

**GEMAGREF**

DEPARTEMENT  
FORETS

**Les techniques d'introduction  
du cèdre:  
bilan de quelques plantations  
réalisées dans le Var, le Vaucluse  
et le Gard**

DIVISION  
PROTECTION DES FORETS  
CONTRE L'INCENDIE

— GROUPEMENT D'AIX-EN-PROVENCE — Juin 1985 —

Mémoire de 3<sup>ème</sup> année de l' E N I T E F  
présenté par Philippe BOUVET

Etude financée par le Conseil Régional  
de Provence-Alpes-Côte d'Azur

## REMERCIEMENTS

*Je tiens à remercier ici les nombreuses personnes qui m'ont aidé à mener à bien cette étude et, tout particulièrement, Monsieur Daniel ALEXANDRIAN et les autres membres de la Division P.F.C.I. du CEMAGREF.*

# PLAN

	Pages
INTRODUCTION .....	1
1. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE .....	2
1.1. Choix d'une essence : le cèdre .....	3
1.2. Conception d'une méthode d'investigation et de mesure .....	3
1.2.1. Quels reboisements aller visiter ? .....	3
1.2.2. Quels facteurs prendre en compte sur les reboisements choisis ?.....	4
1.2.2.1. Les potentialités de la station .....	5
1.2.2.2. Les qualités génétiques des plants .....	6
1.2.2.3. Les conditions météorologiques .....	7
1.2.3. Choix des sites. Relevés et mesures effectués .....	7
1.3. Principaux problèmes rencontrés .....	8
1.3.1. Recherche des sites .....	8
1.3.2. Analyses de tiges .....	8
1.3.3. Courbes de croissance .....	9
1.3.3.1. Courbes de croissance existantes .....	9
1.3.3.2. Nouvelle courbe .....	9
1.3.3.3. Faisceau de courbes et indice de croissance ..	10
2. PRINCIPAUX SITES ETUDIES ET LEURS ENSEIGNEMENTS .....	12
2.1. Forêt communale de Seillans .....	13
2.1.1. Station .....	13
2.1.2. Introductions réalisées .....	13
2.1.2.1. Semis .....	13
2.1.2.2. Plantation .....	14
2.1.3. Résultats .....	14
2.2. Forêt communale d'Artignosc .....	16
2.2.1. Station .....	16
2.2.2. Introductions réalisées .....	16
2.2.3. Résultats .....	17

2.3. Forêt domaniale des Maures .....	19
2.3.1. Station .....	19
2.3.2. Introductions réalisées .....	19
2.3.3. Résultats .....	20
2.3.3.1. Placeaux .....	21
2.3.3.2. Comparaison bandes-placeaux .....	23
2.4. Forêt domaniale des Morières .....	26
2.4.1. Station .....	26
2.4.2. Introductions réalisées .....	26
2.4.3. Résultats .....	27
2.5. Forêt domaniale du Pelenc .....	29
2.5.1. Station .....	29
2.5.2. Introductions réalisées .....	29
2.5.3. Résultats .....	30
2.6. Forêt domaniale de la Gardiole .....	34
2.6.1. Station .....	34
2.6.2. Introductions réalisées .....	34
2.6.3. Résultats .....	35
2.7. Forêt domaniale du Luberon .....	38
2.7.1. Station .....	38
2.7.2. Introduction réalisée .....	38
2.7.3. Résultats .....	39
2.8. Forêt domaniale de Saint Lambert .....	42
2.8.1. Station .....	42
2.8.2. Introductions réalisées .....	42
2.8.3. Résultats .....	43
2.9. Forêt communale de Montaren .....	45
2.9.1. Station .....	45
2.9.2. Introductions réalisées .....	45
2.9.3. Résultats .....	46
2.10. Forêt communale de Lussan .....	48
2.10.1. Station .....	48
2.10.2. Introduction réalisée .....	48
2.10.3. Résultats .....	49
2.11. Forêt communale de Poulx .....	50
2.11.1. Station .....	50
2.11.2. Introduction réalisée .....	50
2.11.3. Résultats .....	50
3. SYNTHESE DES RESULTATS .....	52
3.1. Le travail du sol .....	53
3.1.1. Les potets .....	53
3.1.2. Le sous-solage .....	54
3.1.2.1. Quelques résultats préalables .....	54
3.1.2.2. Résultats obtenus .....	57
3.1.2.3. Effet du sous-solage dans le temps .....	58
3.1.3. L'explosif .....	59

3.2. La mise en place .....	61
3.2.1. Quelques résultats préalables .....	61
3.2.2. Résultats obtenus .....	62
3.2.2.1. Reboisements où le sachet de polyéthylène a été conservé au moins en partie .....	62
3.2.2.2. Reboisements où les plants présentent des dé- formations racinaires .....	63
3.2.2.3. Nécessité d'une mise en place soignée .....	64
3.2.3. Conclusion .....	64
3.3. Les conteneurs .....	65
3.4. La concurrence et les entretiens .....	67
3.4.1. Résultats préalables .....	67
3.4.2. Résultats obtenus .....	67
3.5. Les dispositifs .....	68
 CONCLUSIONS .....	 70
 ANNEXES .....	 75

---

ABREVIATIONS UTILISEES

CEMAGREF :	Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CTGREF :	Centre Technique du Génie Rural des Eaux et Forêts
IDF :	Institut pour le Développement Forestier
IFN :	Inventaire Forestier National
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique
ONF :	Office National des Forêts

## INTRODUCTION

---

Considérant l'état de dégradation de la forêt méditerranéenne, les forestiers ont depuis longtemps réalisé d'importantes opérations de mise en valeur. Cette mise en valeur passe tout d'abord par l'amélioration des peuplements existants, mais aussi et surtout par le reboisement des vastes surfaces aux potentialités encore mal utilisées.

Cependant, et malgré de nombreux progrès réalisés depuis quelques années, la réussite et l'avenir des plantations faites actuellement dans la région restent encore plus ou moins aléatoires. Cette étude se propose de tirer parti des nombreuses réalisations existantes, afin d'en donner un bilan et de dégager les facteurs les plus influents sur la reprise et la croissance initiale des plants.

¶ Nous allons donc ici, tout d'abord <sup>sur les sites</sup> exposer la méthode d'investigation et de mesure que nous avons retenue, puis nous <sup>sur les sites</sup> analyserons dans le détail les principaux résultats mis en évidence sur chacun des sites, et enfin nous reprendrons ces résultats <sup>sur les sites</sup> en y intégrant les connaissances déjà acquises pour conseiller la ou les méthodes de plantation nous semblant les plus performantes.

<sup>sur les sites</sup> semble

I

PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

---

## 1.1. CHOIX D'UNE ESSENCE : LE CEDRE

Cette étude ne pouvait porter sur un grand nombre d'espèces et il nous a semblé préférable de nous limiter à une seule essence, afin de mieux synthétiser les résultats que nous pouvions obtenir, plutôt que d'avoir des résultats partiels sur différentes espèces.

L'essence choisie a été le cèdre : *Cedrus atlantica* (Manetti) ou cèdre de l'Atlas (par la suite, on ne parlera que de cèdre en sous-entendant qu'il s'agit du cèdre de l'Atlas ; les autres espèces du genre *Cedrus*, quoique parfois utilisées en reboisement, n'ont jamais été prises en compte). C'est en effet, avec le pin noir d'Autriche, l'essence la plus employée en reboisement dans la région méditerranéenne, ce qui nous a permis d'avoir un choix assez important dans les chantiers à visiter.

## 1.2. CONCEPTION D'UNE METHODE D'INVESTIGATION ET DE MESURE

### 1.2.1. Quels reboisements aller visiter ?

Pour cette étude, nous aurions bien sûr souhaité disposer de plusieurs chantiers expérimentaux, permettant de régler un à un les problèmes posés et ayant été implantés dans ce but. De tels chantiers existent et abordent les problèmes suivants : travail du sol (Belvezet, Saint-Etienne du Grès, Arbois, le Treps, Carpiagne...), conteneurs (Monclar, Montaren, Mazaugues...)...

Mais ces chantiers présentent plusieurs inconvénients :

- . ils ne concernent pas tous la même essence (St-Etienne du Grès a été reboisé en pin d'Alep, l'Arbois et le Treps en chêne vert, Carpiagne avec différentes essences, et les autres en cèdre) ;
- . ils sont parfois assez anciens et les techniques utilisées ont beaucoup évolué depuis (à Belvezet, le travail du sol a été fait avec un engin de faible puissance, 80 à 120 CV, qui ne correspond plus aux engins utilisés actuellement). D'autres chantiers par contre, sont encore trop jeunes pour déjà donner des résultats (trois plantations expérimentales ont été faites par le CEMAGREF en 1982) ;
- . ils n'ont pas toujours été installés de façon très rigoureuse et les comparaisons entre modalités sont parfois difficiles (c'est le cas de Belvezet et surtout de St Etienne du Grès) ;
- . ils sont surtout très peu nombreux et certains ont même brûlé (Arbois, Carpiagne) ;
- . enfin, la plupart des résultats qu'ils ont mis en évidence ont déjà été exploités et sont connus par tous. Ils n'ont pourtant pas répondu à toutes les questions.

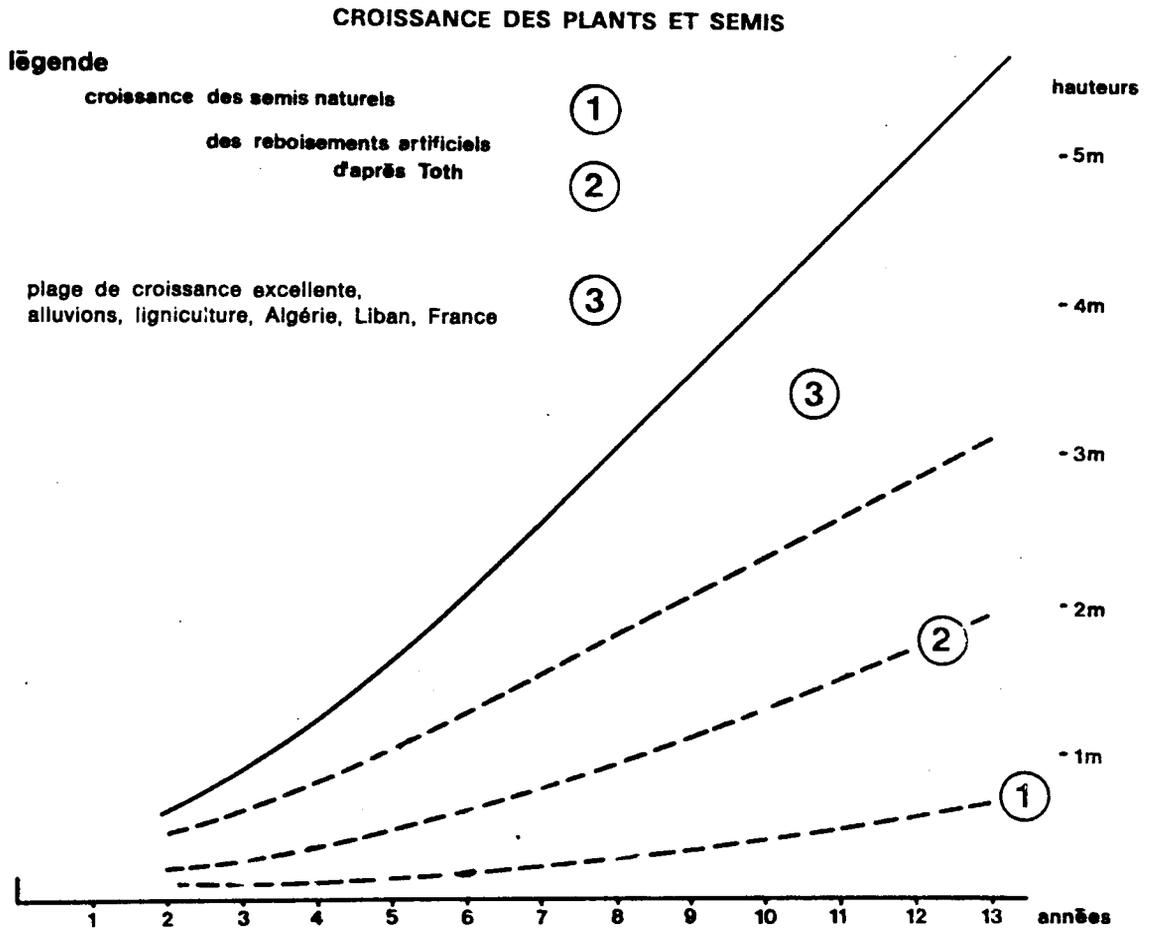
Nous n'avons donc pas pu baser notre étude sur les résultats fournis par de tels chantiers expérimentaux (bien que c'eût été la meilleure méthode) et nous avons donc essayé de dégager quelques résultats des nombreuses autres plantations existantes.

### 1.2.2. Quels facteurs prendre en compte sur les reboisements choisis ?

La visite des plantations devait nous permettre de dégager les facteurs pouvant avoir une influence notable sur la reprise et la croissance initiale des plants. Nous avons donc essayé de définir a priori l'ensemble de ces facteurs :

- . Facteurs caractérisant la technique de plantation et devant donc être étudiés ici:

Figure n° 1



"... les courbes (1) et (2) représentent, d'après Toth, la croissance des semis naturels et celle des reboisements artificiels en sols généralement rocheux. La nappe de courbes (3) représente la croissance des cèdres en sols exceptionnels : jardins, colluvions, alluvions, et en sols travaillés profondément puis parfaitement entretenus..." (Extrait du Bulletin de Vulgarisation Forestière, n° 74/8, p. 47).

- le travail du sol en général ;
- la qualité des plants et leurs présentations (plants à racines nues, en godets...)
- la mise en place ;
- la concurrence et les entretiens.

. Autres facteurs :

- les potentialités de la station ;
- les qualités génétiques des plants ;
- les conditions météorologiques.

Ces autres facteurs pouvaient à eux seuls masquer l'influence des premiers et il fallait pouvoir s'en affranchir.

#### 1.2.2.1. Les potentialités de la station

Au départ, nous nous sommes longtemps demandé comment aborder le problème de l'influence de ce facteur.

On pouvait considérer que, durant les premières années, la technique de plantation avait une influence primordiale sur la croissance et que les conditions de station pouvaient donc être négligées (du moins en évitant les stations extrêmes, très mauvaises ou très bonnes, qui sont d'ailleurs faciles à repérer sur le terrain). C'est l'idée admise par l'I.D.F. (1974, 17)<sup>(1)</sup> qui a tracé un faisceau de courbes de croissance dans le jeune âge, où chaque classe caractérise non pas une station, mais une méthode de plantation (sur station non exceptionnelle) (figure n° 1, p4a).

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons rempli près de 60 fiches, dans des conditions de station variées et où tous les cèdres avaient été plantés de la même façon (ces mesures ont été faites dans les Maures où a été employée la technique des placeaux de dispersion sur une vaste sur-

(1) Les numéros soulignés correspondent à ceux de la bibliographie p. 76.

face ; pour plus de détails, voir la description et l'analyse des résultats, p. 21).

Ces mesures ont montré une grande variation de hauteur des arbres plantés (de 10 cm à 2 m à 10 ans, hauteur moyenne : 0,55 m, coefficient de variation : 67 %). La technique de plantation étant partout la même, nous aurions dû pouvoir expliquer ces variations de hauteur par des facteurs stationnels faciles à prendre en compte. Or, nous n'avons pratiquement rien pu mettre en évidence. Seul un arrachage de quelques plants nous a permis d'expliquer certaines variations de hauteur, en tenant compte à la fois de la qualité de l'enracinement (et donc en fait du soin apporté à la plantation) et des caractéristiques de la station.

Cette première approche nous a donc montré que les conditions stationnelles avaient aussi une influence non négligeable dans le jeune âge, mais qui, de plus, ne pouvait pas être prise en compte de façon simple (nous n'avons pas pu mettre en évidence de facteurs qui permettent de déterminer à l'avance les bonnes ou mauvaises stations).

Il nous fallait donc éliminer leur influence.

C'est ce que nous avons fait en ne jugeant de la qualité d'un reboisement qu'en le comparant à un autre boisement de cèdres (peuplement plus âgé ou autre reboisement fait avec une technique différente) situé sur la même station.

Ces deux boisements sur une même station définissent ce que nous appellerons par la suite un site, et l'analyse détaillée des résultats obtenus sur chaque site fait l'objet du paragraphe 2.

