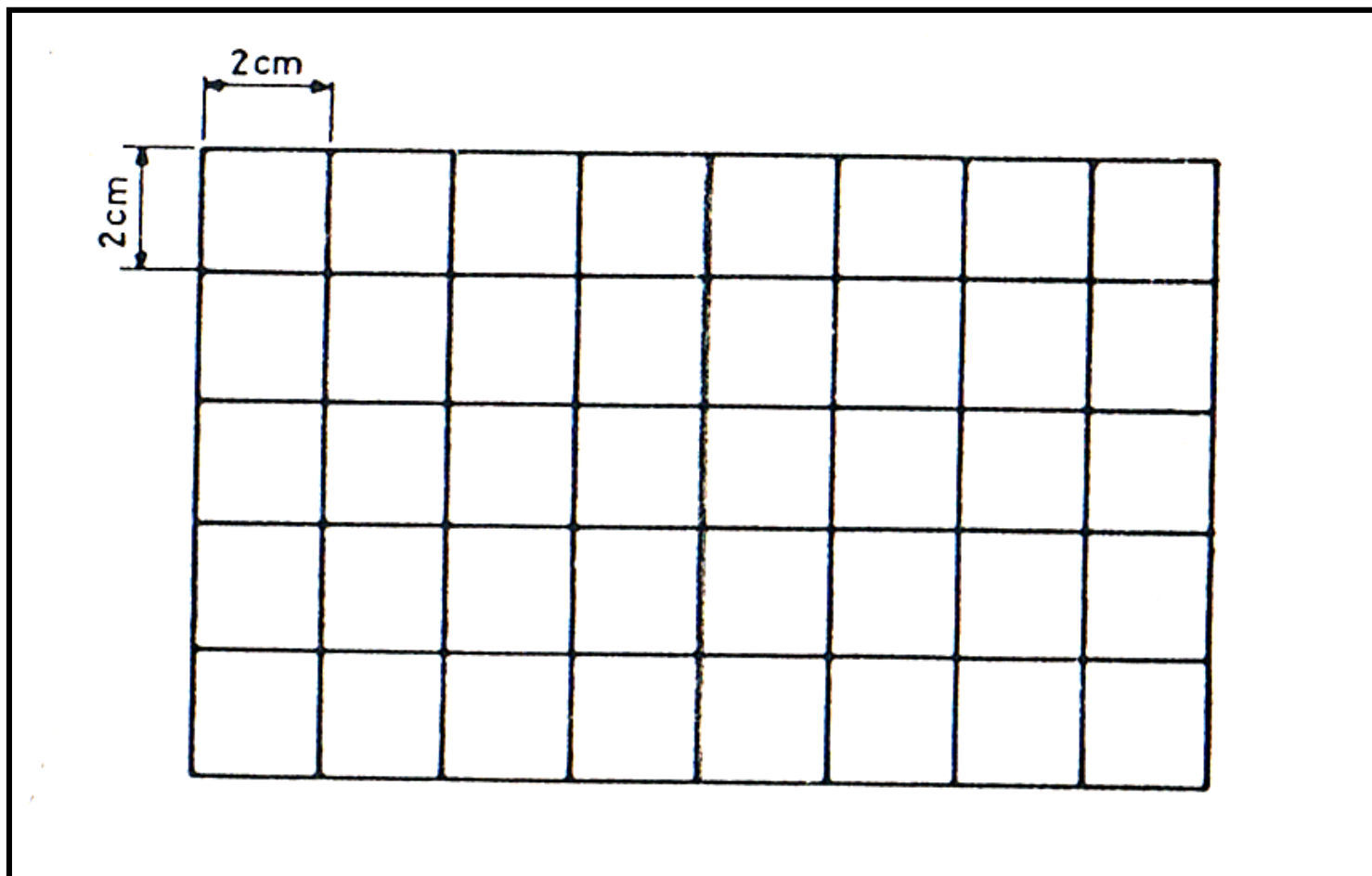
## ➤ **Inconvénients**

- ✓ Il est difficile de modifier le taux d'échantillonnage en cours d'exécution.
- ✓ Le calcul d'erreurs présente quelques difficultés.
- \* C'est le type d'échantillonnage qui est **recommandé** dans la plupart des cas.



- **Réalisation d'un inventaire par échantillonnage**
- **Mise sur plan des points de sondage**
- ✓ Le plan de forêt le plus convenable est un plan au **1/5.000** ou **1/10.000**.
- ✓ On dessine un réseau maillé rectangulaire à l'échelle voulue.
- ✓ Exemple : pour une placette par hectare au 1/5.000, un réseau à mailles carrées de 2 cm de côté.
- ✓ L'opérateur choisit ensuite une direction de progression en évitant que cette direction ne soit parallèle à un accident majeur de la forêt.





**Figure 28: Réseau à mailles carrées. Une placette d'échantillonnage par hectare au 1/5.000**



## ➤ Comment déterminer à l'avance le taux d'échantillonnage?

- ✓ Soit  $e$  l'erreur à craindre qui est jugée acceptable au seuil de signification de 5%,
- ✓ Soit  $C_v$  le coefficient de variation,
- ✓  $n$  le nombre de placettes d'échantillonnage,
- ✓  $t$  ( quand  $n$  est supérieur à 30,  $t$  peut être égal à 2).
- ✓ On a en valeur absolue :  $e = t \frac{C_v}{\sqrt{n}}$  d'où  $n = \left( \frac{C_v t}{e} \right)^2$
- ✓ Si, avant de réaliser le travail d'inventaire prévu, on fait un petit « **inventaire partiel** » pour estimer  $C_v$ .



- ❖ **Exemple** : inventaire d'un taillis-sous-futaie de 170.47 ha. Dans une première journée de travail, on a réalisé 28 points de sondage, 1 par ha à titre d'essai. Et on a pu calculer le coefficient de variation correspondant, soit 38 %.
- ✓ Pour 27 degrés de liberté, on trouve une valeur de  $t$  égale à 2.05 (on peut prendre tout simplement 2).
- ✓ On désire par exemple réaliser de la surface totale 170.47 ha un inventaire donnant une erreur à craindre de l'ordre de 6 %.





✓ Quel nombre  $n$  de placettes d'échantillonnage permet d'obtenir cette approximation?

✓  $n = \left(\frac{Cv t}{e}\right)^2 = \left(\frac{38 \times 2}{6}\right)^2 = 160.$

❖ Si l'on avait voulu obtenir une erreur à craindre de 5 % seulement, alors  $n$  sera égal à **231**.

❖ Pour obtenir une erreur **deux fois plus petite**, il faut **multiplier par 4** le nombre de placettes d'échantillonnage.



## ▪ **Protocole des mesures à effectuer sur le terrain**

- ❖ Il est nécessaire que la personne qui commande les opérations d'inventaire précise exactement les opérations à effectuer. Les indications à fournir aux responsables d'équipes sont :
- ✓ **Plan d'échantillonnage** (disposition spatiale des placettes, coordonnées des placettes, superficie et forme des placettes).
- ✓ **Technique d'installation des placettes.**
- ✓ **Mesures à faire** : diamètre, circonférence, hauteur, etc.
- ✓ **Observations diverses** : phytoécologique, pédologique, sylvicole, sanitaire, etc.



## ▪ Recherche sur le terrain des points de sondage

- ❖ Le travail de l'équipe d'inventaire se décompose sur le terrain de deux tâches très différentes :
  - Le recherche des points de sondage.
  - Les mesure dans les placettes.
- ❖ Il faudra trouver **le point de départ** en utilisant une boussole à main et une corde (en général de 50 m de longueur et de couleur vive, de 100 m en terrain facile).
- ❖ Chaque centre de placette d'échantillonnage peut être matérialisé sur le terrain par l'implantation d'un fort piquet muni d'une plaque d'aluminium portant son numéro.



## ▪ **Forme des placettes**

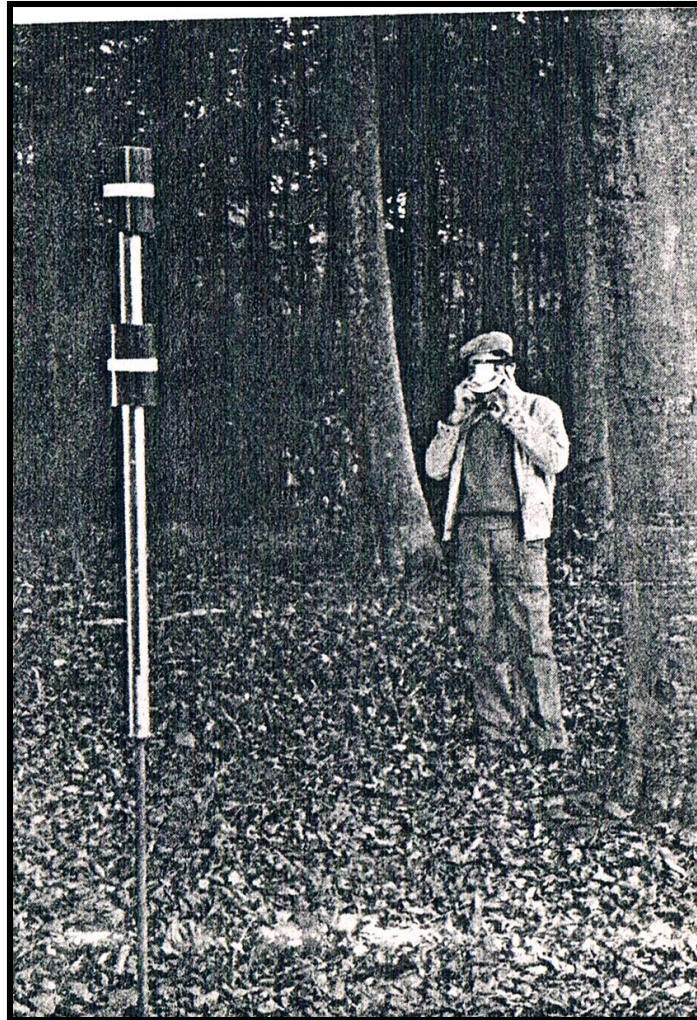
- ❖ La forme circulaire a des avantages qui doivent l'imposer :
- ✓ Cette forme ne comporte pas de direction privilégiée, elle est donc particulièrement bien objective.
- ✓ Les arbres limites (ceux qui sont à cheval sur la ligne délimitative de la placette) posent un problème désagréable. On a donc intérêt à en réduire le nombre, donc à prendre, à surface égale, la forme géométrique qui a le plus court périmètre : c'est précisément le cercle.