#### 1.2.2.2. Qualités génétiques des plants

Dans certains cas, nous avons pu comparer des reboisements faits au cours d'une même opération et avec le même lot de plants, ce qui a donc permis d'éliminer l'influence de ce facteur. Mais nous ne nous trouvions pas toujours dans un cas aussi favorable et nous avons admis que ce facteur

pouvait être négligé (de toutes manières, il est souvent impossible pour les plantations de plus de 10 ans de retrouver l'origine des plants, et surtout les graines utilisées dans la région étudiée appartiennent le plus souvent à la même provenance : Luberon, Mont Ventoux, Rialsesse).

#### 1.2.2.3. Les conditions météorologiques

Nous avons aussi essayé d'éliminer les différences que pouvait induire ce facteur en mesurant si possible des plantations faites en même temps. Dans les autres cas, l'examen des conditions météorologiques nous a parfois aidé à expliquer quelques résultats.

#### 1.2.3. Choix des sites. Relevés et mesures effectués

Nous avons choisi les sites comme ils viennent d'être définis, en privilégiant toutefois ceux où l'on avait deux reboisements faits selon des techniques différentes : ils permettent en effet les comparaisons sur la reprise et facilitent les analyses de la croissance.

Les relevés et mesures effectués (voir la fiche d'enquête en annexe p. 86 ) devaient permettre, d'une part de donner les résultats du reboisement (taux de reprise : par comptage, et croissance : mesure de la hauteur moyenne et analyses de tiges), d'autre part de préciser tous les facteurs que nous voulions prendre en compte :

- la technique de reboisement (antécédants cultureaux - mode d'introduction - travail du sol - mise en place des plants - densité initiale - provenance ou pépinière si possible) par enquête auprès des gestionnaires ;
- mais aussi la station (nous voulions, pour chaque site, pouvoir décrire sommairement sa station ; mais nous espérons aussi, à la fin de cette étude, pouvoir faire des rapprochements entre tous les sites étudiés). Les relevés effectués pour la station correspondent à une simplification de la fiche d'enquête sur l'écologie du cèdre entreprise par

7 a



cicatrices du bourgeon terminal sur la tige



branche latérale - face inférieure



le CEMAGREF, où seules ont été retenues les variables qui se sont avérées importantes lors de cette enquête.

### 1.3. PRINCIPAUX PROBLEMES RENCONTRES

#### 1.3.1. Recherche des sites

Compte tenu des critères que nous avons définis pour nos sites, nous avons eu de fait un choix très restreint. Beaucoup de reboisements ont été éliminés parce que nous n'avons pas pu trouver d'autres références sur la même station ou parce qu'il était difficile d'obtenir des renseignements précis sur la nature des travaux lorsque ceux-ci dataient de plus de 10 ou 15 ans.

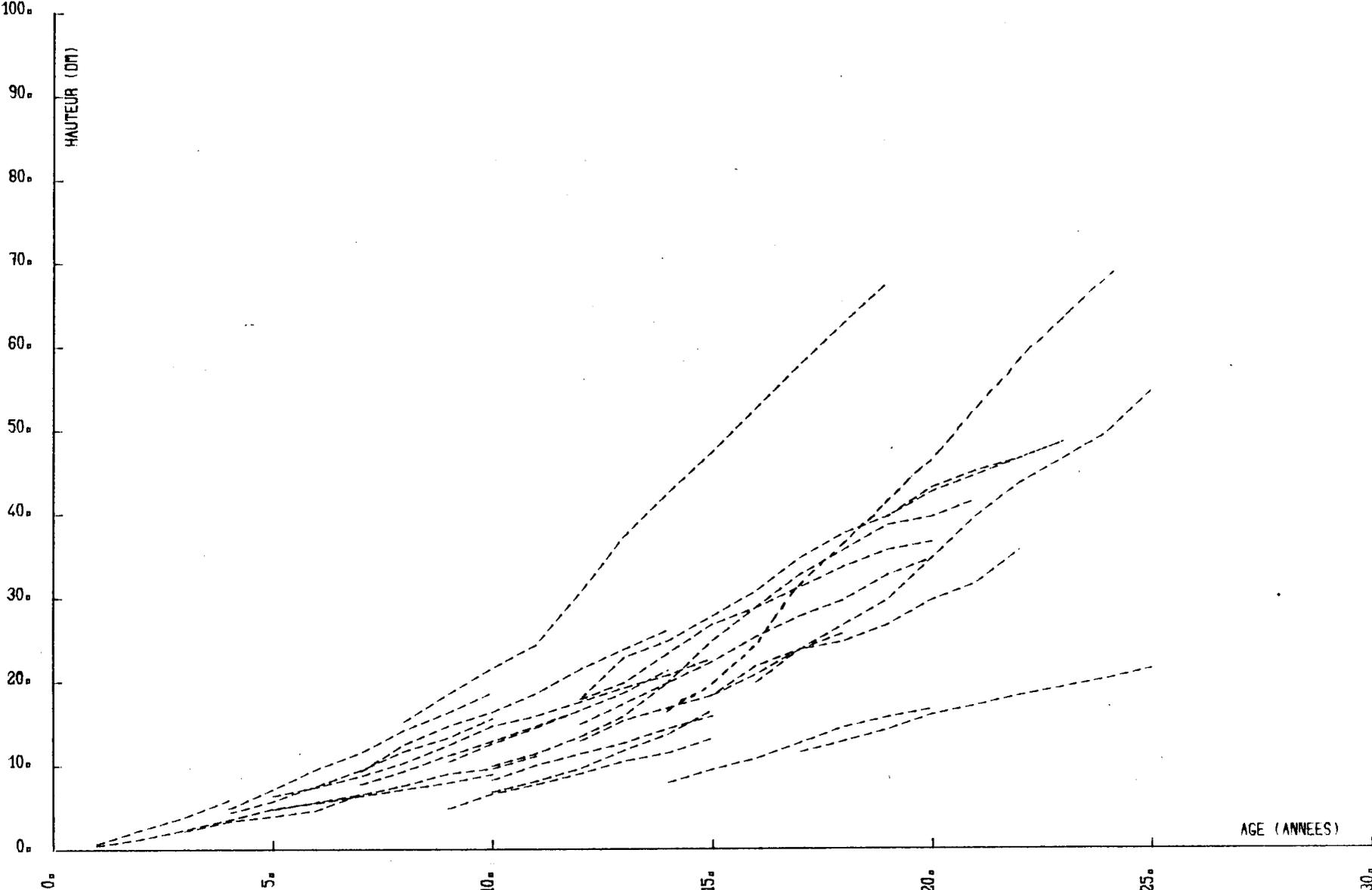
#### 1.3.2. Analyses de tiges

Nous avons pensé que la mesure de la hauteur moyenne pouvait être utilement complétée par le tracé de la courbe de croissance moyenne.

Sur chaque reboisement nous avons donc réalisé une série d'analyses de tiges (environ 10 à 20 % du nombre des arbres mesurés en hauteur).

Les analyses de tiges sur de jeunes cèdres sont a priori difficiles à réaliser car les verticilles sont assez peu marqués. Il faut en fait repérer les cicatrices laissées par le bourgeon terminal, qui sont visibles durant environ quinze ans. Toutefois certaines cicatrices sont douteuses et il est possible de faire des erreurs de 1, 2, voire 3 ans. Nous avons donc systématiquement fait une vérification en recomptant le nombre des cicatrices sur la face inférieure d'une branche latérale où elles sont toujours bien visibles (photos, p. 7a).

**Figure n° 2 : Principales analyses de tiges**



### 1.3.3. Courbes de croissance

#### 1.3.3.1. Courbes de croissance existantes

La comparaison entre nos boisements ne pouvait se limiter à la comparaison de leurs hauteurs moyennes, car ils n'avaient que rarement le même âge (le plus souvent cette différence d'âge n'était que de quelques années, mais elle atteignait aussi 45 ans et même 70 ans).

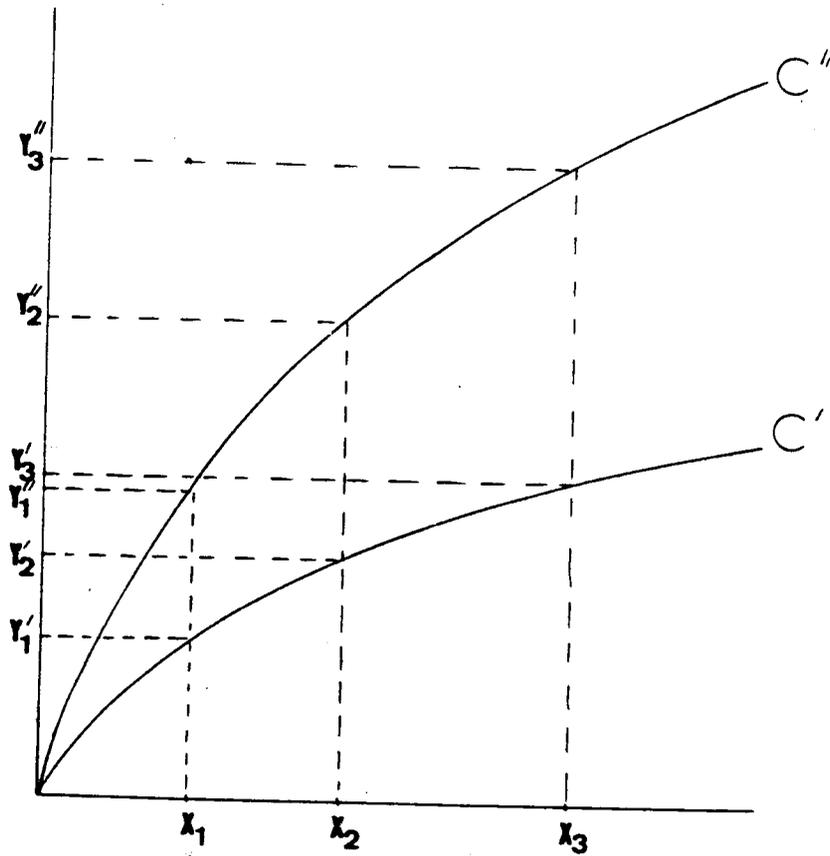
Il fallait donc baser nos comparaisons sur les indices de croissance. Or, le calcul de ces indices nécessite d'avoir un faisceau de courbes de croissance fiable. Pour le cèdre, trois faisceaux de courbes existent : Toth (1973, 30), Yi (1976, 33) et Ostermeyer (1984, 25). Ces faisceaux sont relativement différents entre eux et surtout ont souvent été tracés pour être utilisés au-delà de 20 ou 30 ans (Yi notamment a basé son étude sur un échantillon de 77 placettes dont 69 ont plus de 40 ans, les 8 autres ayant plus de 20 ans). De fait aucun de ces faisceaux ne correspond vraiment à nos analyses de tiges, surtout pour la période 0-10 ans. Nous avons donc dû rechercher un nouveau faisceau de courbes.

#### 1.3.3.3. Nouvelle courbe

Il n'était pas envisageable d'utiliser une méthode d'ajustement statistique (régression) car notre échantillonnage était à la fois réduit et déséquilibré (il est net que les bonnes croissances sont mal représentées). Nous avons donc utilisé la méthode graphique (qui est d'ailleurs souvent employée pour ce type de problèmes : Toth (1973, 30), Bartet et Bolliet (1976, 4), Duplat et Bolliet (1979, 14)). Elle consiste à tracer à la main la courbe moyenne qui prend le mieux en compte l'ensemble des données (c'était d'autant plus facile dans notre cas que, nous basant sur des analyses de tiges, l'allure de nos courbes était bien définie).

Pour les premières années, cette courbe devait donc

FIGURE N°3 :Présentation de 2 courbes affines



$C'$  et  $C''$  sont affines équivaut à :

$$\frac{y_1'}{y_1''} = \frac{y_2'}{y_2''} = \frac{y_3'}{y_3''}$$

correspondre à nos analyses de tiges et au-delà d'environ 20 ans, comme nous n'avions aucune mesure personnelle sur de tels boisements, elle devait reprendre les courbes existantes.

Après avoir tracé cette courbe, il nous fallait une formule mathématique qui lui corresponde, pour réaliser les calculs ultérieurs. Nous avons essayé d'ajuster plusieurs équations paramétrées :

$$f(t) = a e^{-\frac{b}{t^c}} ; f(t) = a(1 - b e^{-\frac{t^c}{d}})^p$$

mais aucune ne donnait la courbe désirée dans sa totalité. Nous avons donc dû définir notre courbe par deux formules distinctes, l'une valable de 0 à 15 ans et l'autre valable au-delà de 15 ans (les deux courbes étant bien entendu concourantes et tangentes à 15 ans) :

.si  $t \leq 15$  ans

$$\begin{aligned} h(t) &= 24 (6,11 \cdot 10^{-3}t - 8,67 \cdot 10^{-6}t^2 + 2 \cdot 10^{-5}t^3) \\ &= 24 \times f(t) \end{aligned}$$

.si  $t > 15$  ans  $t^{0,93}$

$$\begin{aligned} h(t) &= 24(1 - e^{-\frac{t^{0,93}}{16}})^3 \\ &= 24 \times f(t) \end{aligned}$$

### 1.3.3.3. Faisceau de courbes et indice de croissance

Le faisceau de courbes est obtenu par une série d'affinités c'est à dire que toutes les courbes tracées sont affines les unes des autres (le rapport des hauteurs à un âge donné est indépendant de l'âge ; voir figure n° 3). Cette méthode des courbes affines est utilisée par Alder (1980, 1), Duplat et Bolliet (1979, 14), Ostermeyer (1984, 25) et bien d'autres.

Toutes les courbes du faisceau ont donc une équation de la forme :

$$H_i = \lambda_i \cdot f(t)$$

- . pour la courbe moyenne  $\lambda_i = 24$  m (unité de  $\lambda_i$  : le mètre)
- . rapport d'affinité entre les courbes  $i$  et  $j = \frac{\lambda_i}{\lambda_j}$ .

Notons que  $\lambda$  est la hauteur maximale atteinte par les arbres quand  $t$  tend vers l'infini, en pratique quand il est supérieur à 120 ans.

Figure n° 4 : Analyses de tiges et nouvelles courbes de croissance

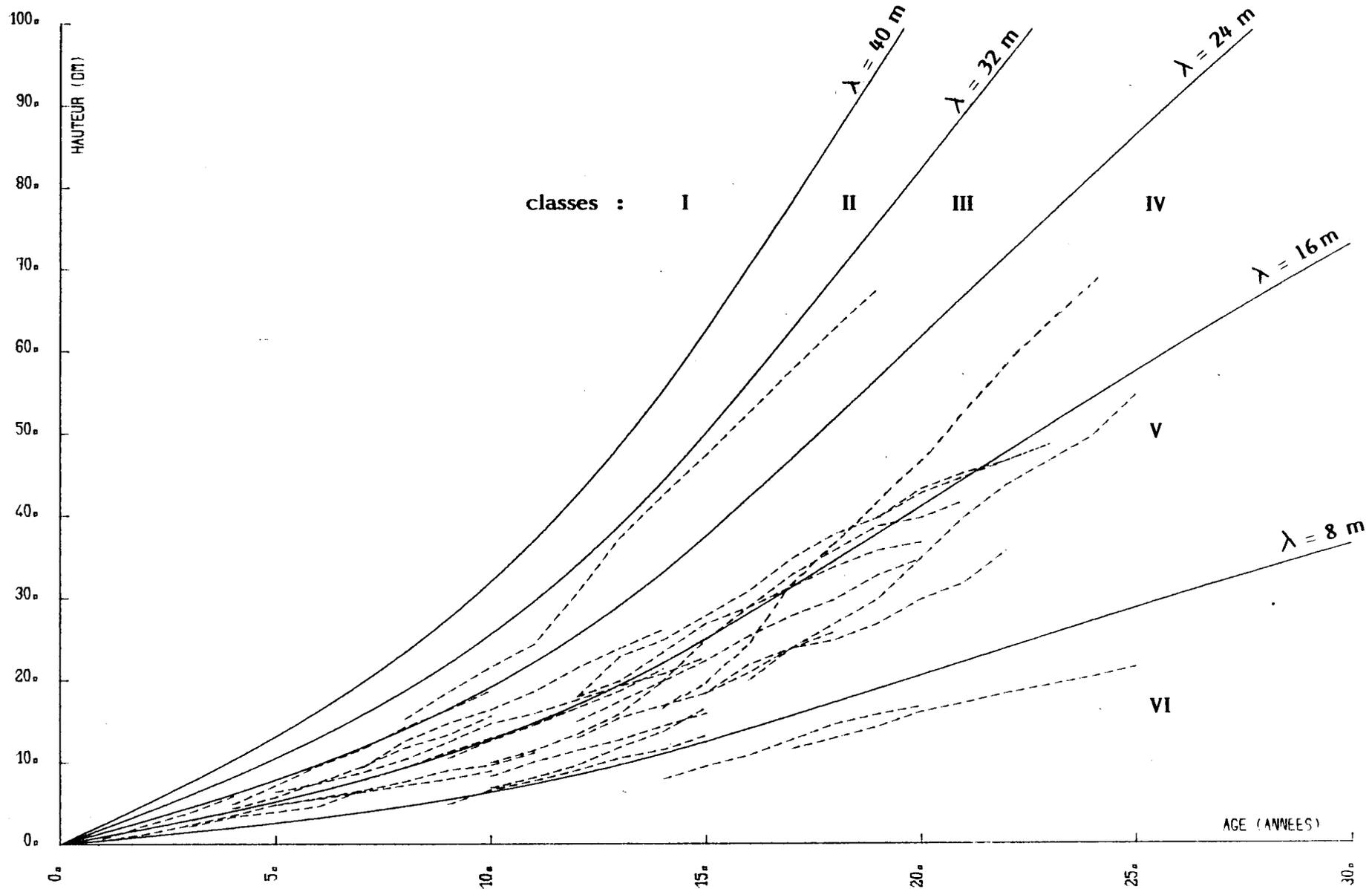
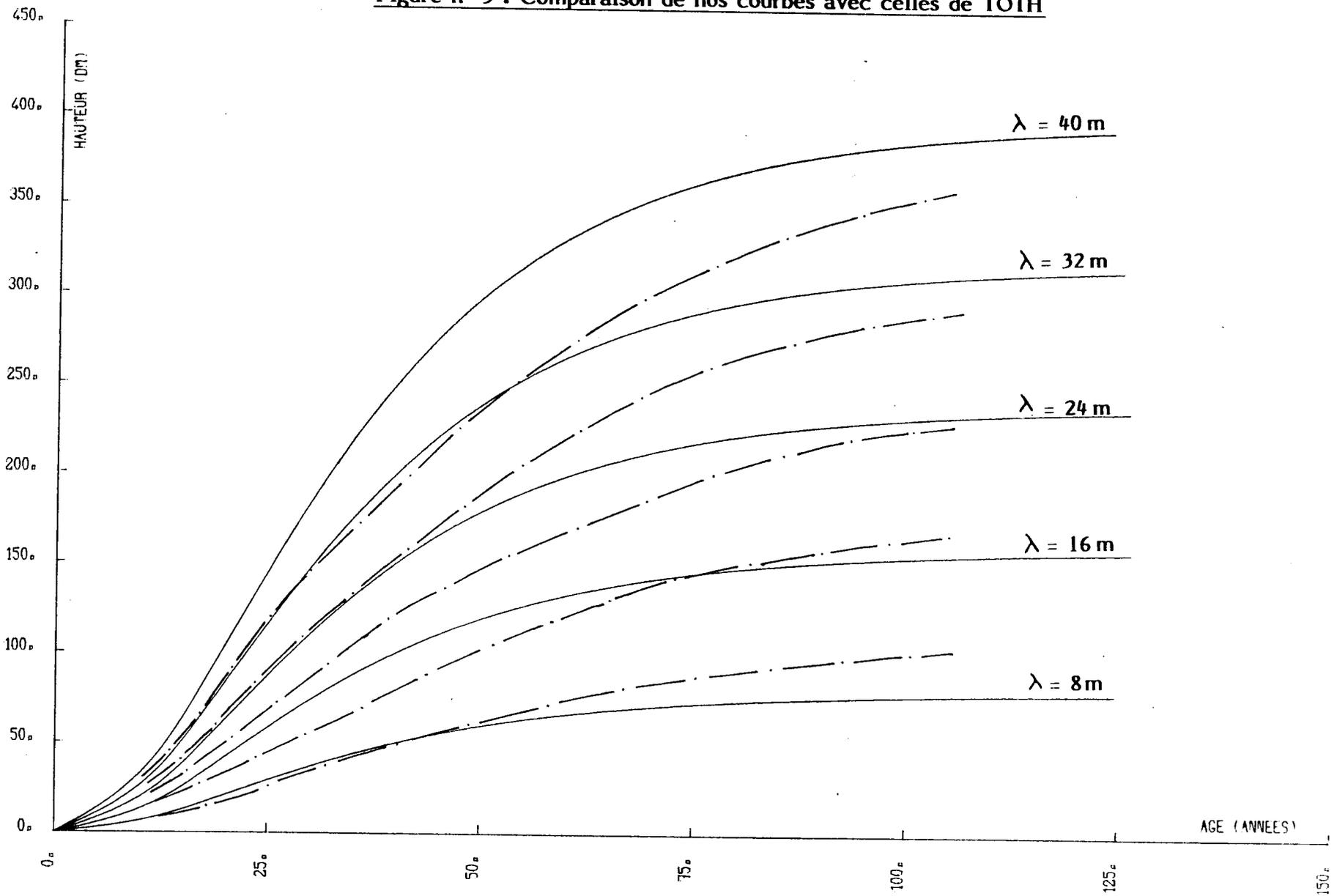
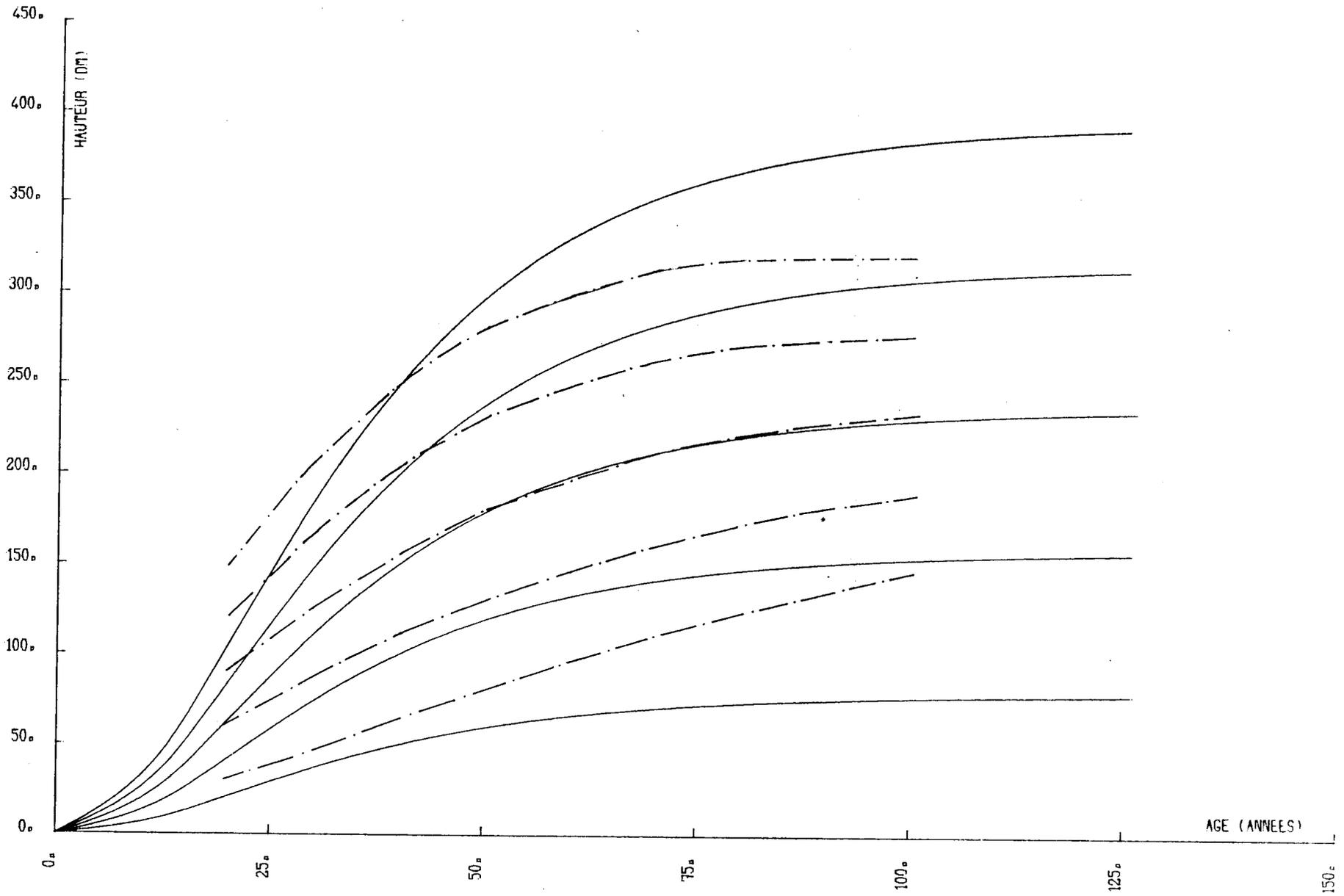