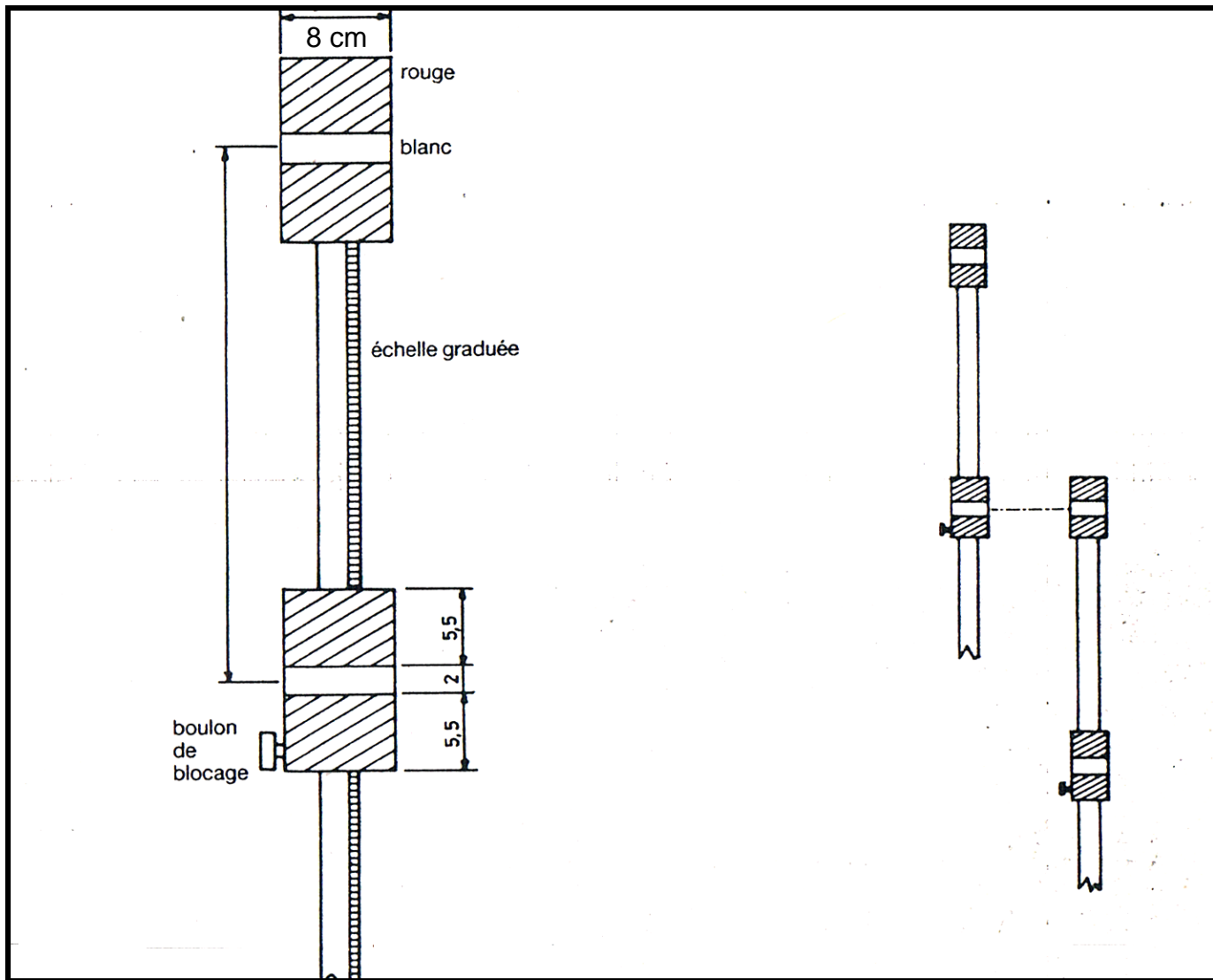
## ▪ **Assiette sur le terrain d'une placette circulaire**

- ❖ Le centre étant connu, différentes méthodes de travail sont ensuite possibles.
- ❖ Utiliser un ruban gradué dont une extrémité est fixée à un jalon planté au centre de la placette. Cette méthode est peu pratique dans les jeunes peuplements ou si le bois est dense, car elle oblige l'opérateur qui assied la placette à revenir au centre à chaque obstacle.
- ❖ Procéder optiquement par l'utilisation du dendromètre BLUME-LEISS en utilisant le viseur dioptrique.





**Photo : Assiette optique, à l'aide du dendromètre BLUME-LEISS et la mire cylindrique coulissante, d'une placette d'échantillonnage circulaire**



**Figure 29 : Mire de PARDÉ. Elle mesure 1.10 m. Elle se fixe sur un pied de 1.20 cm.**



**Tableau** de correspondance entre surface d'une placette, son rayon et la distance entre les voyants de la mire correspondants

Surface du cercle (en ares)	2	2.5	4	5	10
Rayon correspondant (en m)	7.98	8.92	11.28	12.62	17.84
Distance entre les voyants de la mire (en cm)	23.82	26.67	33.73	37.73	53.40





- ❖ **Cas embarrassants** lors de l'assiette d'une placette d'échantillonnage :
- **Cas des arbres limites** : Il arrive de temps en temps que la trace du cercle périmétral recoupe la section horizontale à hauteur d'homme du tronc d'arbre.
- ✓ Si plus de la moitié du tronc est située à l'intérieur du cercle de sondage, l'arbre est compté.
- ✓ Il demeure en dehors de l'inventaire dans le cas contraire.
- ✓ On décidera, par exemple, de conserver les arbres-limites qui sont dans la moitié droite et rejeter ceux qui sont dans la moitié gauche.



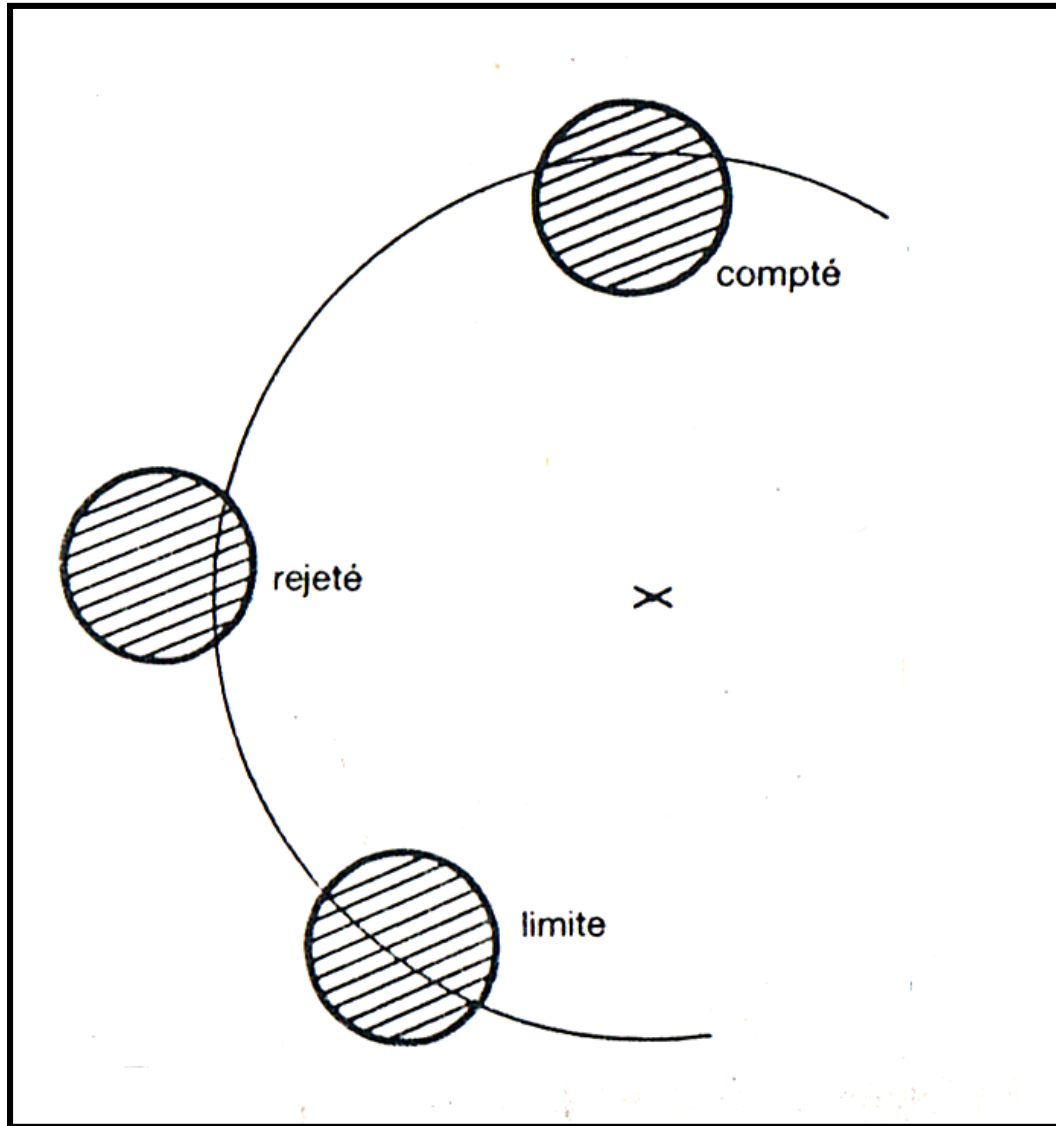
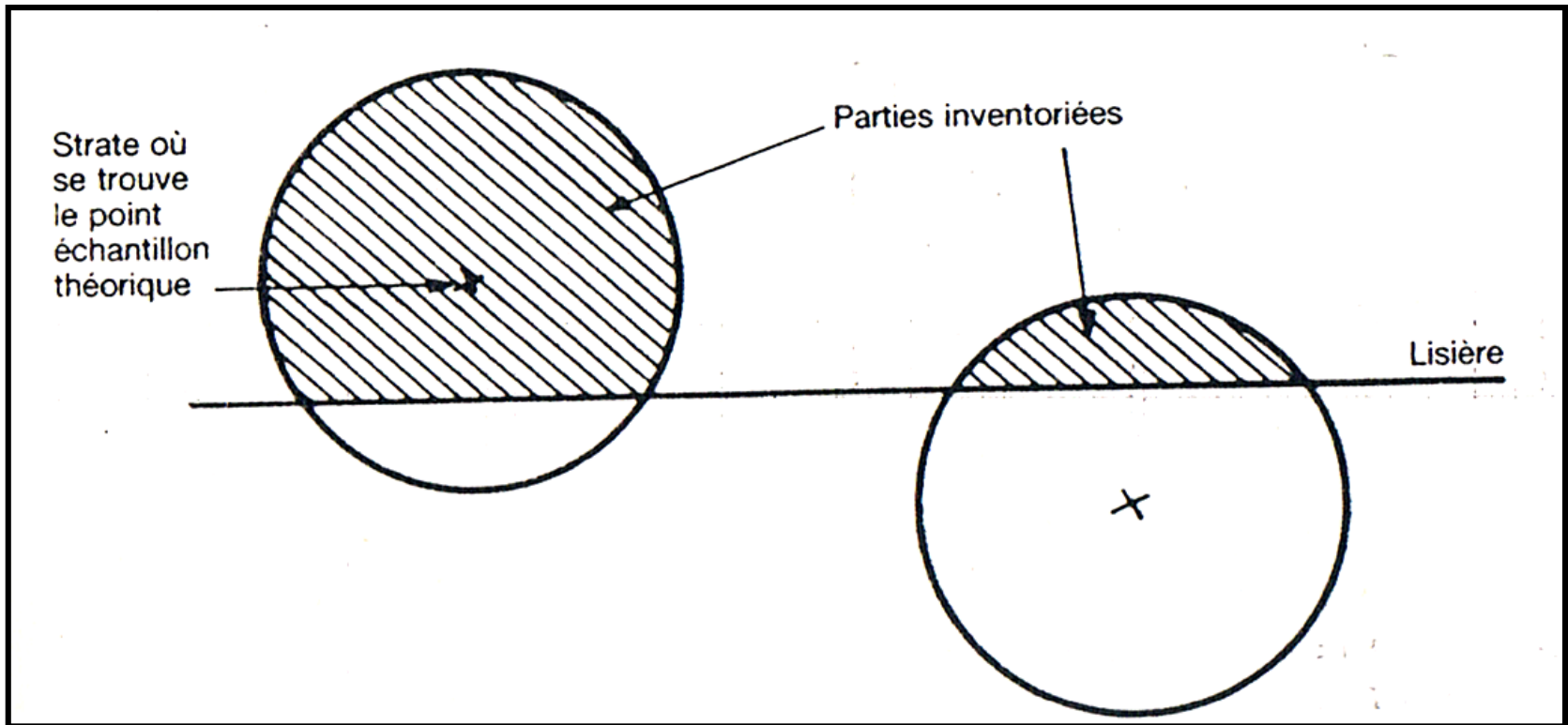