Figure n° 5 : Comparaison de nos courbes avec celles de TOTH



**Figure n° 6 : Comparaison de nos courbes avec celles de Yi**



**Figure n° 7 : Comparaison de nos courbes avec celles d'OSTERMEYER**

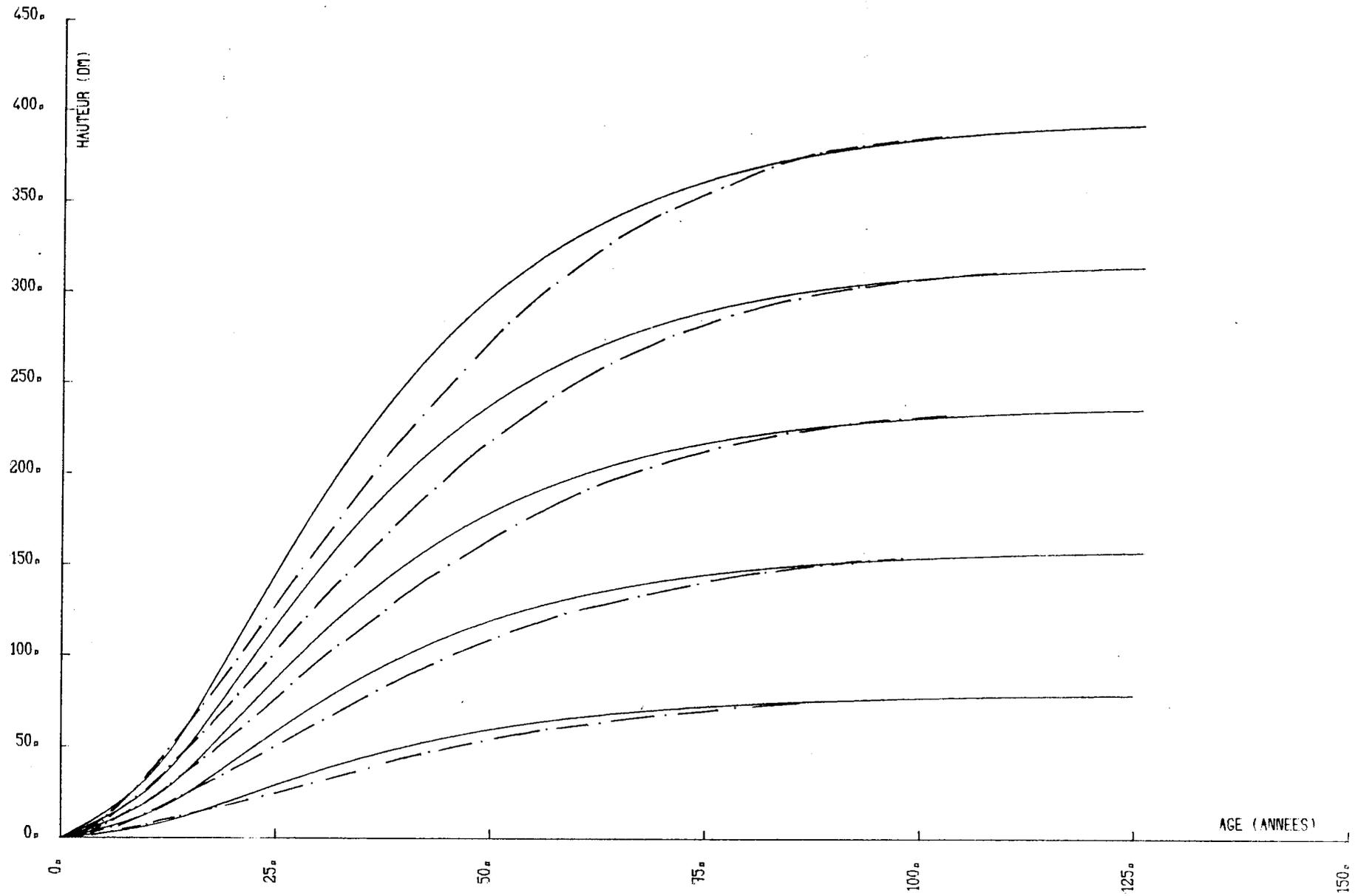


Figure n° 8 : Comparaison de nos courbes avec celles de TOTH

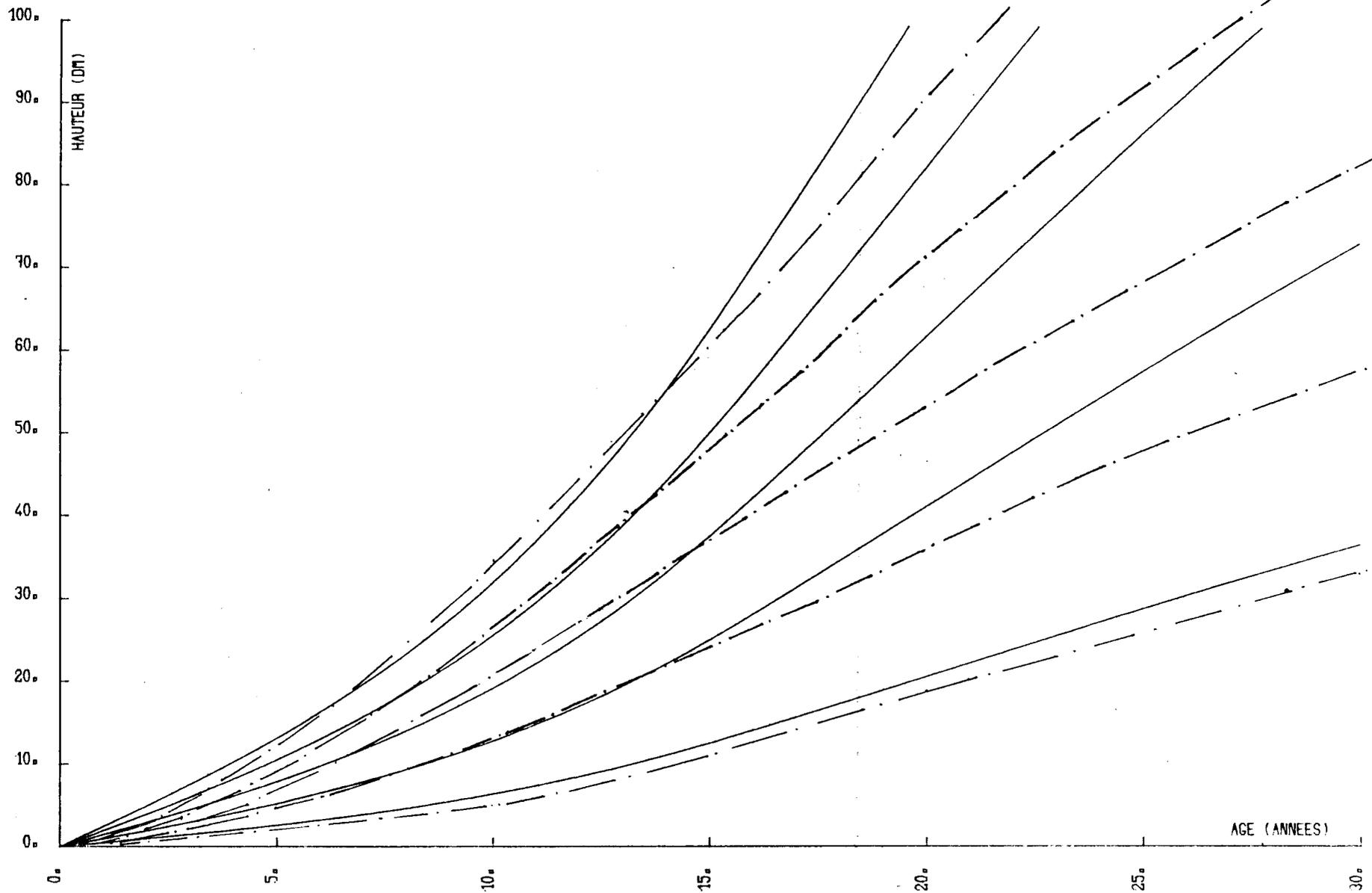


Figure n° 9 : Comparaison de nos courbes avec celles d'OSTERMEYER

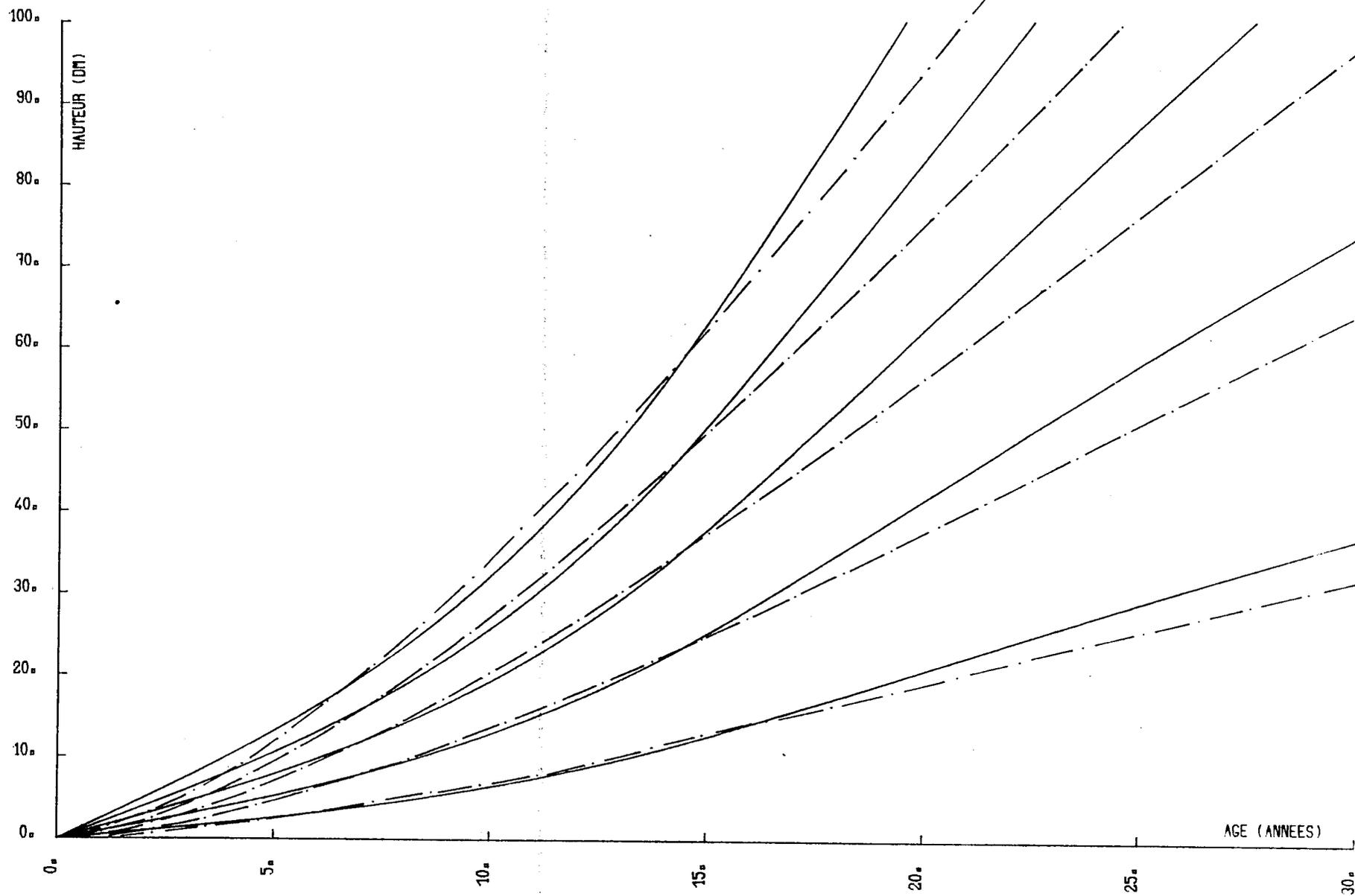
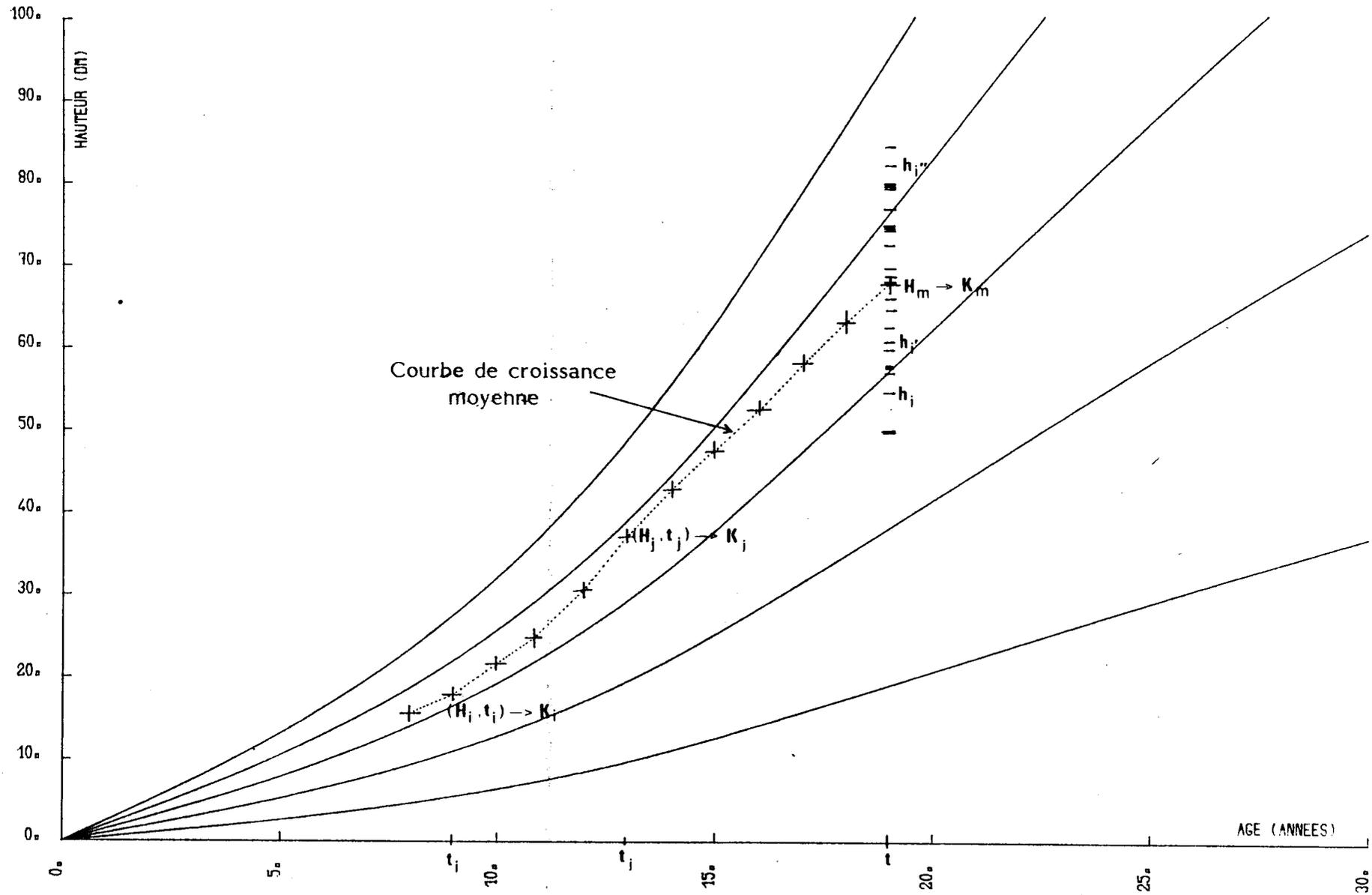


Figure n° 10



L'indice de croissance I est souvent choisi comme étant la hauteur atteinte à 50 ans :

$$I = H(50) = \lambda \cdot f(50) = \lambda \times 0,746.$$

Mais il était bien plus logique ici, compte tenu du jeune âge des reboisements étudiés, de choisir comme indice de croissance la hauteur atteinte à 15 ans.

Par la suite on utilisera donc :

$$\underline{\text{indice de croissance} = K = H(15) = \lambda \times f(15) = \lambda \times 0,16.}$$

Nous avons arbitrairement choisi de tracer un faisceau de 5 courbes correspondant aux valeurs de  $\lambda$  suivantes : 8 m, 16 m, 24 m (courbe moyenne), 32 m et 40 m, (soit pour K les valeurs correspondantes de 1,3 m, 2,6 m, 3,8 m, 5,1 m et 6,4 m) et qui définissent donc 6 classes (de I à VI, I étant la classe la meilleure).

Par la suite, nous baserons souvent nos comparaisons sur la valeur des indices de croissance. Or, les mesures que nous avons faites nous permettent le calcul de deux indices (voir figure n° 10) :

- à l'âge t (âge des plants au moment de nos mesures : hiver 83-84) nous avons mesuré la hauteur totale  $h_i$  de n plants ; on a donc facilement la hauteur moyenne

$$H_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$$

et l'indice de croissance moyen :  $K_m = \frac{0,16}{f(t)} \times H_m$

- la moyenne de nos analyses de tiges nous donne aussi la courbe de croissance moyenne du peuplement. Pour chaque année  $t_i$  on peut donc calculer un indice de croissance  $K_i = \frac{0,16}{f(t_i)} \times H_i$ . La moyenne de ces indices de croissance de chaque année nous donne donc l'indice moyen de la courbe de croissance :

$$K_C = \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} K_i$$

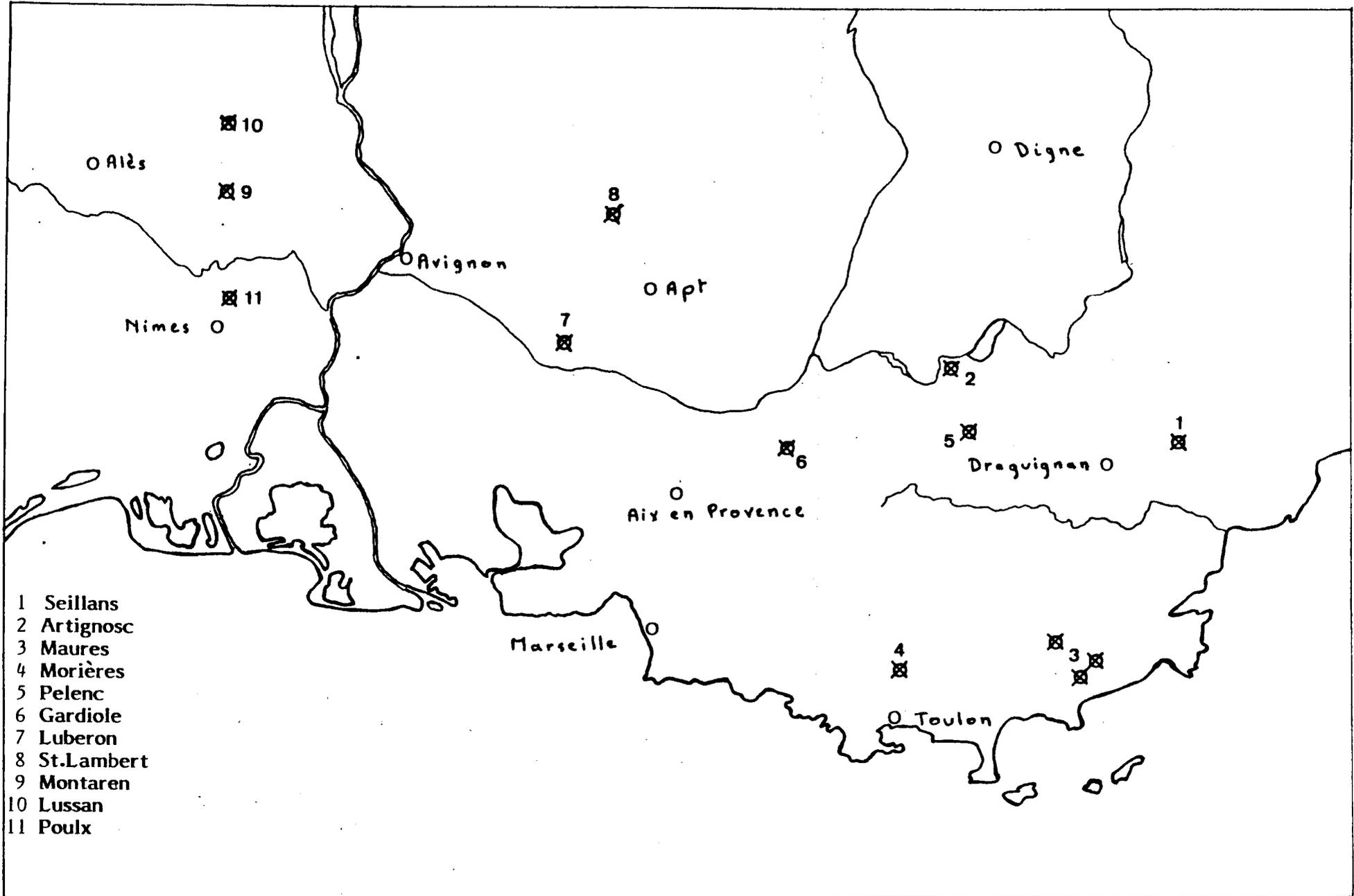
Dans la pratique, ces deux indices sont très voisins et seul  $K_m$  sera effectivement utilisé dans les comparaisons.

2

PRINCIPAUX SITES ETUDIES  
ET LEURS ENSEIGNEMENTS

---

LOCALISATION DES SITES ETUDIES



## 2.1. FORET COMMUNALE DE SEILLANS

La première introduction de cèdres dans la forêt a été faite à la suite d'un incendie qui a parcouru toute la forêt en décembre 1973. Voulant mettre à profit l'élimination de toute concurrence, il a été rapidement semé des graines sur 200 hectares.

Par la suite, en décembre 1980, ont été réalisées des plantations avec un important travail du sol, en partie sur les zones ensemencées car il ne restait presque rien du premier semis.

### 2.1.1. Station

Située dans la dépression varoise<sup>(1)</sup> ;

Altitude : 230 m, croupe<sup>(2)</sup> ;

Substratum : diorites, ayant engendré par altération un sol peu profond<sup>(2)</sup> avec une forte charge en cailloux<sup>(2)</sup> ;

Végétation, espèces dominantes<sup>(2)</sup> : chêne liège (*Quercus suber*), chêne pubescent (*Quercus lanuginosa*), bruyère arborescente (*Erica arborea*), ciste blanc (*Cistus albidus*).