Figure 30. Arbres limites



- **Cas des placettes incomplètes** : Quand une partie de la placette tombe en dehors de la limite de la forêt, dans une piste, un autre type de peuplement, une autre strate, .....
- ❖ Dans ce cas, on n'inventorie que la partie intérieure à la strate, dans un deuxième temps, on installe une « **placette miroir** » et on inventorie la lunule intérieure à la strate.





**Figure 31. Placettes miroirs pour l'inventaire des lisières**



## ▪ **Le pourcentage d'échantillonnage**

- ❖ Ce pourcentage dépend de l'erreur à craindre qu'on estime pouvoir accepter.
- ✓ **Forêts de valeur exceptionnelle** : L'erreur admissible à craindre au seuil de probabilité de 95 % est  $\pm 5$  % au plus.
- ✓ **Forêts classiques** :  $\pm 7$  %.
- ✓ **Peuplements de valeur médiocre** :  $\pm 10$  %.
- ✓ **Estimations rapides** :  $\pm 15$  %.



# CHAPITRE IV: ACCROISSEMENT ET PRODUCTION DES ARBRES ET DES PEUPLEMENTS FORESTIERS

## ▪ 4.1. Quelques définitions

- ❖ On peut parler d'accroissements en diamètres, en surfaces terrières, hauteurs, volumes et ces accroissements peuvent intéresser soit des arbres isolés soit des peuplements.
- ❖ On peut tout d'abord parler de **production totale** à l'hectare depuis l'origine d'un peuplement jusqu'à un âge donné.



- ❖ Exemple : Si un peuplement d'Épicéa cube à l'hectare, sur pied, 550 m<sup>3</sup> à 80 ans, et que, depuis sa plantation, 250 m<sup>3</sup> ont disparu en éclaircie, ou arbres morts, sa production totale de l'origine à 80 ans est :

$$PT = 550 + 250 = 800 \text{ m}^3.$$

- On a l'habitude de traduire cette production totale PT en accroissement moyen annuel par hectare :

$$AM (\hat{\text{Age}}) = \frac{PT}{\hat{\text{Age}}}$$

- Dans l'exemple donné, l'accroissement moyen annuel de la plantation à 80 ans est donc :  $AM (80) = \frac{800}{80} = 10$  m<sup>3</sup>/Ha/an.

✓ On définit également l'accroissement courant AC par la dérivée :  $AC(\hat{\text{Age}}) = \frac{dPT}{d(\hat{\text{Age}})}$

✓ Qu'on peut approcher :  $AC(\hat{\text{Age}}) \approx \frac{\Delta(PT)}{\Delta(\hat{\text{Age}})}$

✓ Où le plus souvent  $\Delta(\hat{\text{Age}}) = 1$  an ; on parle alors d'accroissement courant annuel.

✓ Supposons que la même plantation d'Épicéa ait cubé 400 m<sup>3</sup> à 60 ans, et qu'on retrouve à 65 ans 470 m<sup>3</sup> sur pied sans qu'il ait eu d'éclaircie entre-temps.

✓ Nous dirons que son accroissement courant annuel de 60 à 65 ans a été de :  $\frac{470 - 400}{5} = 14 \text{ m}^3 / \text{Ha}/\text{an}$ .





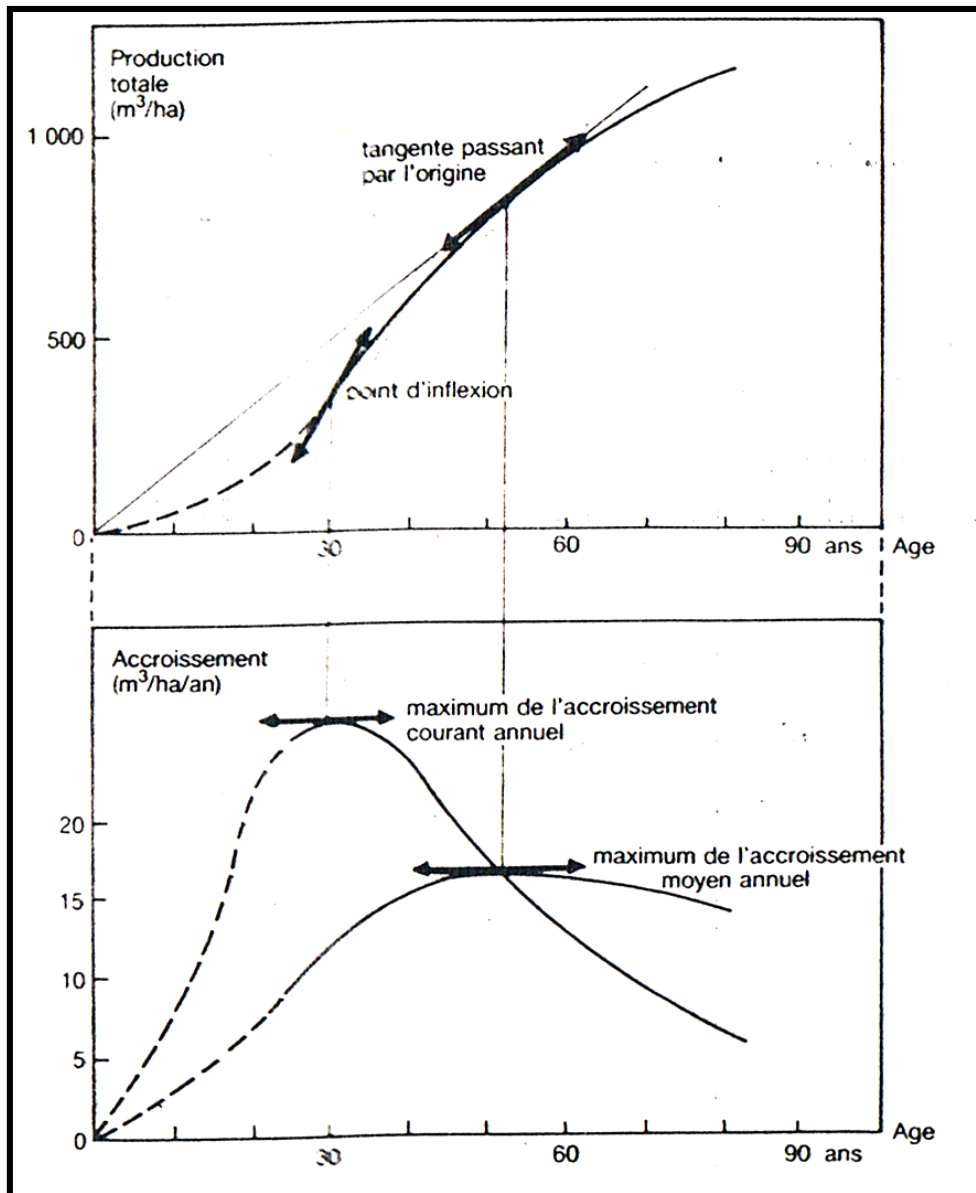


Figure 32. Production et accroissement en volume



## ▪ 4.2. Les tables de production

- ❖ Ce sont des **tableaux** (ou des **graphiques**) qui condensent en données chiffrées l'**évolution probable** dans le temps des peuplements équiennes, classés **par essence** et par degrés de **fertilité des sols** qui les portent.
- ✓ Les données sont calculées **par hectare** et séparées par des intervalles de temps de **5** ou de **10 ans** le plus souvent.
- ✓ On peut lire à tel ou tel âge : **le nombre de tiges, la surface terrière, le diamètre moyen, le volume, les accroissements**, etc.