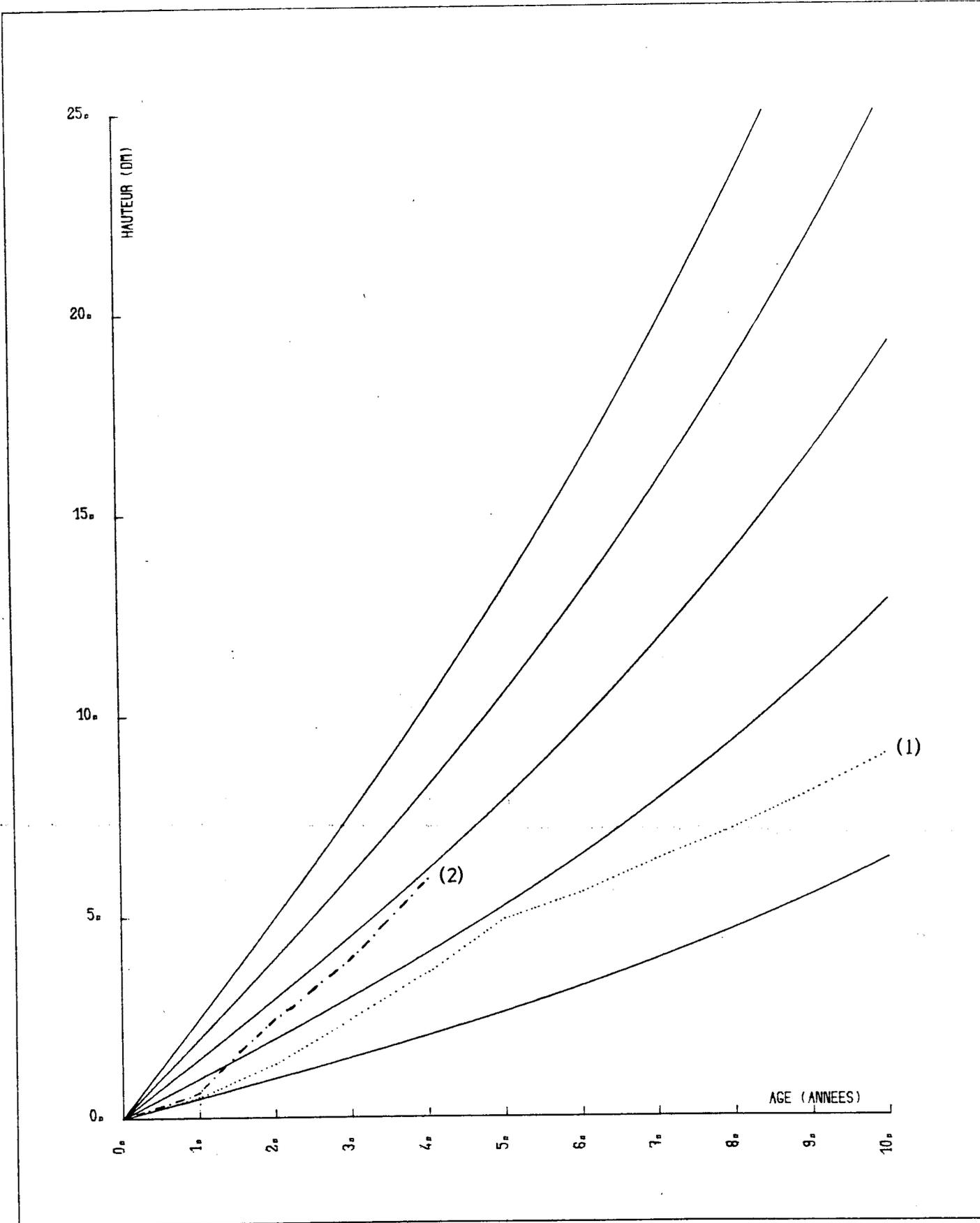
### 2.1.2. Introductions réalisées

#### 2.1.2.1. Semis

- . Confection préalable de potets piochés de (30 cm)<sup>3</sup> ;
- . Semis en février-mars 74 (trois mois après l'incendie) de 400 g de graines par hectare.

(1) Les sites sont repérés par rapport aux régions définies par l'I.F.N. (cartes de ces régions en annexe), p. 85.

(2) Termes définis dans le protocole de mesure en annexe, p. 81.



**Figure n° 11 : SEILLANS**  
Courbes de croissance moyennes  
• des semis (1)  
• des plants sur sous-solage (2)



Cependant, l'examen des analyses de tiges (voir figure 11) montre une légère baisse de croissance des semis à partir de 5 ans, baisse d'environ 0,4 unité de K.

On peut raisonnablement penser que l'on a mis en évidence l'effet de la végétation concurrente sur les semis. En effet, ayant été faits juste après un incendie, ces semis n'ont eu à subir aucune concurrence les premières années. Par la suite, le maquis s'est de nouveau développé et actuellement gêne beaucoup les plants. Nous avons pris soin de ne pas mesurer les plants visiblement "étouffés" par le maquis mais il est certain que même sur ceux pris en compte, la concurrence est importante.

Par contre, sur le reboisement sous-solé la végétation a été bien éliminée et 3 ans après la plantation, la concurrence est encore très faible.

Il semblerait donc que la concurrence provoque une baisse de croissance de l'ordre de 0,4 unité de K et que le travail du sol n'apporte donc qu'un gain d'environ 1 à 1,5 unités de K.

D'autre part, il faut aussi comparer les pourcentages de réussite :

- . pour les semis, le taux d'occupation des potets n'était que de 1 % en 1977 (4 ans après la mise en place) ;
- . pour le reboisement, ce taux est de 75 % (3 ans après la mise en place) et c'est un bon résultat.

## 2.2. FORET COMMUNALE D'ARTIGNOSC

Le chantier étudié se situe en bordure du Verdon ; il fut entièrement réalisé la même année, mais avec trois préparations différentes du terrain : potets travaillés à l'explosif, sous-solage en lignes isolées, sous-solage en plein.

### 2.2.1. Station

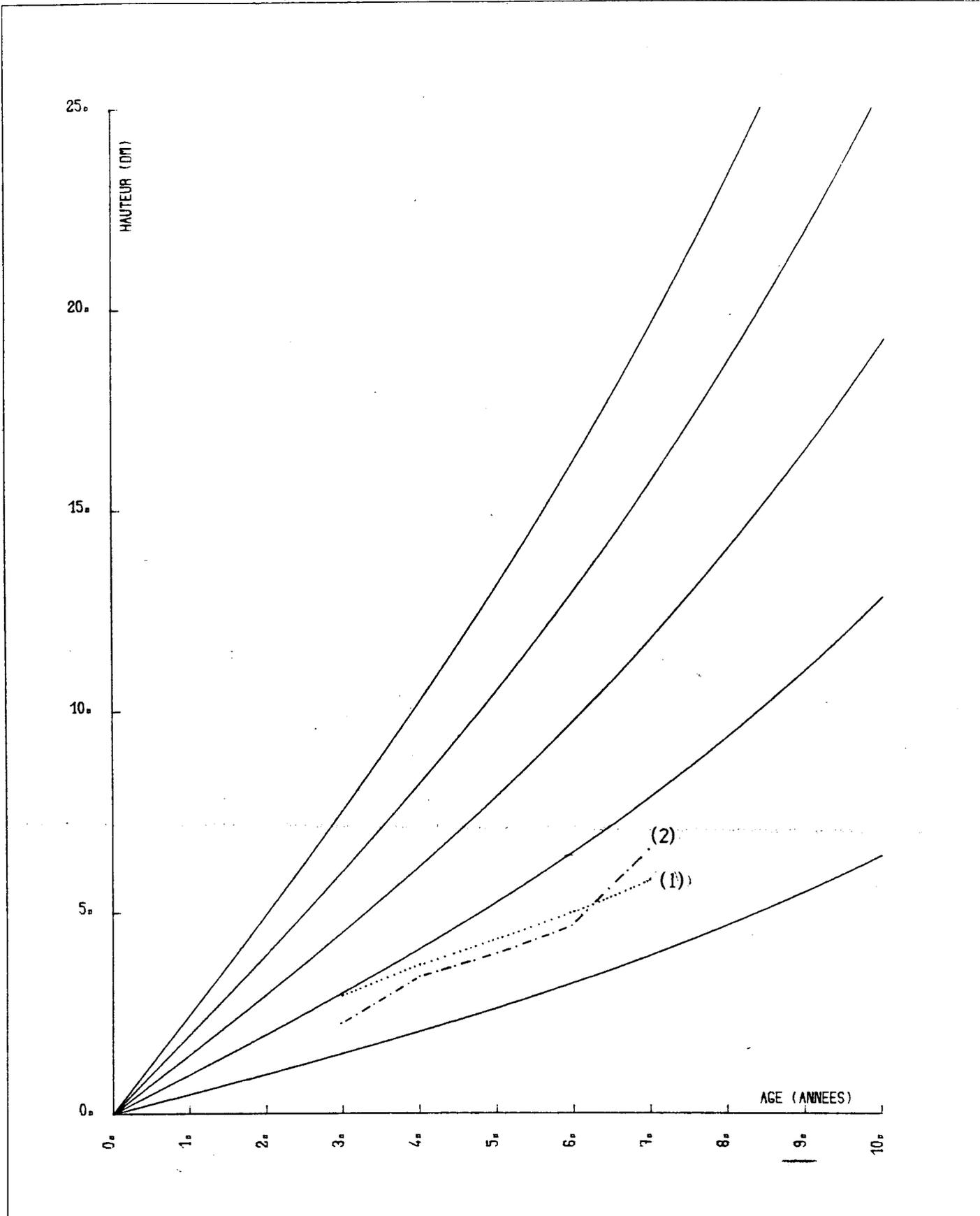
Située dans les buttes et plateaux de haute Provence ;  
 Altitude 450 m, mi-versant d'exposition Nord-Ouest ;  
 Substratum : calcaire en plaquettes (du Valanginien supérieur) ayant donné un sol de type rendzine, peu profond et avec une forte charge en cailloux ;

Espèces dominantes : chêne pubescent, pin d'Alep (*Pinus alepensis*), buis (*Buxus sempervirens*), genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), genévrier commun (*Juniperus communis*), thym (*Thymus vulgaris*).

### 2.2.2. Introductions réalisées

. Potets : débroussaillage léger au niveau de chaque potet, utilisation d'explosif agricole placé théoriquement à 50 cm de profondeur, réalisé en mars-avril 78 ; plantation faite en mars-avril 78 avec des plants 1-0G (sachet de polyéthylène, enlevé à la plantation), protection par manchons grillagés.

. Plantation en plein : décapage de la végétation avec la lame du buteur, réalisé en même temps que le sous-solage, sous-solage avec une seule dent de ripper de 1 m, fait en novembre 1977 ; plantation en mars-avril 78 avec les mêmes plants que pour les potets.



**Figure n° 12 : ARTIGNOSC**  
 Courbes de croissance moyennes  
 . des plants en potets (1)  
 . des plants sur sous-solage (2)

. Plantation en lignes : elle est en tout point identique à la plantation en plein excepté que chaque ligne est isolée dans la végétation, séparée de 30 m de la suivante.

### 2.2.3. Résultats

Tous les plants sont âgés de 7 ans.

. Potets :

- n = 26 plants
- Hm = 0,58 m  $\sigma = 0,21 \text{ m}^{(1)}$
- réussite : 55 % (26 plants vivants et 21 plants trouvés morts).

. Plein :

- n = 64 plants
- Hm = 0,66 m  $\sigma = 0,26 \text{ m}$
- réussite : 65 % (64 plants comptés sur 197 m avec un écartement théorique de 2 m ; en fait, il semble que l'écartement soit souvent supérieur et l'on a plutôt  $65 \% \leq r \leq 80 \%$ ).

. Lignes :

- n = 79 plants
- Hm = 0,63 m  $\sigma = 0,25 \text{ m}$
- réussite : 40 % (là aussi, il est difficile de se fier à l'écartement théorique car le sous-solage a soulevé de très gros blocs et les plants ont été placés dans les poches de terre utilisables et donc avec un écartement très variable. On peut simplement dire que la réussite sur ces lignes doit être un peu plus faible que sur le peuplement plein).

. Comparaison de la croissance des reboisements en plein et en ligne :

$$\xi_1 = \frac{0,66 - 0,63}{\sqrt{\frac{(0,26)^2}{64} + \frac{(0,25)^2}{79}}} = 0,70$$

Les deux moyennes ne sont donc pas significativement différentes (au seuil de 5 %). Les deux techniques ont donc donné

$$(1) \quad \sigma : \text{écart type} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_m)^2}{n-1}}$$

des résultats identiques. Cela paraît logique car seule la concurrence aurait pu provoquer des différences en étant a priori beaucoup plus importante sur les lignes isolées. Or, en fait, sur cette station pauvre, la végétation ne recolonise que très lentement les lignes de sous-solage, et après 7 ans il n'y a aucune concurrence au niveau des plants.

. Comparaison de la croissance des reboisements en plein et en potet :

$$\varepsilon_2 = \frac{0,66 - 0,58}{\sqrt{\frac{(0,26)^2}{64} + \frac{(0,21)^2}{26}}} = 1,52$$

Là aussi on peut considérer que les deux moyennes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Il faut pourtant remarquer que les potets ont été faits dans un léger thalweg et en choisissant les endroits où le sol était plus profond. Le terrain était donc a priori légèrement plus favorable et pourtant la croissance n'est pas meilleure que sur sous-solage. En fait, l'explosif employé n'a pas beaucoup augmenté le volume de sol exploitable ; la roche-mère qui est assez proche et affleure même souvent, n'a jamais été brisée et les potets ont donc une profondeur assez faible (60 cm au maximum et 25 cm au minimum alors qu'il était prévu de placer la cartouche d'explosif à 50 cm de profondeur). L'explosif n'était peut-être pas assez puissant ou bien utilisé.

Le sous-solage a permis sur ce terrain défavorable (surtout par la très faible épaisseur du sol) l'installation d'un boisement avec un assez bon pourcentage de réussite (environ 70 % après 7 ans) mais la croissance reste tout de même médiocre (classe V). On peut cependant noter la tendance des plants sur sous-solage à mieux pousser ces dernières années et à rattraper le retard pris au départ : l'effet bénéfique du sous-solage se ferait donc sentir assez longtemps, alors que le faible volume du potet ne suffirait plus aux plants après 4 ou 5 ans (tout en ayant permis une bonne installation).

### 2.3. FORET DOMANIALE DES MAURES

Dans cette forêt, il existe quelques bouquets de cèdres âgés, mais les introductions notables n'ont commencé que vers 1970. Depuis cette date, le cèdre a surtout été introduit en dispersion (technique des placeaux) et plus rarement en peuplement plein.

#### 2.3.1. Station

La forêt se situe dans la zone "Maures et bordure permienne".

Substratum : ce sont des micaschistes ou des gneiss donnant des sols de type ranker, de profondeur et de charge en cailloux variables surtout en fonction de la position topographique.

Végétation, espèces dominantes : on a souvent un maquis dense avec arbousier (*Arbutus unedo*), bruyère arborescente et chêne liège. On trouve parfois aussi du chêne vert, du châtaignier (*Castanea sativa*) et du pin maritime (*Pinus pinaster*).

#### 2.3.2. Introductions réalisées

Nous avons étudié un reboisement en bandes (celui du Landon) et trois dispositifs de placeaux de dispersion.

- Bandes du Landon :

Elles sont larges de 10 m avec 2 lignes de plants, Débroussaillage manuel avec destruction des souches en février 1972,

Ouverture des potets à la tarière hélicoïdale (profondeur 40 cm) en mars 1973,

Plantation de plants 1-0G (sachet polyéthylène ou motte pressée) en mars 1973.

Cette plantation avait un but plus ou moins expérimental et devait permettre de définir l'effet d'un fertilisant : l'humater, et de trois débroussaillants : le 2.4.5.T, le sepimate (cristaux de sulfate d'ammonium) et le mélange paraquat-simazine. Il y a bien sûr des témoins non fertilisés ou non débroussaillés chimiquement, mais pas de témoins absolus n'ayant reçu aucun traitement. Ne voulant pourtant pas introduire ce paramètre supplémentaire (les produits chimiques) dans nos comparaisons, nous nous sommes placés dans les zones où les modalités employées avaient eu le moins d'effet (nous nous sommes basés sur l'exploitation des résultats, de l'expérience, et nous avons donc mesuré les arbres n'ayant reçu aucun débroussaillant car le fertilisant s'est avéré très peu efficace).

- Placeaux :

Nous avons étudié trois dispositifs :

- Roussel : Placeaux de 10 m x 10 m avec 9 plants, 1 placeau par hectare ;

Ouverture des layons, démaquisage et dessouchage des placeaux manuellement, ouverture des potets à la tarière hélicoïdale à 40 cm de profondeur (diamètre 27 cm), fait 1 à 2 mois avant la plantation ;

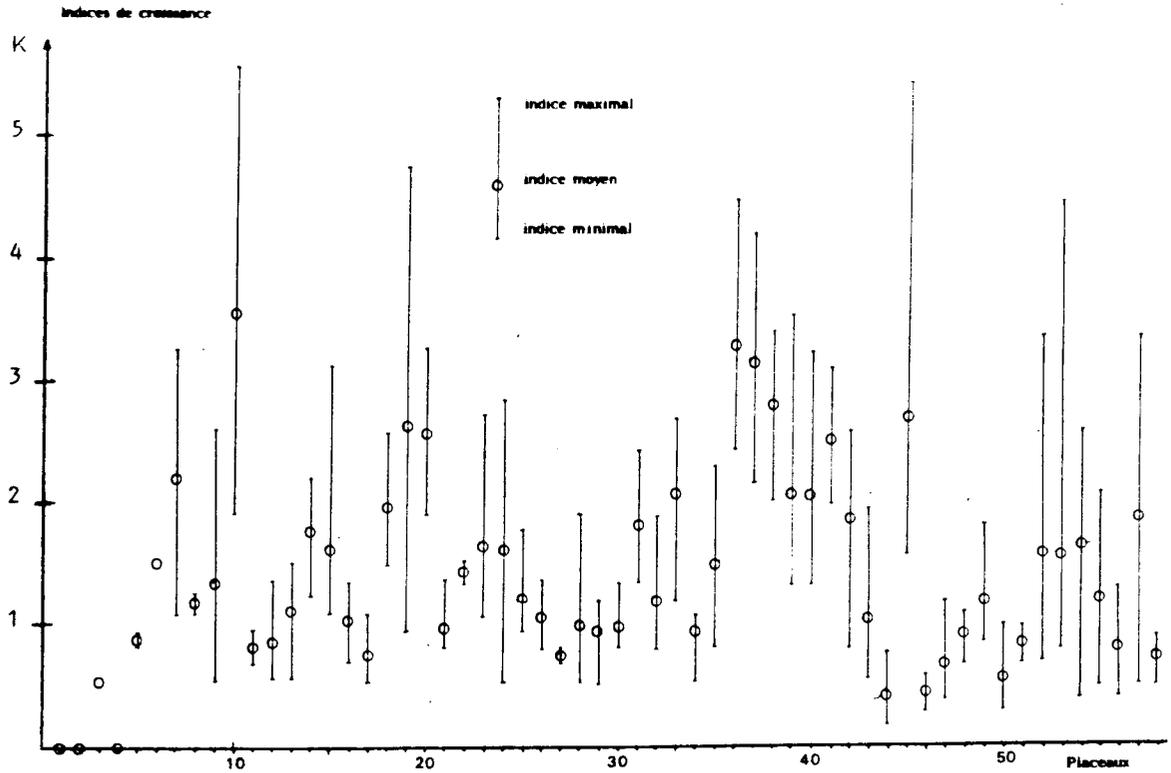
Plantation en février 1975 de plants 1-0G (sachet de polyéthylène enlevé à la plantation) avec manchons de protection.

- Labade et Ragusse : la technique est identique excepté que les placeaux ne font que 7m x 7m et n'ont que 5 plants.

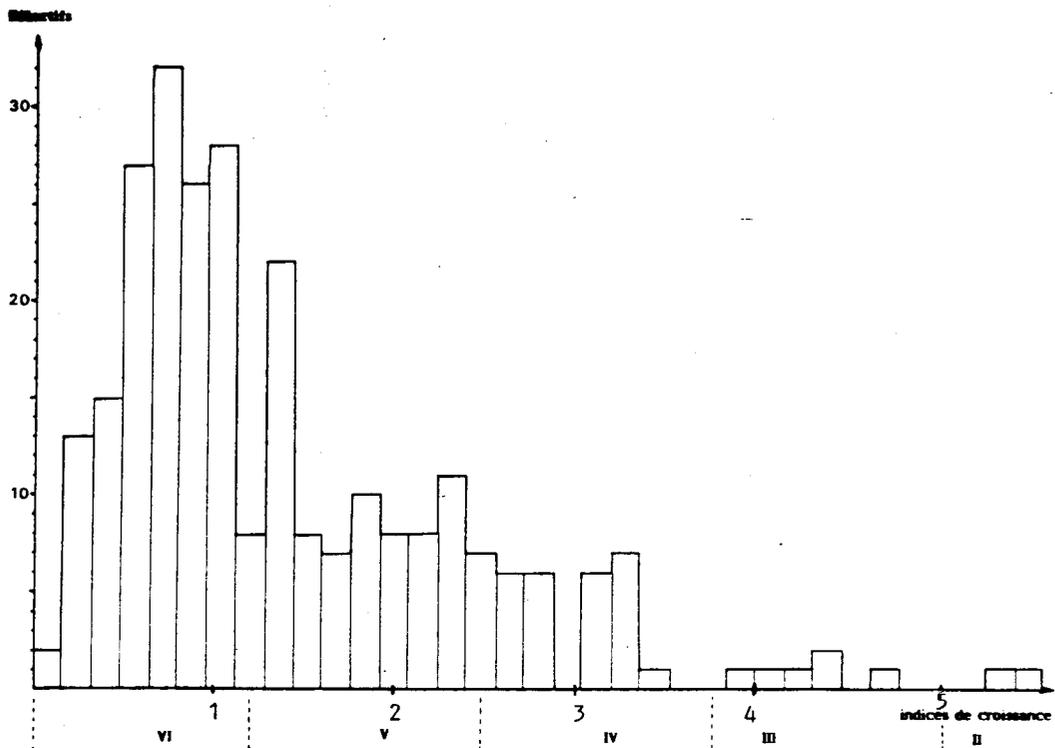
Plantation en décembre 1976 (Labade) et en mars 1977 (Ragusse).

### 2.3.3. Résultats

Nous allons tout d'abord analyser les résultats obtenus sur les placeaux, après quoi nous essaierons de les comparer à ceux obtenus sur les bandes.



**Figure n° 13 - Placeaux des Maures**  
Variation des indices de croissance par placeau



**Figure n° 14 - Placeaux des Maures**  
Histogramme des indices de croissance

2.3.3.1. Placeaux

Nous avons fait cette analyse pour tester une première hypothèse qui consistait à admettre que, sur une zone assez homogène comme les Maures, nous pouvions ne pas tenir compte des conditions de station pour juger de la qualité des différents reboisements (voir à ce sujet le paragraphe 1.2.2.1.).

Dispositifs	Roussel	Labade	Ragusse	Ensemble
Age	10 ans	8 ans	8 ans	-
n	121 plants	84 plants	60 plants	-
Réussite	85 %	67 %	39 %	74 %
Hm	0,59 m	0,64 m	0,61 m	-
CV	74 %	54 %	65 %	67 %
Km	1,2 m	1,7 m	1,7 m	1,5 m

Réussite : elle est, pour l'ensemble des dispositifs, de 74 % (après environ 10 ans), ce qui peut être considéré comme un assez bon résultat. Pourtant, si l'on tient compte de tous les regarnis effectués, le résultat devient assez moyen : 49 %.

Croissance : elle est, en moyenne, faible (classe V)

Km = 1,5 m

cv = 67 %

Il faut pourtant remarquer la très forte variation des indices de croissance, d'une part entre les arbres d'un même plateau (il y a souvent des différences d'une classe de croissance entre le plus grand et le plus petit arbre d'un plateau, et cette différence atteint même parfois 3 classes : placeaux 10, 19, 45 et 53 ; voir figure n° 13), d'autre part entre les arbres de tous les plateaux (cv = 67 %, beaucoup de plants ont une très faible croissance, de classe VI alors que les autres peuvent atteindre des croissances de classe II, voir figure n° 14).

21 a

MAURES  
Plants de terres

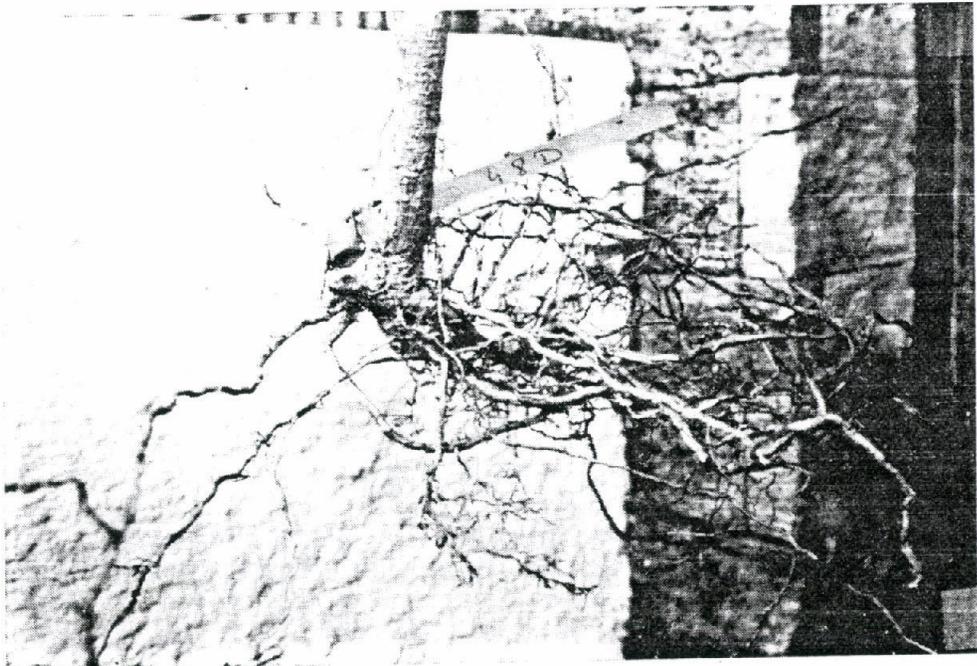
53 D



44 H



56 D



De telles variations devaient être expliquées. Elles pouvaient résulter de variations des conditions stationnelles (et ceci infirmerait donc notre hypothèse préalable). Mais nous n'avons pas pu déduire de l'analyse de nos relevés, de relations entre la croissance et la station (le seul point apparent c'est que la position topographique 1-plateaux et replats- semble correspondre en général, à de meilleures croissances). Peut-être que les conditions stationnelles n'ont donc effectivement que peu d'influence sur la croissance juvénile.

Elles pouvaient aussi résulter d'une mise en place des plants pas toujours bien faite et qui aurait pu empêcher leur développement (on pouvait ainsi expliquer les très fortes variations de croissance sur un même plateau suivant que chaque plant aurait été bien ou mal planté). Pour vérifier ce point, nous en avons détérré quelques-uns (22).

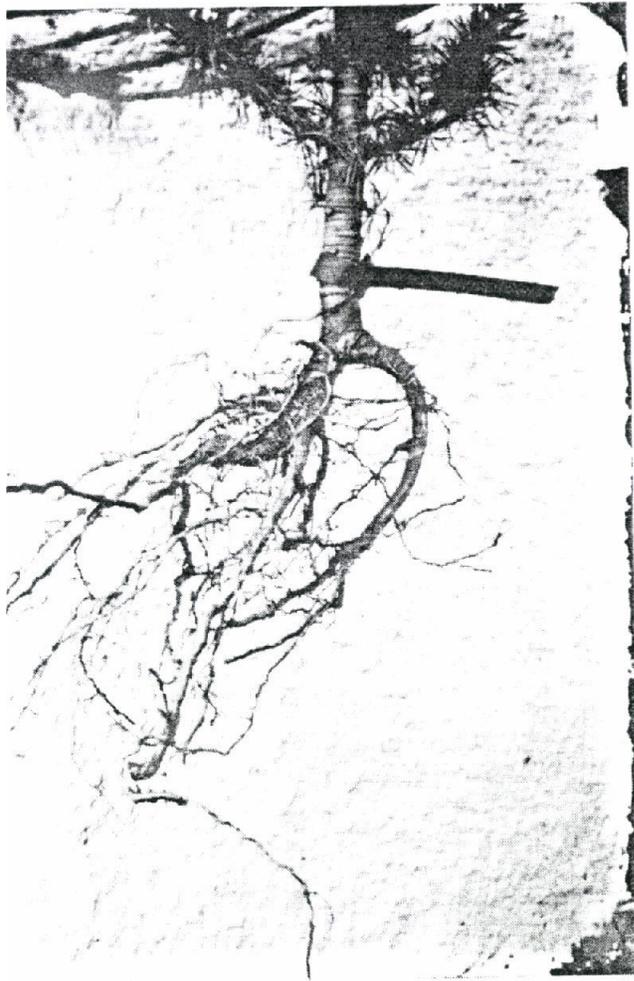
La première conclusion qui s'impose à l'examen des plants détérrés, c'est que, sur beaucoup d'entre eux, le système racinaire présente d'importantes déformations avec souvent une absence de véritable pivot au-delà de 20 ou 25 cm. D'autre part, comme nous le pensions, les déformations racinaires correspondent souvent à une mauvaise croissance:

- . Plant 53D : il y a un pincement du pivot qui doit certainement empêcher une bonne alimentation ;
- . 44H : il n'y a pas de racines en profondeur et le plant est donc très sensible à la sécheresse ;
- . 56D : dans ce cas aussi l'absence de racines profondes (de pivot surtout) est très préjudiciable, depuis seulement quelques années.

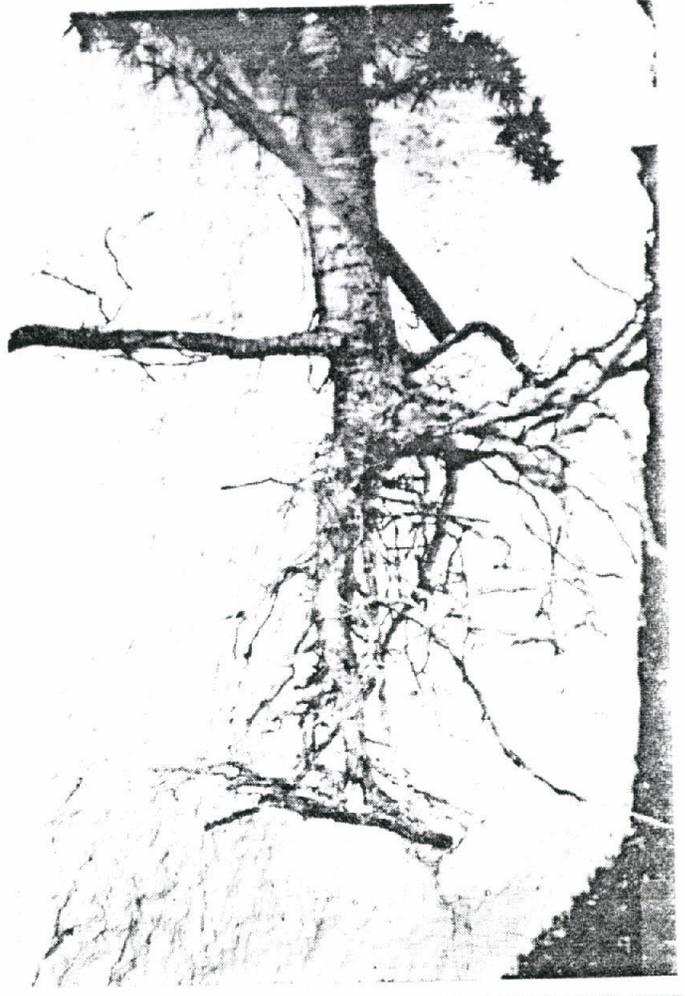
De même, l'absence de déformations correspond souvent à la bonne croissance d'autres plants : 7B, 9A, 10B et 45A. Tous ces plants ont un pivot qui part en profondeur, ainsi que de nombreuses racines latérales.