- ✓ Les valeurs moyennes présentées dans les tables de production reposent sur **les données récoltées en forêt** dans des **placettes expérimentales** : plus ces placettes seront **nombreuses, bien choisies et bien étudiées, meilleures sont les tables.**
- ✓ Une table de production a un **caractère régional**. Chaque région étant définie par des **caractéristiques climatiques et stationnelles homogènes**. Plus on s'éloigne, plus la table devra être utilisée avec **circonspection.**



# Ex. Table de production pour le Douglas (DECOURT, 1966)

Age	PEUPLEMENT PRINCIPAL								ECLAIRCIES						Production totale	Accroissement courant	Accroissement moyen
	Hauteur dominante	Hauteur moyenne	Nombre de tiges	Circonférence moyenne	Circonférence dominante	Volume arbre moyen	Surface terrière	Volume	Nombre de tiges	Circonférence moyenne	Volume arbre moyen	Volume	Volumes cumulés	Buronnage enlevé en éclaircie			
A (ans)	H <sub>O</sub> (m)	H <sub>G</sub> (m)	N	C <sub>G</sub> (cm)	C <sub>O</sub> (cm)	V <sub>G</sub> (dcm <sup>3</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	n	C <sub>G</sub> (cm)	V <sub>m</sub> (dcm <sup>3</sup> )	v (m <sup>3</sup> )	Σ v (m <sup>3</sup> )	Σ v / Σ I (%)	Σ I (m <sup>3</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /an)	Σ m (m <sup>3</sup> /an)
<b>CLASSE I</b>																	
15	14,0	12,0	2 100	40	60	77	26,7	162	-	-	-	-	-	-	162	27,6	10,8
20	17,9	15,8	1 590	52	75	164	34,2	260	510	38	84	43	43	14,2	303	30,0	15,2
25	21,7	19,6	1 170	65	91	307	39,3	359	420	46	143	60	103	22,3	462	32,4	18,5
30	25,2	23,1	860	78	106	505	41,6	434	310	55	290	90	193	30,8	627	30,7	20,9
35	28,5	26,3	640	92	120	788	43,1	504	220	65	327	72	265	34,5	769	27,7	22,0
40	31,4	29,1	514	105	134	1 093	45,1	562	126	72	611	77	342	37,8	904	25,9	22,6
45	34,1	31,6	440	116	146	1 414	47,1	622	74	78	865	64	406	39,5	1 028	22,6	22,8
50	36,3	33,6	386	126	157	1 715	48,8	662	54	86	1 148	62	468	41,4	1 130	17,9	22,6
55	38,0	35,1	350	133	166	1 980	49,3	693	36	92	1 278	46	514	42,6	1 207	13,8	22,0
60	39,5	36,3	326	139	173	2 206	50,1	719	24	97	1 458	35	549	43,3	1 268	11,1	21,1
65	40,8	37,3	307	145	181	2 410	51,4	740	19	101	1 526	29	578	43,9	1 318	8,9	20,3
<b>CLASSE II</b>																	
19	15,0	12,0	2 100	40	63	77	26,7	162	-	-	-	-	-	-	162	-	8,5
25	19,0	16,6	1 490	55	81	189	35,9	281	610	40	89	54	54	16,1	335	28,4	13,4
30	22,4	19,9	1 140	66	95	322	39,5	367	350	66	154	54	108	22,7	475	27,8	15,8
35	25,5	23,0	865	78	109	504	41,9	436	275	54	251	69	177	28,9	613	26,6	17,5
40	28,4	25,7	684	90	122	719	44,1	492	181	63	398	72	249	33,6	741	24,2	18,5
45	30,9	28,1	558	100	133	967	44,4	540	126	70	524	66	315	36,9	855	20,3	19,0
50	33,0	29,9	490	108	143	1 186	45,5	581	68	74	706	48	363	38,5	944	15,8	18,9
55	34,6	31,3	448	115	152	1 373	47,1	615	42	78	833	35	398	39,3	1 013	12,0	18,4
60	35,9	32,3	420	119	158	1 517	47,3	637	28	80	1 036	29	427	40,1	1 064	8,4	17,7
<b>CLASSE III</b>																	
23	14,8	12,0	2 100	40	65	77	26,7	162	-	-	-	-	-	-	162	-	7,0
25	16,3	13,6	1 870	45	71	109	30,1	204	230	34	61	14	14	6,4	218	26,4	8,7
30	19,5	16,8	1 465	55	84	195	35,3	286	405	40	104	42	56	16,4	342	24,8	11,4
35	22,6	19,7	1 160	65	97	311	39,0	361	305	46	161	49	105	22,5	466	24,4	13,3
40	25,4	22,4	920	75	109	460	41,2	423	240	53	242	58	163	27,8	586	22,3	14,7
45	27,8	24,6	752	85	121	624	43,2	469	168	59	339	57	220	31,9	689	17,8	15,3
50	29,6	26,2	646	92	129	777	43,5	502	106	64	396	42	262	34,3	764	13,8	15,3
55	31,2	27,5	586	97	136	901	43,9	528	60	68	617	37	299	36,2	827	10,2	15,0
60	32,3	28,3	549	101	143	991	44,6	544	37	70	622	23	322	37,2	866	6,6	14,4

- ❖ Cette table de production, prise comme exemple, est articulée en **3 classes de fertilité**. La première correspondant aux meilleures stations (donc aux accroissements les plus forts), la troisième aux stations de qualité inférieure.
- ❖ Le nombre de classes de fertilité retenues pour chaque auteur est **variable** et dépend des **conditions stationnelles des placettes d'échantillonnage**. C'est donc **la variabilité de croissance de l'espèce** dans une région donnée qui définit **le nombre de classes de fertilité**.



### ▪ 4.3. Les comparaisons d'inventaires

- ❖ C'est une méthode exacte d'emploi généralisé dans le monde entier et d'origine française.
- ✓ **Principe de la méthode** : Soit un peuplement qui a été inventorié et cubé à l'automne 2000, caractérisé par un volume initial sur pied  $V_i$  pour  $N_i$  arbres. Il est de nouveau inventorié et cubé en fin de période (automne 2010) d'où un volume final  $V_F$  pour  $N_F$  arbres. Entre les deux inventaires, les coupes, chablis, mortalité naturelle, etc... ont motivé l'exploitation de  $N_E$  arbres qui ont pu également être cubés : soit  $V_E \text{ m}^3$ .



- ❖ La production totale du peuplement en cause, pour les 10 années écoulées de 2000 à 2010, est :

$$P = V_F + V_E - V_I$$

- ✓ Et par an  $\frac{P}{10}$  m<sup>3</sup> pour la surface S du peuplement, donc par hectare et par an  $\frac{P}{10 \times S}$  m<sup>3</sup>.



## ▪ **Passage à la futaie**

- ✓ La plupart du temps, les nombres d'arbres  $N_F + N_E$  d'une part, et  $N_I$  d'autre par, **ne sont pas égaux**. On a au contraire :  $N_F + N_E - N_I = n$  tiges.
- ✓ Chaque inventaire prend en compte les arbres à partir d'une **dimension inférieure limite**, qui est bien souvent, pour les inventaires au diamètre, **de 17.5 cm** (arbres de la **catégorie 20**).
- ✓ Entre 2000 et 2010, des arbres non précomptés au départ, parce que leur diamètre était inférieur à 17.5 cm, ont **franchi ce seuil** et ont donc pour la première fois, été pris en compte en 2010 : on appelle « **passage à la futaie** » ce phénomène.





- ❖ Le passage à la futaie est **variable selon l'âge** des peuplements :  
Très élevé dans les perchis, très faible dans les vieilles futaies.

- **Exemple :**

- ✓ Inventaire initial 1000 arbres cubant  $1000 \text{ m}^3$ .
- ✓ Inventaire final 950 arbres cubant  $1100 \text{ m}^3$ .
- ✓ Coupes et chablis intermédiaires : 150 arbres cubant  $100 \text{ m}^3$ .
- ✓ Production d'inventaire à inventaire =  $1100 + 100 - 1000 = 200 \text{ m}^3$ .
- ✓ Passage à la futaie :  $950 + 150 - 1000 = 100$  tiges.
- ✓ Si ces 100 tiges, au tarif et pour la catégorie de diamètre inférieur, cubent  $20 \text{ m}^3$ . l'accroissement du matériel initial n'est que de  $200 \text{ m}^3 - 20 \text{ m}^3 = 180 \text{ m}^3$ .



## ▪ Calcul d'erreur

$V_1$  le volume initial

$V_2$  la somme volume final + coupes, chablis etc..  
intermédiaires

±  $e_1$  l'erreur absolue sur  $V_1$ , au seuil de 5 %.

±  $e_2$  l'erreur absolue sur  $V_2$ .

±  $e_3$  l'erreur absolue sur l'accroissement ( $V_2 - V_1$ ) :

$$\pm e_3 = \pm \sqrt{e_1^2 + e_2^2}$$



## ❖ Exemple

Le volume initial :  $V_1 = 500 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

$e_1 = \pm 25 \text{ m}^3/\text{ha}$ , soit  $\pm 5 \%$ .

Le volume final au bout d'une période de 20 ans :

$V_2 = 900 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

$e_2 = \pm 45 \text{ m}^3/\text{ha}$ , soit  $\pm 5 \%$ .

L'accroissement annuel sera de  $(900 - 500)/20 = 20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ .


L'erreur sur l'accroissement global sera :

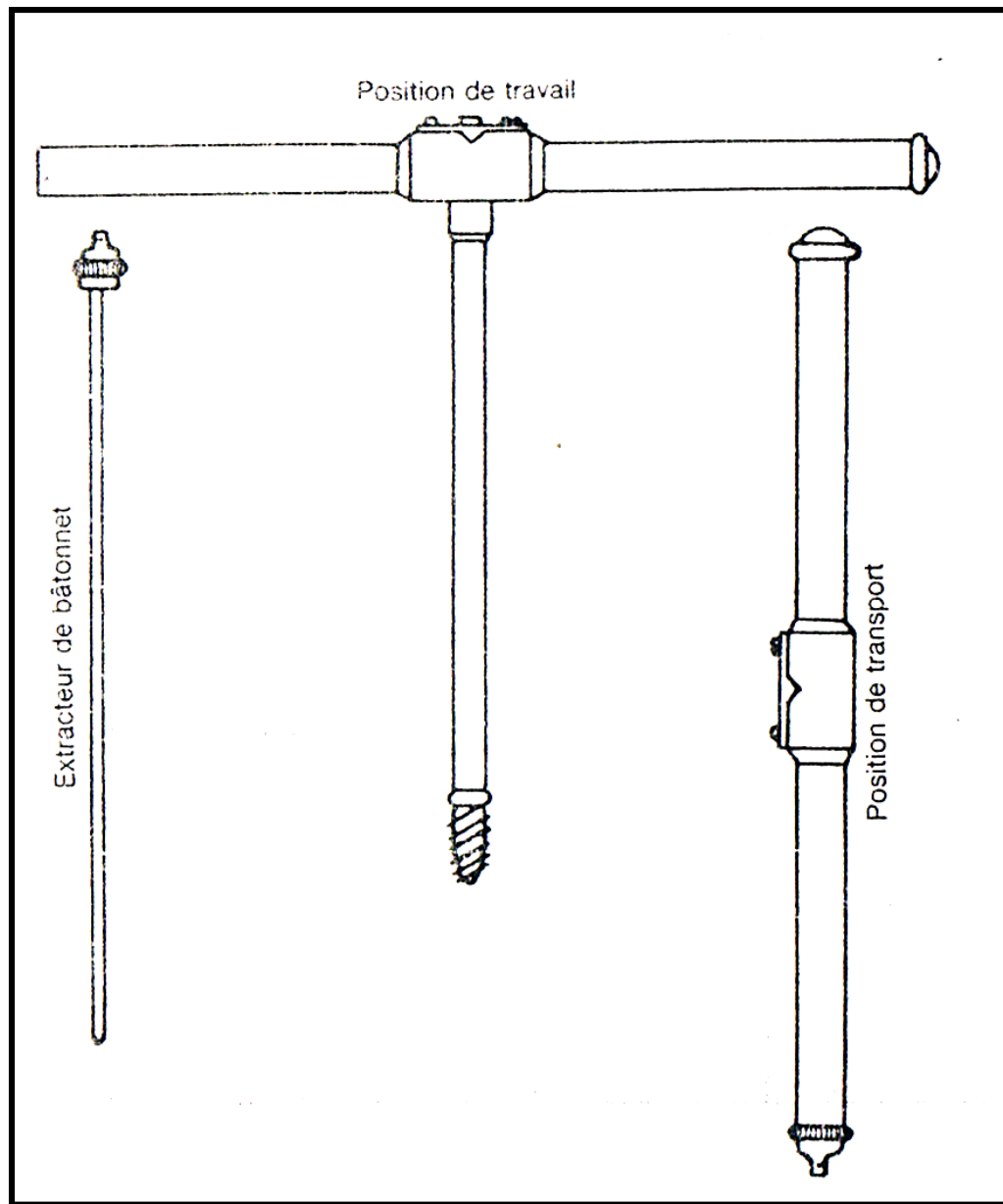
$$\pm e_3 = \pm \sqrt{25^2 + 45^2} = \pm 51 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Soit une erreur relative de  $\frac{\pm 51}{900 - 500} \times 100 = 13 \%$ .