Pourtant, tout n'est pas aussi simple. Ainsi, nous avons des plants qui ne présentent pas de déformations mais qui ne

7 B



10 B



45 A



9 A



Analyses de tige des plants déterrés

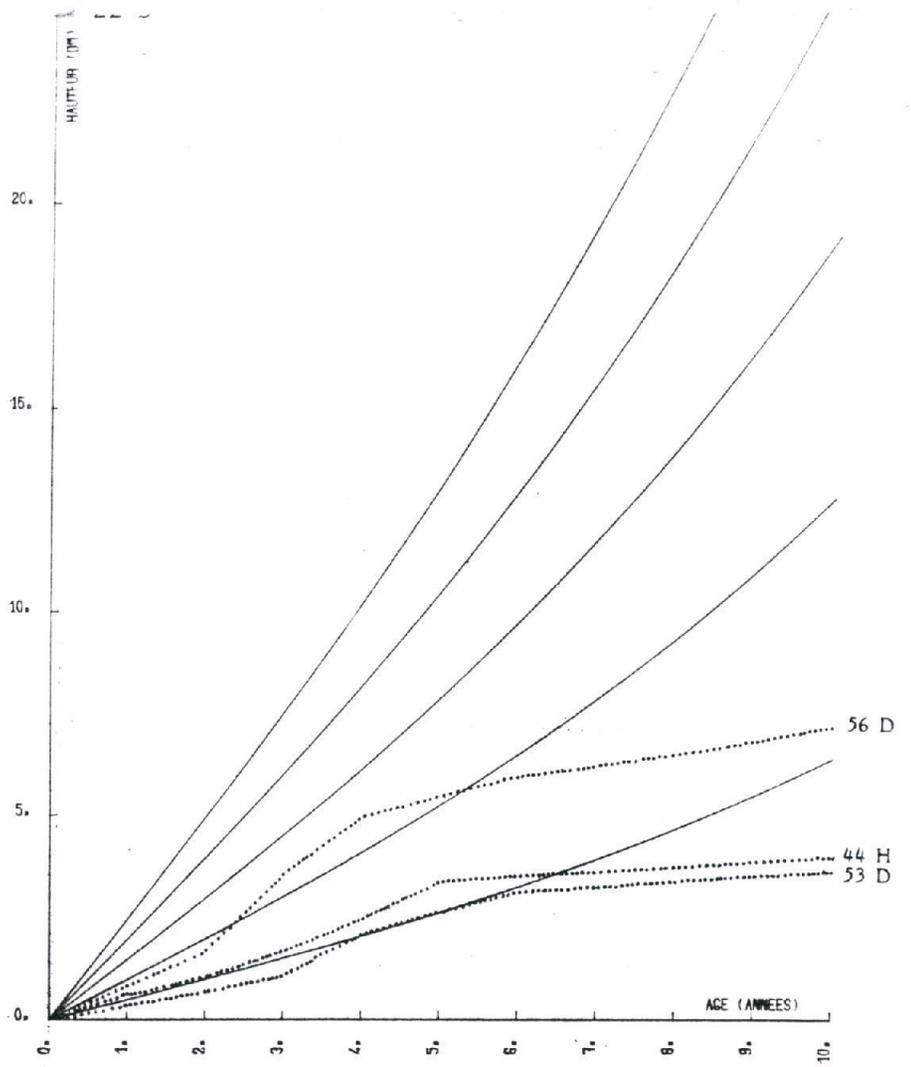


Figure n° 15

Figure n° 16

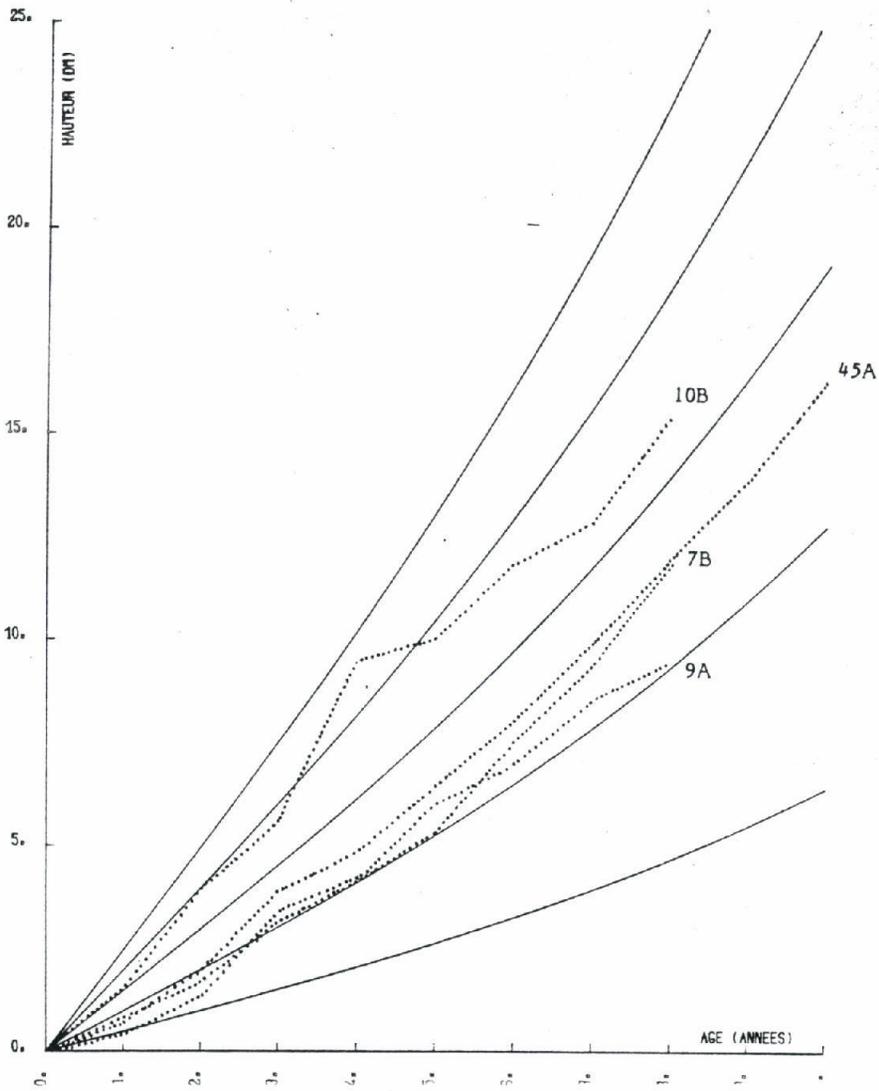


Figure n° 17

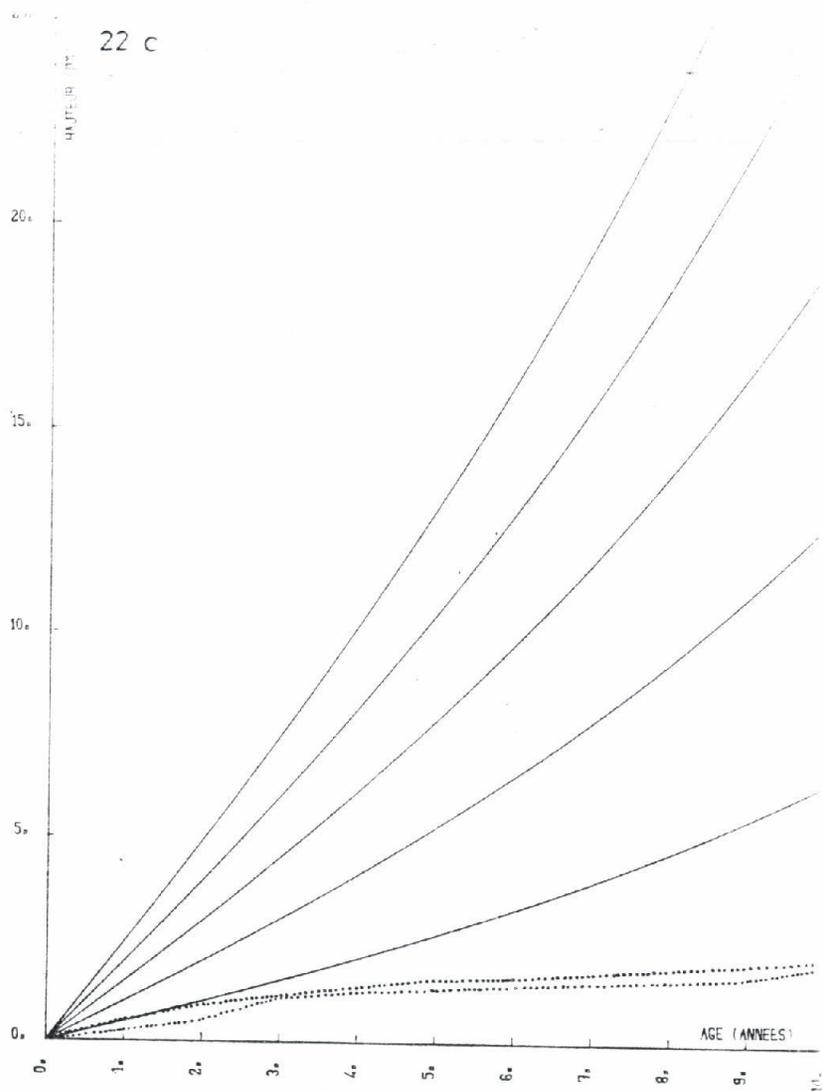
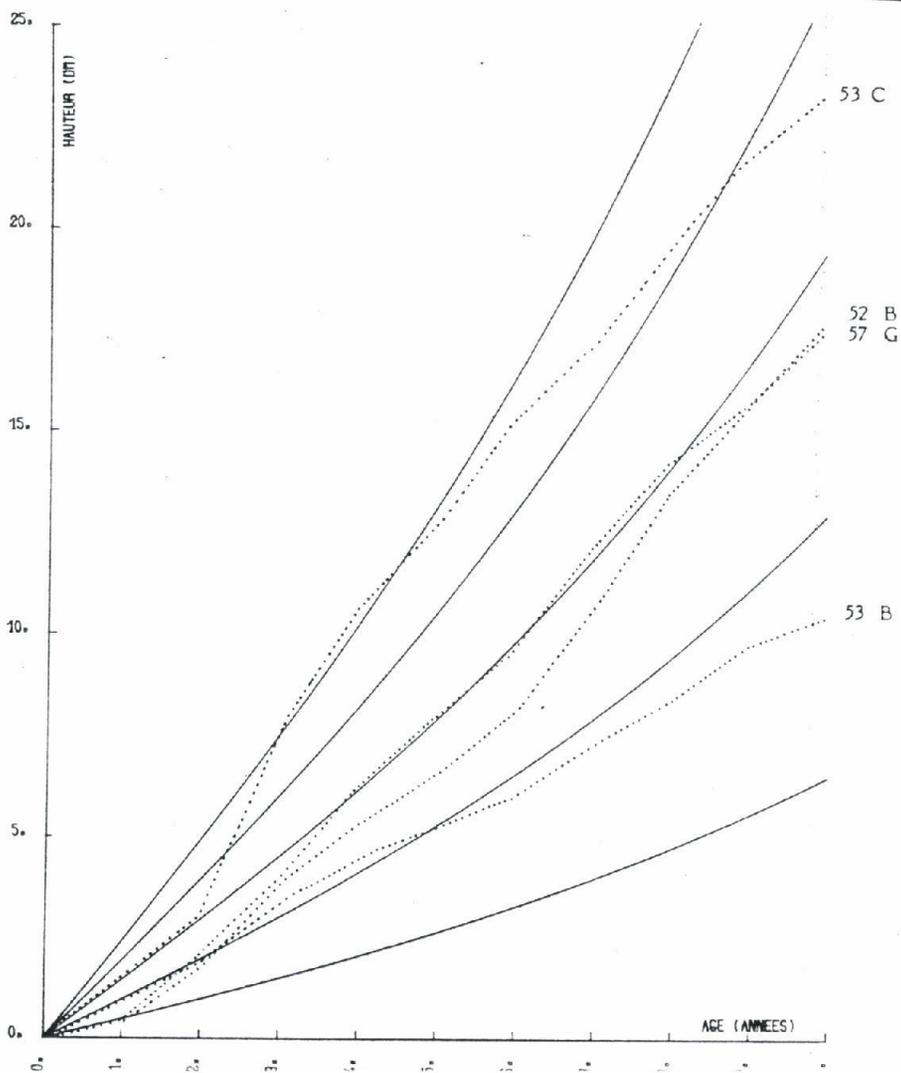
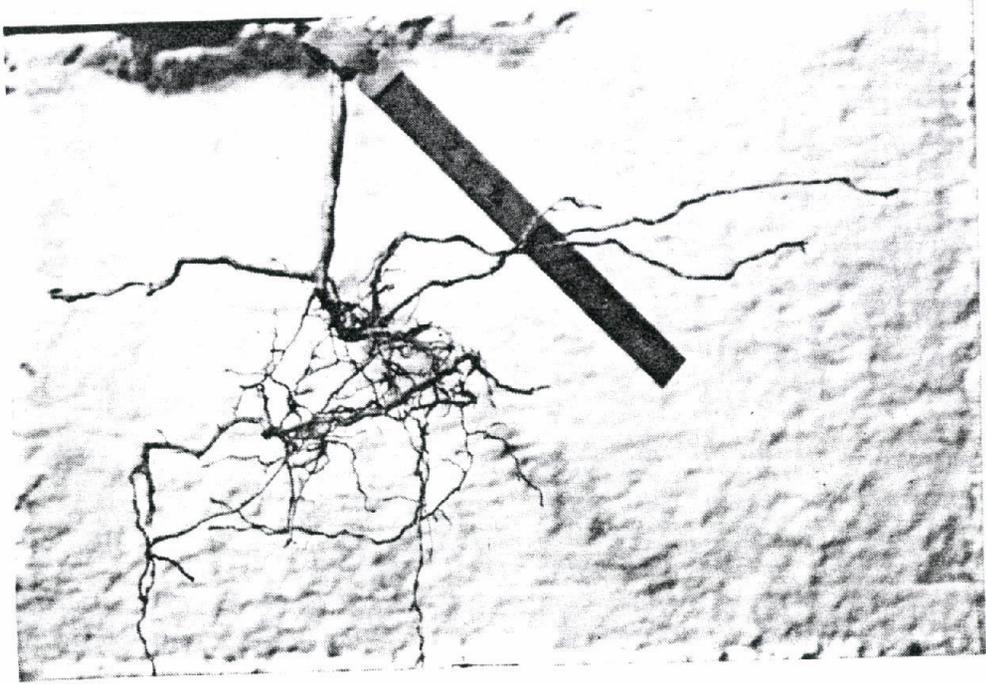


Figure n° 18

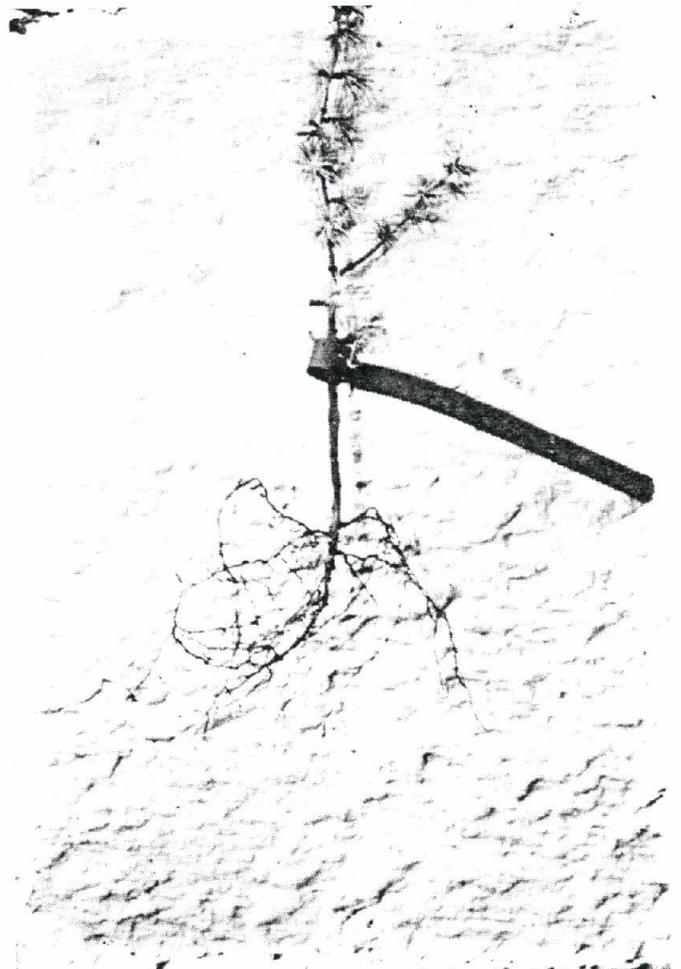


22 d

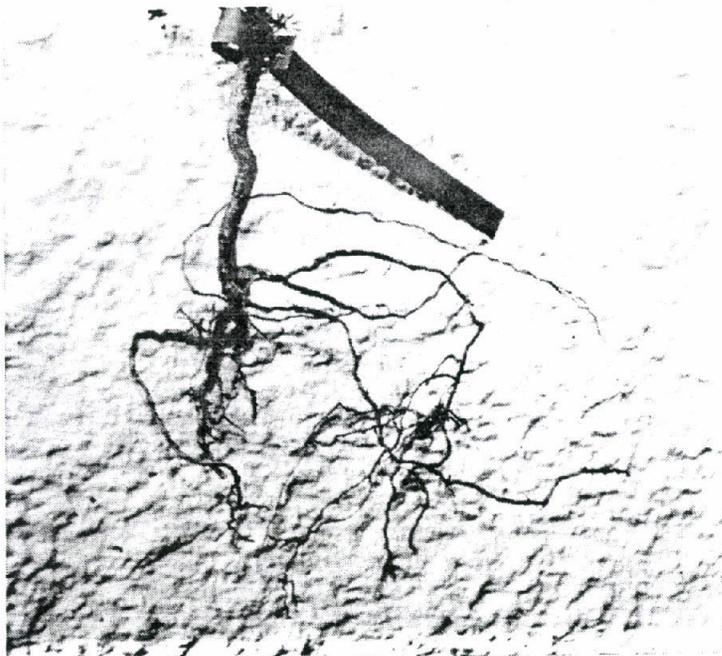


44 D

9 D

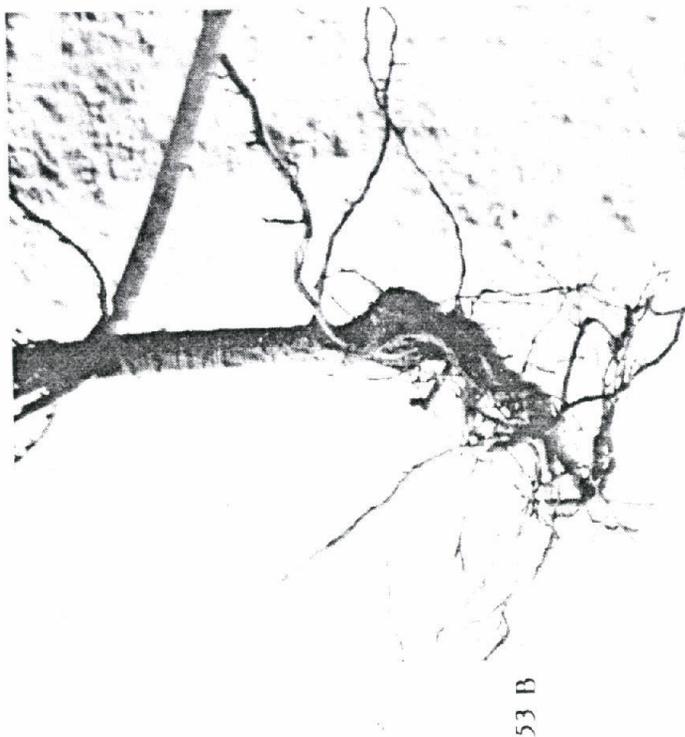


56 B





53 C



53 B



52 B



57 G

poussent pratiquement pas (9D, 44D, 56B) et d'autres qui, malgré d'importantes déformations poussent parfois très bien (53C, 57G, 52B, 53B). L'examen des conditions stationnelles peut alors compléter ces observations et expliquer certains échecs ou réussites :

- . 44H : la station est défavorable car il y a de très fortes charges en cailloux, le maquis est d'ailleurs très bas (50 cm), l'indice de croissance moyen est le plus faible de tous les placeaux mesurés ;
- . 53C, 57G, 52B : la pente assez forte (25 à 45 %) a joué un rôle favorable en permettant le développement de racines latérales dans le talus et qui ont donc compensé l'absence de pivot profond.