#### ▪ 4.4. Les sondage à la tarière

- ✓ La **tarière de PRESSLER** permet de prélever, à hauteur d'homme par exemple, un **petit cylindre** de bois d'axe perpendiculaire à l'axe de l'arbre sondé, sur lequel on peut **compter** et **mesurer les cernes** d'accroissement annuel.
  - ✓ Les arbres à sonder doivent être **suffisamment nombreux, convenablement répartis** par **type de forêt**, par **essence**, par **catégories de diamètre** ou **circonférence**, et **choisis** aussi **objectivement** que possible.
- 



Tarière de PRESSLER





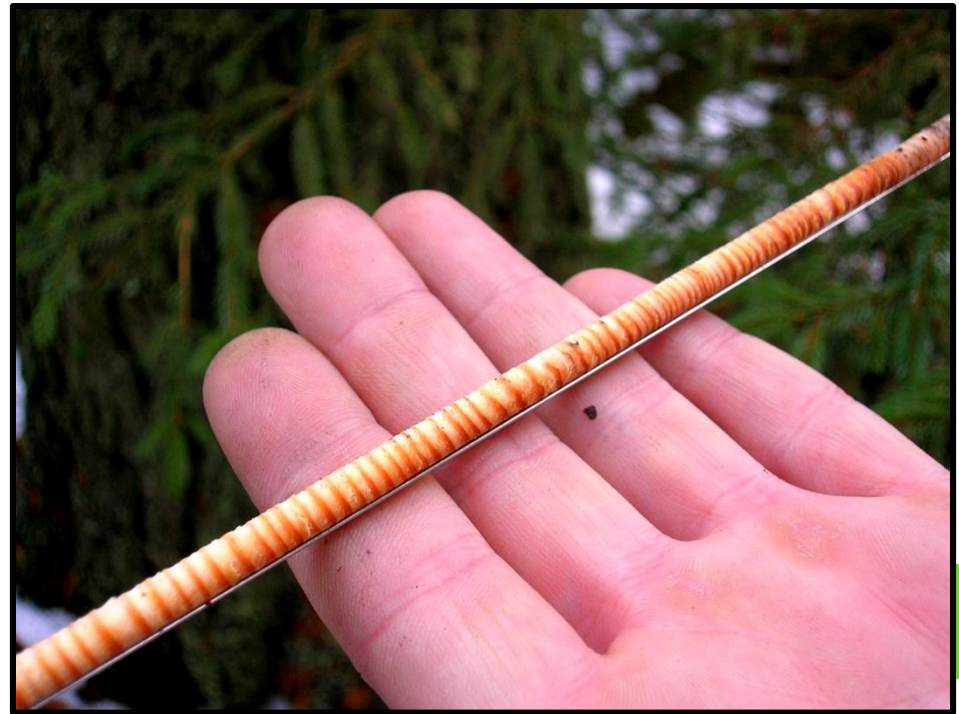
**Différents diamètres de tarières**



**Sondage d'un pin à la tarière**



**Extraction d'une carotte de sondage**



**Carotte de sondage extraite d'un arbre**

- ✓ Les sondages à la tarière sont **nuisibles aux arbres** qui les subissent, et tout particulièrement au **Hêtre**.
- ✓ Il est conseillé de faire les sondages **pendant l'arrêt de la végétation**.
- ✓ De **reboucher les trous** avec des **chevilles de bois** ayant été **trempées** pendant **une semaine** dans un **produit antiseptique** aux sels de mercure, de les **couper au ras de l'écorce** et de **colmater** avec du **mastic à greffer**.





- ❖ Les **bâtonnets** (ou **carottes**) de **sondage**, dûment protégés et repérés, sont ramenés au bureau, où des procédés modernes de lecture sont maintenant applicables.
- ❖ Pour rendre les limites des cernes annuels plus visibles, on peut tout d'abord **humecter 24 heures avant mensuration** les carottes de sondage avec un liquide (**eau, huile** ou **colorant dilué**), **planer** une de leurs faces, à l'aide d'un **microtome**.
- ❖ Lorsque les carottes se comptent par milliers, on peut utiliser les **machine à mesurer les accroissements annuels**.





**Ponceuse**



**Grains de ponçage**



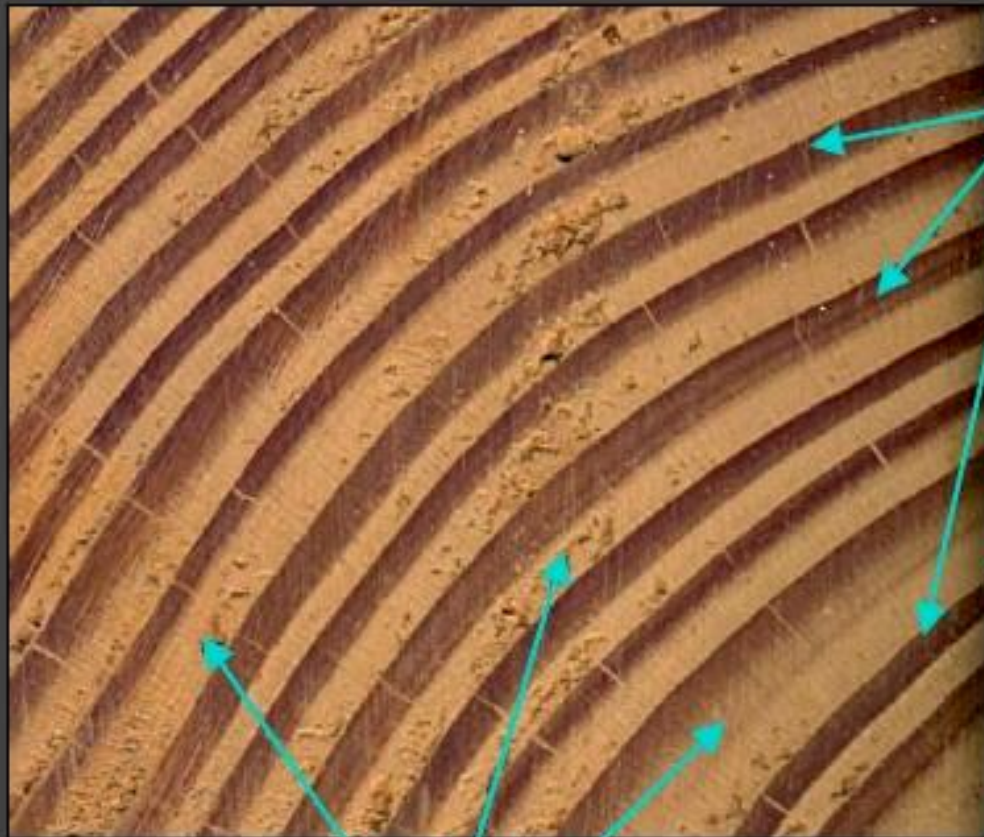
**Cernes d'accroissement d'une rondelle de bois**



**Carottes poncées**



écorce



bois final

1 année de croissance

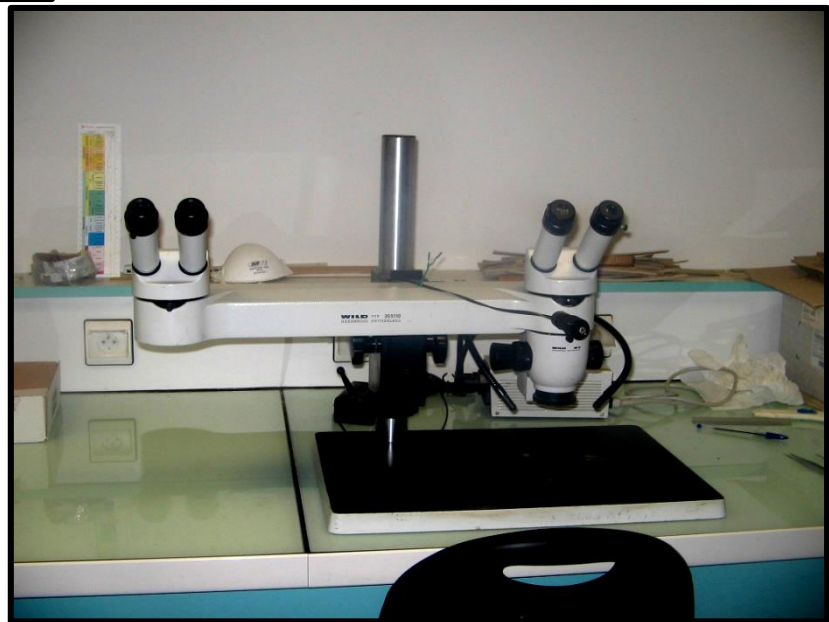
moelle

bois initial

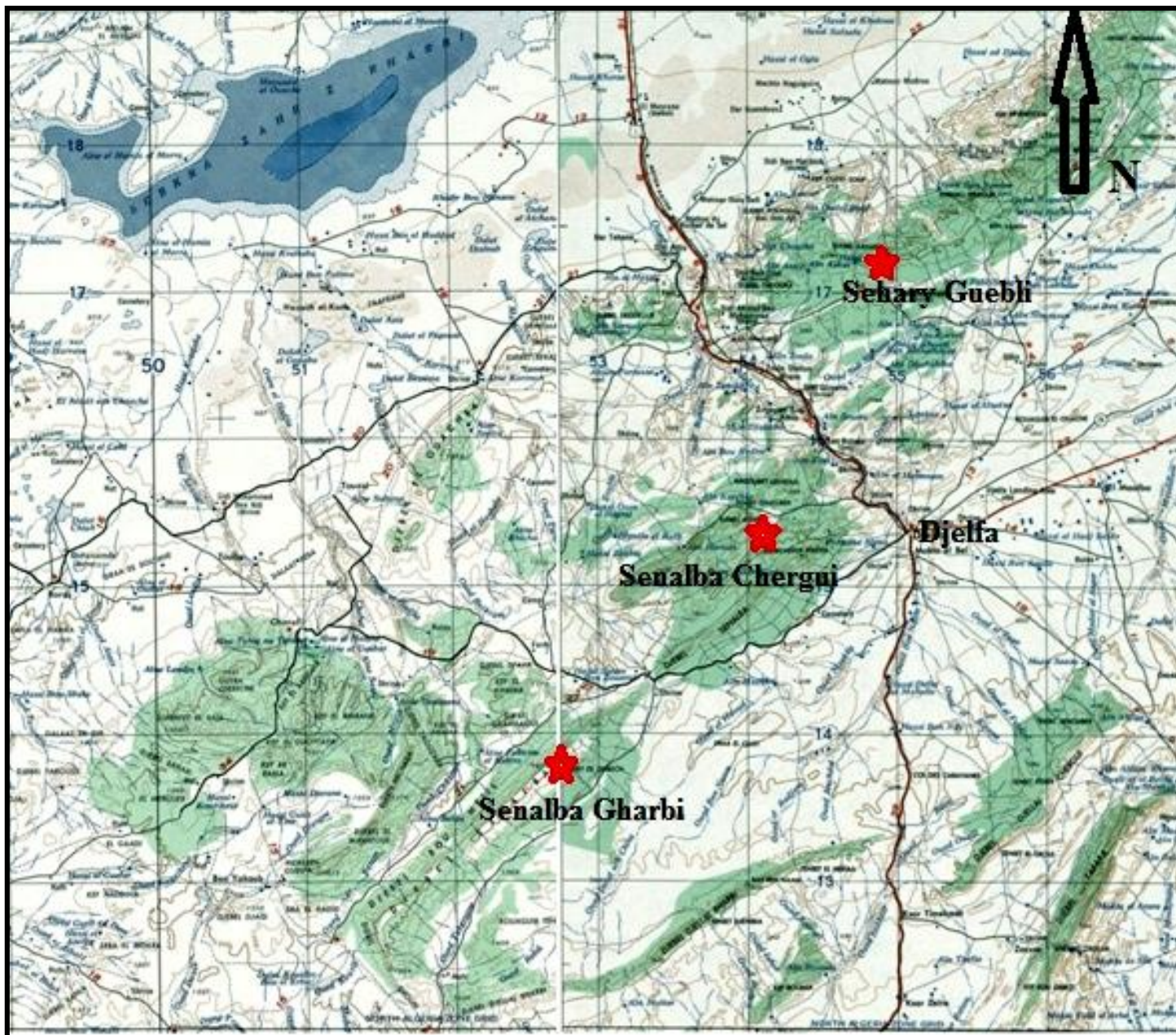




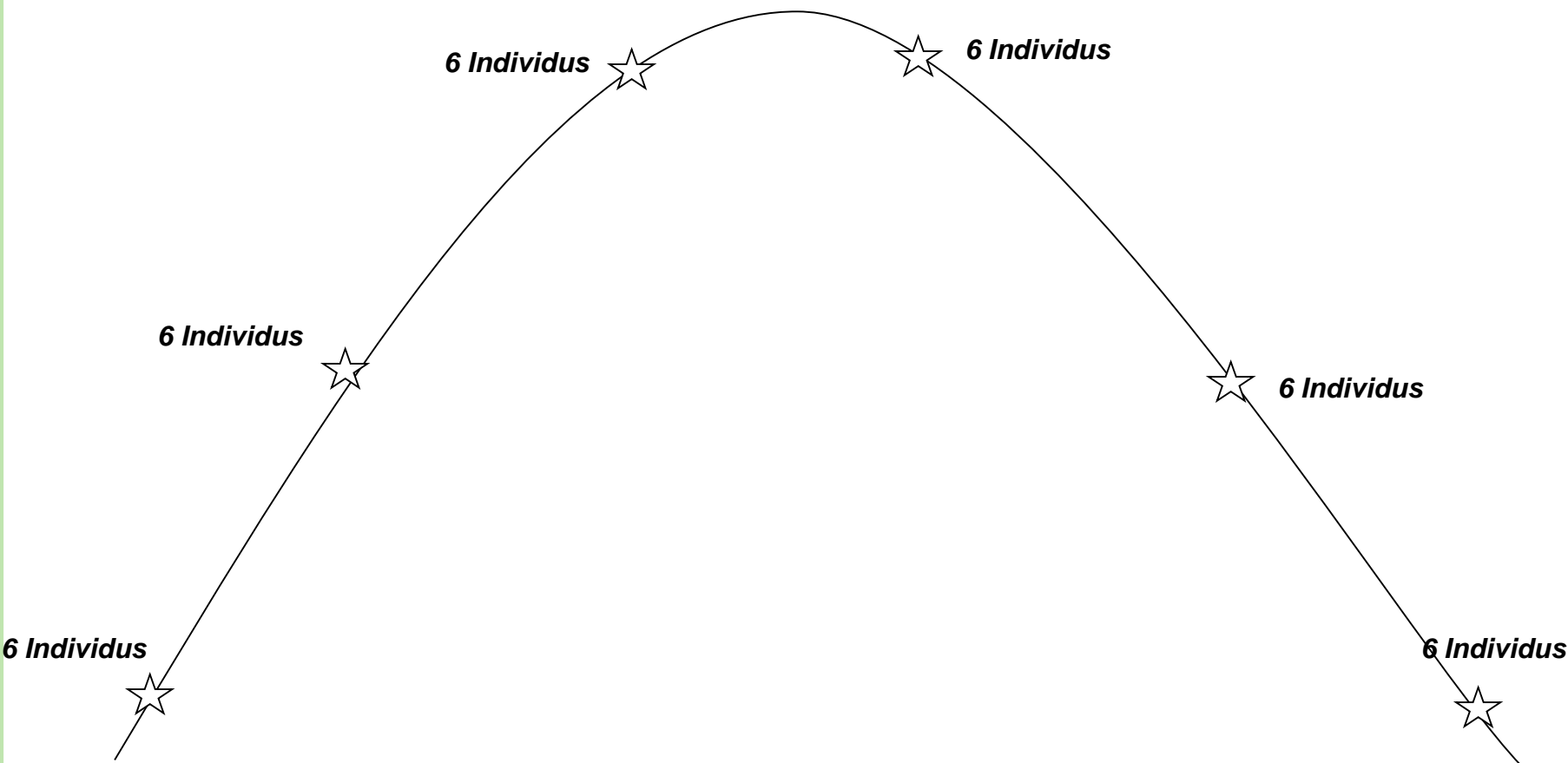
**Appareil LINTAB 6**



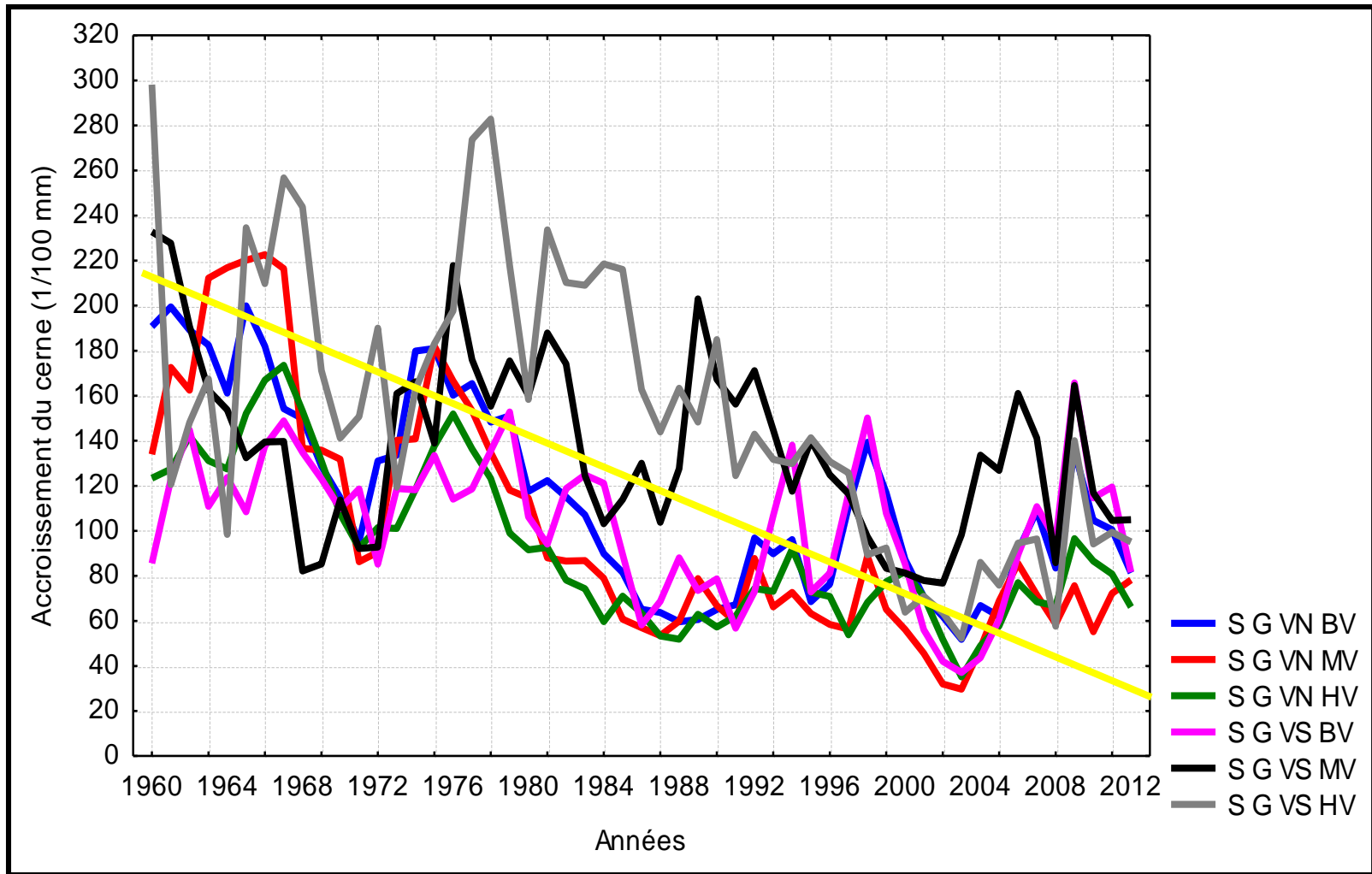
**Loupe binoculaire**



Carte de situation des stations d'échantillonnage

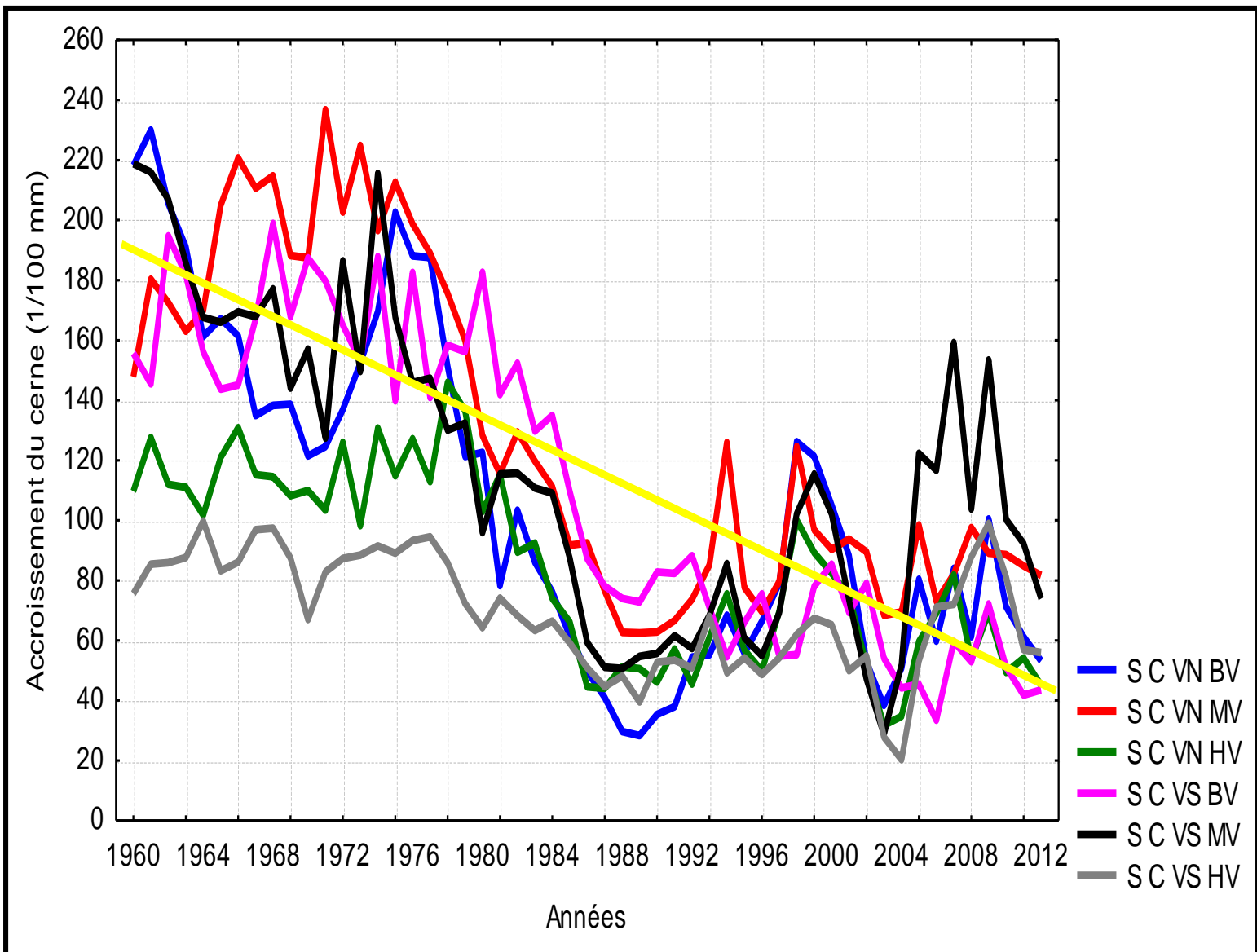


Emplacement des sites d'échantillonnage au niveau de chaque massif forestier



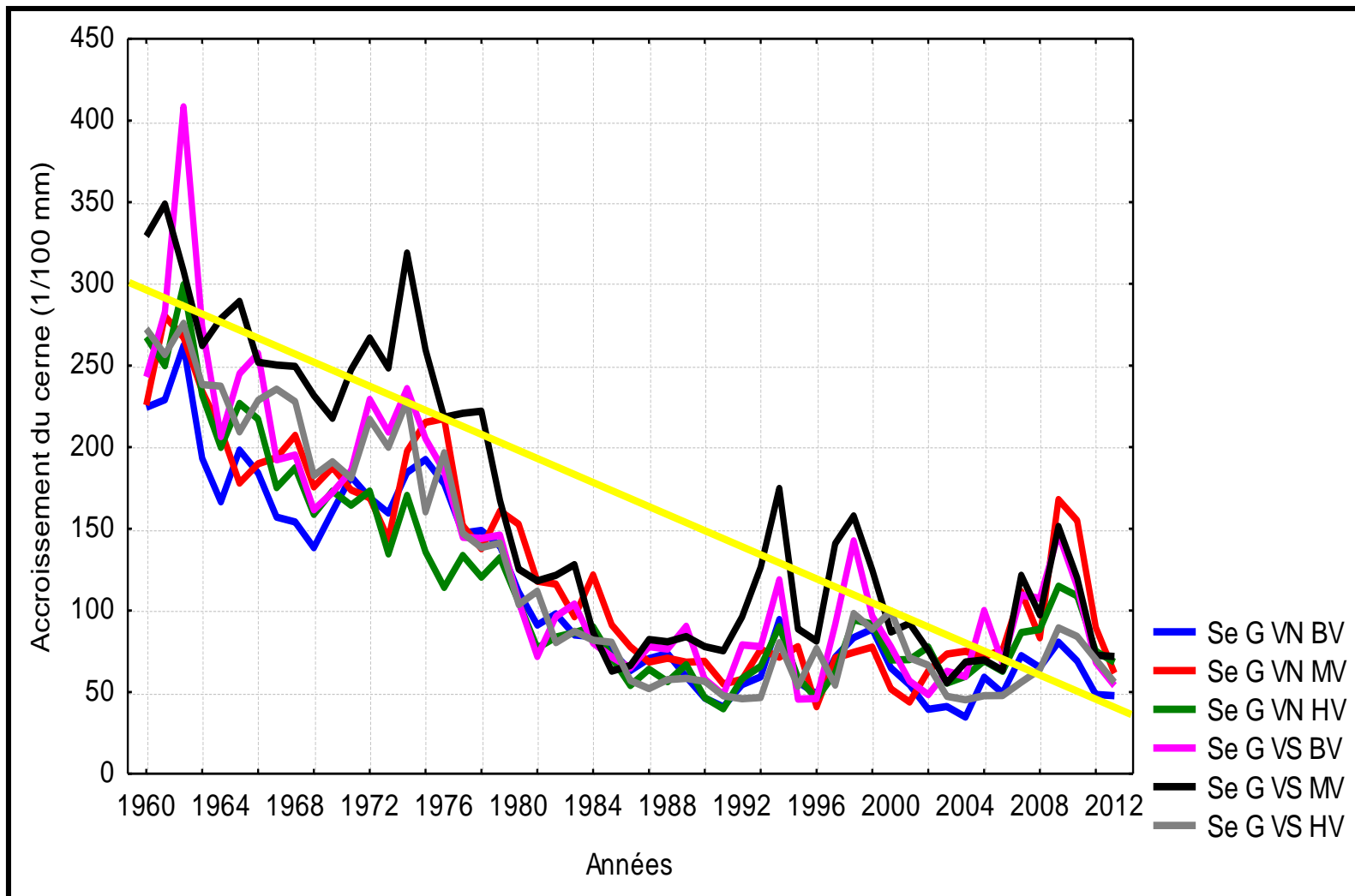
Séries chronologiques non standardisées. Massif de Senalba Gharbi





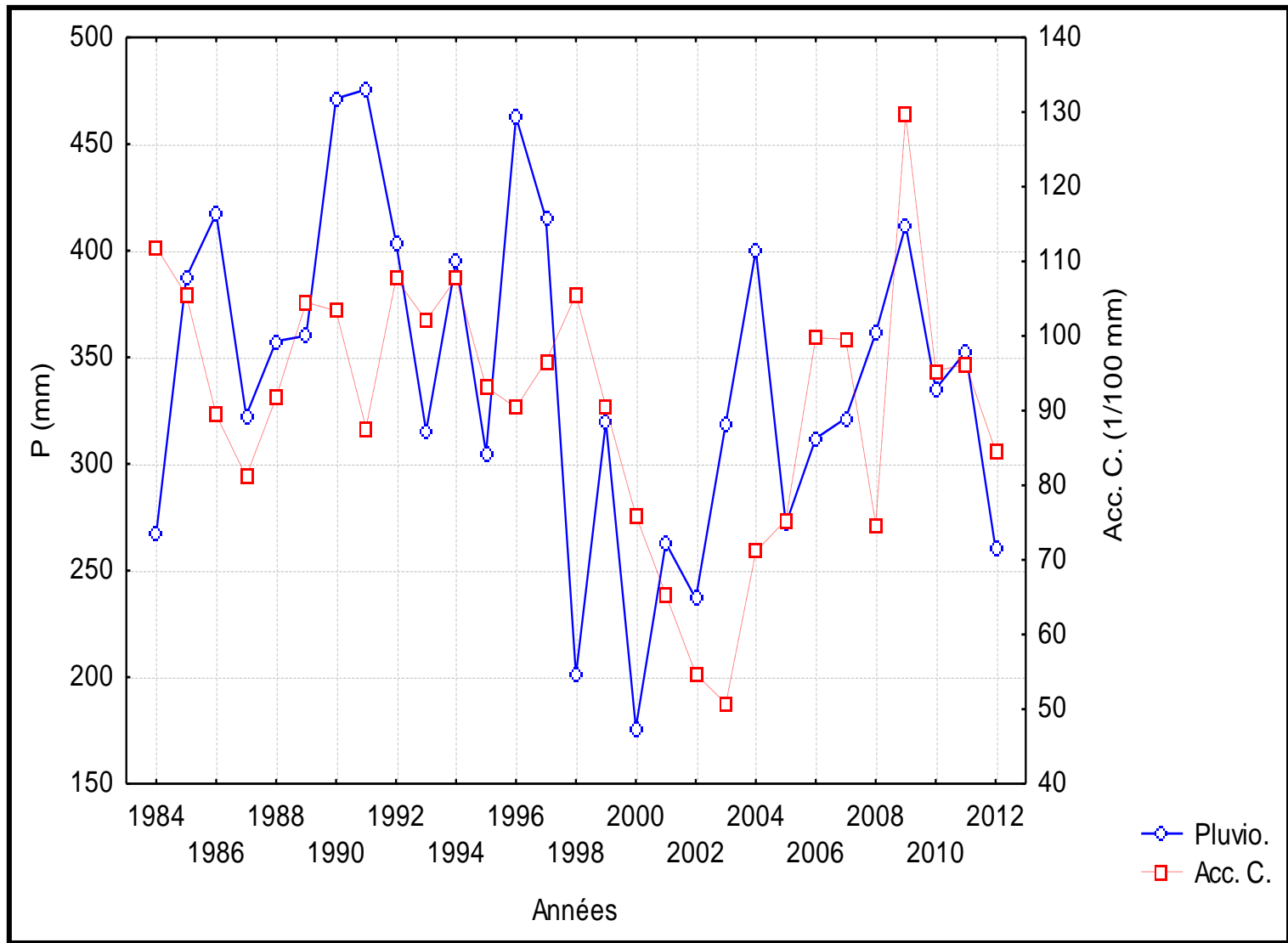
Séries chronologiques non standardisées. Massif de Senalba Chergui





Séries chronologiques non standardisées. Massif de Sehary Guebli

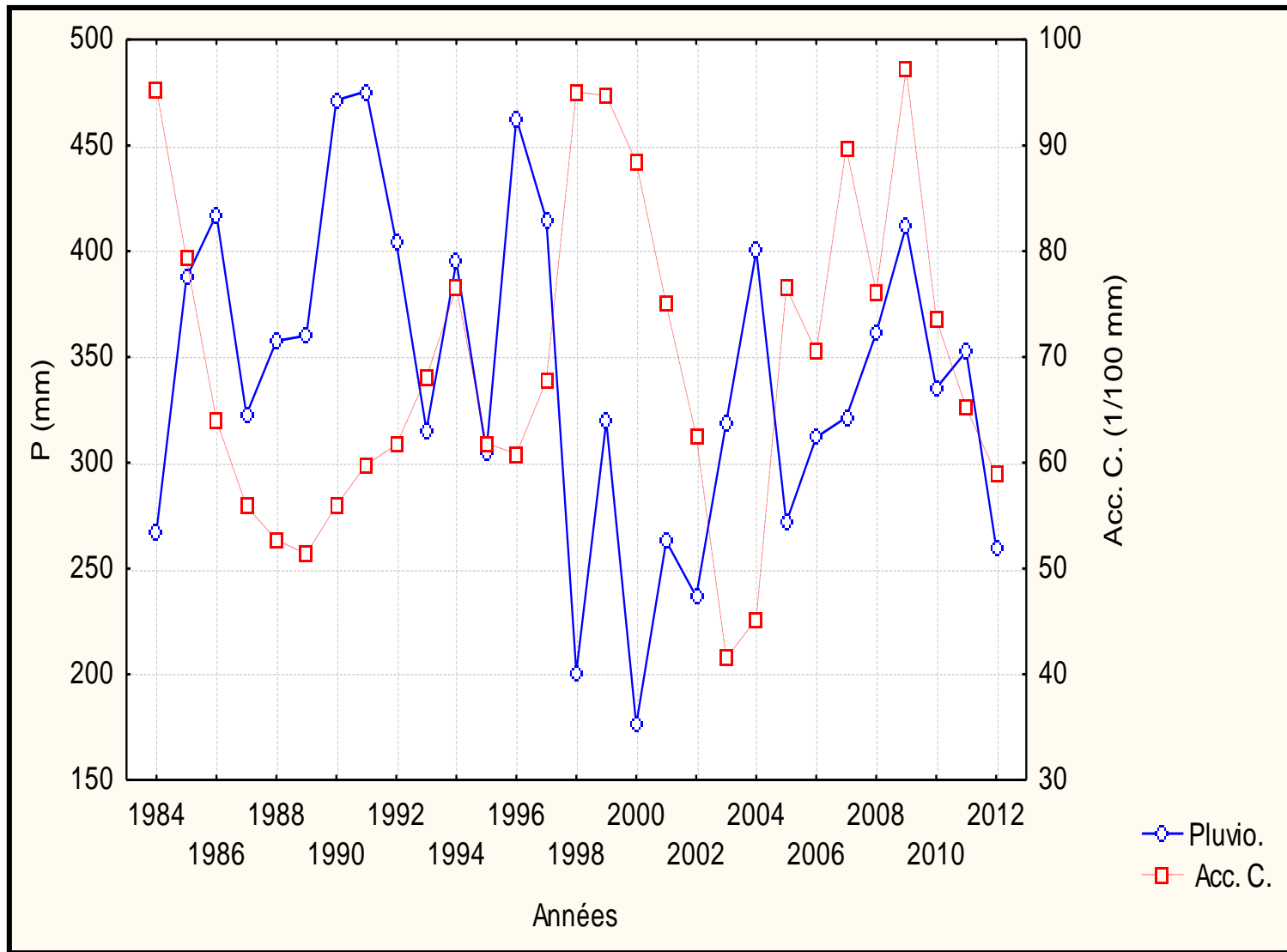




Relation pluviométrie / Accroissement du cerne. Senalba Gharbi

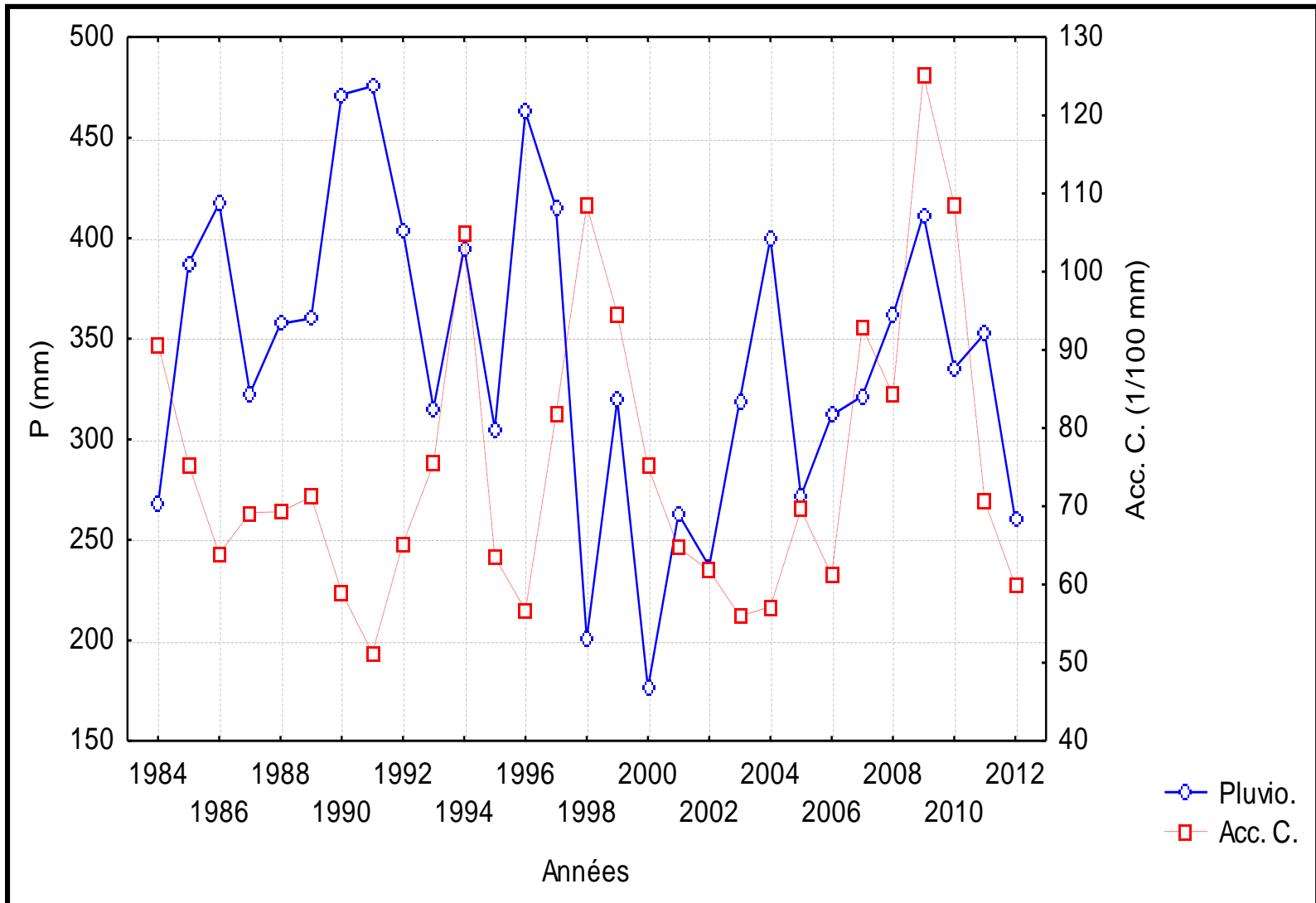
$(r = 0,32 ; p = 0,086)$





Relation pluviométrie / Accroissement du cerne. Senalba Chergui  
 (r = 0,37 ; p = 0,051)





Relation pluviométrie / Accroissement du cerne. Sehary Guebli  
 ( $r = 0,15$  ;  $p = 0,43$ )



- **Âge d'un arbre** : par âge d'un arbre, on entend le nombre d'années compté à partir **de la germination de la graine**. Cependant, conventionnellement, on considère souvent l'âge d'un arbre planté à partir de **son introduction en forêt**, à l'exclusion du temps passé en pépinière.
- ✓ L'âge d'un **arbre abattu** peut être facilement déterminé par **comptage des cernes annuels** sur la section d'abattage ou sur la souche (**le plus près possible du sol**, pour incorporer les pousses des premières années).



- ✓ L'âge d'un **arbre sur pied** peut être déterminé par **comptage des cernes annuels**. Ce comptage peut être effectué au moyen d'appareil de mesure relativement sophistiqués.
- ✓ Souvent, le sondage est effectué à 1,3 m du sol. Il est conseillé, **si l'âge est la seule information recherchée**, d'effectuer le prélèvement le plus près possible du sol (par exemple à **30 cm de hauteur**) pour éviter l'estimation du nombre d'années mis par l'arbre pour atteindre le niveau sondé à la tarière (qui est à 1.30 m du sol).



## ▪ **Accroissements des cernes**

- ✓ L'épaisseur exacte d'un certain nombre (**5 ou 10 le plus souvent**) d'accroissements annuels : on aboutira ainsi à l'accroissement courant annuel moyen en diamètre de chaque tige.
- ❖ Exemple : soit **e** l'épaisseur des 10 derniers cernes d'accroissements annuels : la mesure vaut pour le rayon, rapportée au diamètre et toujours pour 10 ans, il faudra prendre **2 e**, soit par an :  $\frac{2 e}{10}$ .
- Si l'inventaire était fait en circonférence, cet accroissement devrait être **multiplié par**  $\square$  pour obtenir l'accroissement annuel correspondant sur la circonférence.





- ✓ Ou bien on **comptera le nombre de cernes annuels compris dans les derniers 2.5 cm** (donc le nombre d'années que l'arbre a mis pour augmenter son diamètre de 5 cm : c'est le temps de **passage de la catégorie inférieure à la catégorie sondée**, soit  $t_p$ ).
- ✓ Dans le cas de catégories de circonférence, une règle de trois simple montre que, pour les catégories de 20 en 20 cm par exemple, le temps de passage correspondant  $t'_p$  est égal à .

$$\frac{4 t_p}{\square}$$