Il faut donc retenir de cette analyse que ni la technique de plantation (considérée dans son ensemble, avec notamment la phase de mise en place des plants), ni les conditions de stations ne pouvaient expliquer entièrement les variations de croissance et qu'il fallait en fait tenir compte des deux à la fois, pour juger la croissance d'un reboisement. C'est ce qui nous a amené à définir, pour la suite de notre étude, la notion de site.

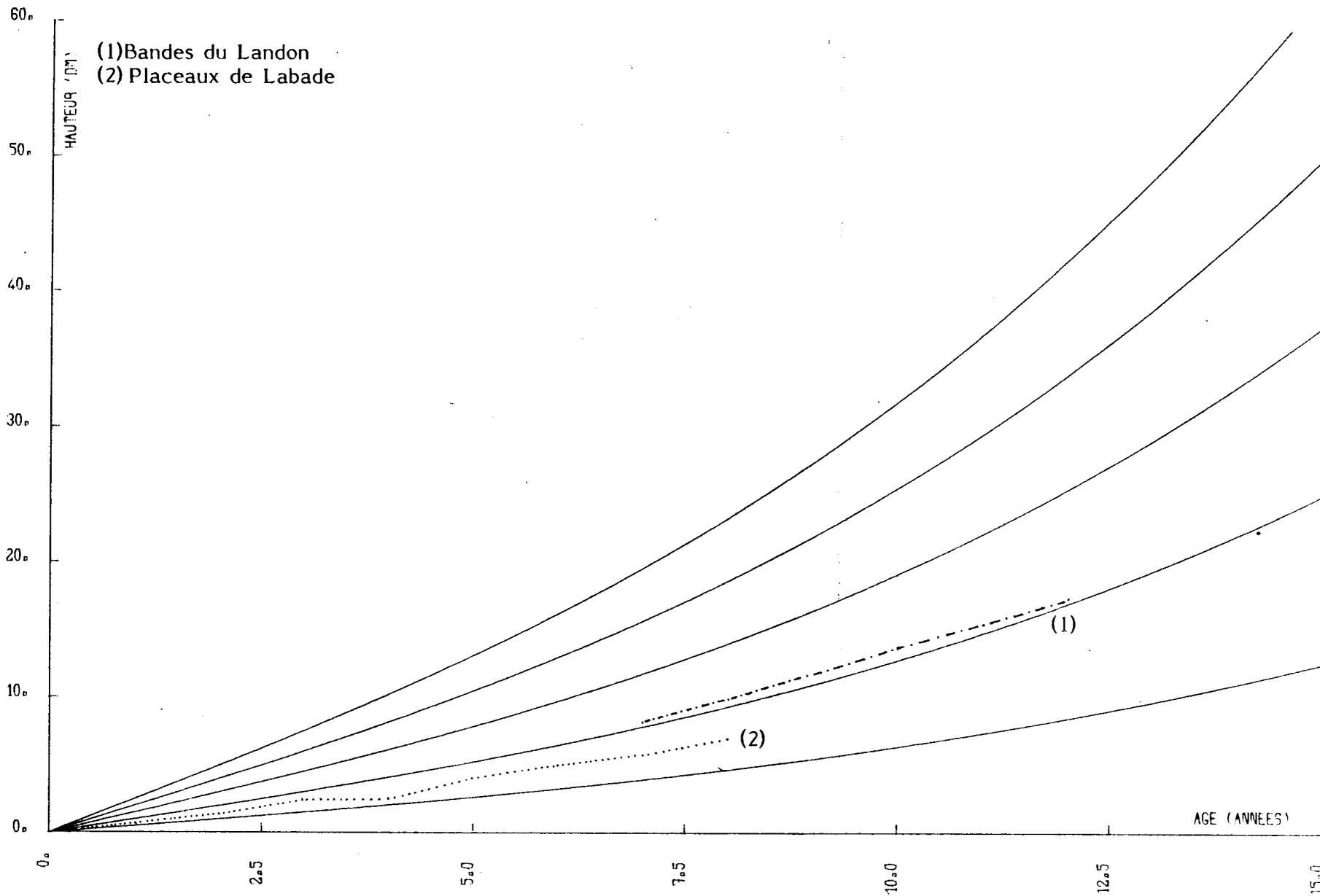
#### 2.3.3.2. Comparaison bandes-placeaux

Nous sommes revenus ici à l'étude de nos reboisements sur un site et nous comparons donc les bandes du Landon et les placeaux qui sont situés sur la même station (nous n'avons tenu compte que des placeaux proches du reboisement en bandes, c'est-à-dire une partie du dispositif de Labade).

. Placeaux :

- Plants âgés de 8 ans, n = 32
- Hm = 0,70 m cv = 59 %
- Km = 1,9 m Kc = 1,9 m
- réussite : 63 % (38 plants vivants sur 12 placeaux de 5 plants).

**Figure 19 MAURES**





semble qu'il y ait un pivot qui parte en profondeur et peu de déformations).

Ainsi, il semblerait que sur ce site étudié dans les Maures, le manque de soin apporté à la mise en place puisse provoquer une perte de croissance notable, qui est ici d'environ une demi-classe de croissance.

## 2.4. FORET DOMANIALE DES MORIERES

Sur ce site, nous avons étudié trois reboisements différents : le plus ancien est en fait constitué de petits bouquets introduits à proximité des pistes et sans travail du sol important ; le second, un peu à l'extérieur de la forêt domaniale, a bénéficié d'un travail du sol mécanique (sous-solage) ; et le plus jeune est un reboisement en placeaux de dispersion avec ouverture des potets à l'explosif.

### 2.4.1. Station

Il faut d'abord remarquer que les différents reboisements sont relativement éloignés les uns des autres (de 1 à 3 km), et les stations ne sont donc pas rigoureusement identiques.

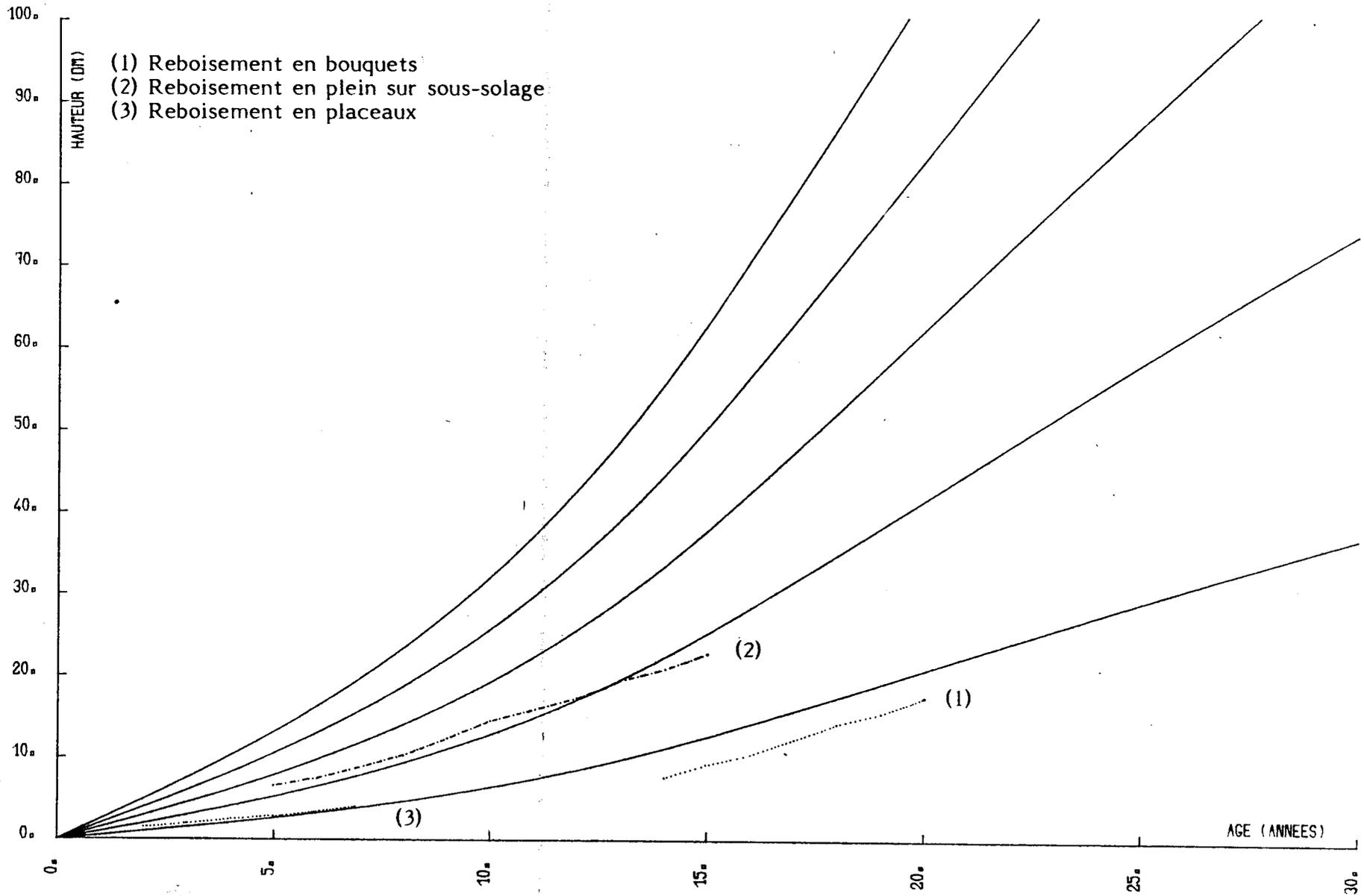
Pourtant, les différents relevés de station et de végétation faits sur chaque point de mesure (voir en annexe, p. 88) montrent qu'il n'y a pas de différences importantes : la roche-mère est partout la même (calcaires du Valanginien et du Barrémien) ayant engendré par altération un sol profond d'environ 30 à 35 cm avec une assez forte charge en cailloux. On retrouve aussi souvent les mêmes espèces :  
chêne vert, chêne pubescent, thym, genêt d'Espagne .

Nous avons donc admis, malgré quelques réserves possibles, que nous pouvions comparer ces trois reboisements.

### 2.4.2. Introductions réalisées

. Bouquets : les plants ont été introduits sur des potets piochés, sans coupe du taillis au-dessus (qui est donc toujours présent). Faisant partie de la bande pare-feu, ces bouquets sont régulièrement débroussaillés. Plantation pendant l'hiver 1965-66.

**Figure 20. MORIERES**



. Plein : débroussaillage et sous-solage simultané, le sous-solage étant fait à 50 cm de profondeur. Plantation pendant l'hiver 1970-71.

. Placeaux : placeaux de dispersion de 10m x 10m avec trois plants par placeaux. Potets travaillés à l'explosif agricole (100 g) placé à 60 cm de profondeur. Plantation en mars 78 de plants 1-0G (sachet de polyéthylène, enlevé à la plantation).

### 2.4.3. Résultats

. Bouquets :

- Plants âgés de 20 ans,      n = 17
- Hm = 1,69 m                       $\sigma = 0,60$  m                      cv = 36 %
- Km = 1,0 m                              Kc = 1,0 m

. Plein :

- plants âgés de 15 ans,      n = 48
- Hm = 2,29 m                       $\sigma = 0,89$  m                      cv = 39 %
- Km = 2,3 m                              Kc = 2,8 m

. Placeaux :

- Plants âgés de 7 ans      n = 18
- Hm = 0,38 m                       $\sigma = 0,12$  m                      cv = 32 %
- Km = 1,2 m                              Kc = 1,3 m
- réussite : d'après un comptage fait par l'ONF sur tous les placeaux, en octobre 1978 : 75 %. Les 25 % d'échec la première année sont surtout dûs aux sangliers qui ont déterrés certains plants.

. Comparaison de ces résultats :

- Bouquets et placeaux :

$$\epsilon_1 = \frac{1,2 - 1,0}{\sqrt{\frac{(1,2 \cdot 0,32)^2}{18} + \frac{(1,0 \cdot 0,36)^2}{17}}} = 1,77$$

- Bouquets et plein :

$$\epsilon_2 = \frac{2,3 - 1,0}{\sqrt{\frac{(2,3 \cdot 0,39)^2}{48} + \frac{(1,0 \cdot 0,36)^2}{17}}} = 8,1$$

- Placeaux et plein :

$$\xi_3 = \frac{2,3 - 1,2}{\sqrt{\frac{(2,3 \cdot 0,39)^2}{48} + \frac{(1,2 \cdot 0,32)^2}{18}}} = 6,9$$

Il apparaît donc que les résultats du reboisement sur sous-solage sont très significativement meilleurs que ceux obtenus avec les deux autres techniques qui, entre elles, sont peu différentes.

L'explosif employé sur les placeaux n'a donc pas permis une croissance vraiment meilleure que celle obtenue sur les bouquets où les potets ont été simplement travaillés à la pioche. Ici encore, il faut noter que les potets travaillés à l'explosif n'ont qu'une faible profondeur (environ 40 cm) car la roche-mère est souvent assez proche et n'a jamais été brisée. L'explosif a simplement permis de remuer l'épaisseur de sol existante et c'est à peu près équivalent à ce que l'on peut faire avec une pioche.

Par contre, le sous-solage a ici permis une meilleure croissance. La différence avec les reboisements non sous-solés est d'environ une classe de croissance mais il faut tenir compte du fait que sur les placeaux et surtout sur les bouquets (où le taillis de chênes est toujours présent), la concurrence est plus importante. Le gain réel apporté par le sous-solage doit donc être d'un peu moins d'une classe de croissance (au moins pour les 15 premières années).

Il faut aussi remarquer que, sur des stations qui semblent tout de même difficiles, la croissance reste dans l'absolu assez médiocre même avec un travail du sol important (on atteint au maximum la classe IV).

## 2.5. FORET DOMANIALE DU PELENC

Comme dans plusieurs forêts domaniales du Var, le cèdre a été introduit ici en placeaux de dispersion. Nous avons pu comparer ces introductions et d'autres plus anciennes, réalisées en bandes.

### 2.5.1. Station

Située dans les buttes et plateaux de Haute Provence.

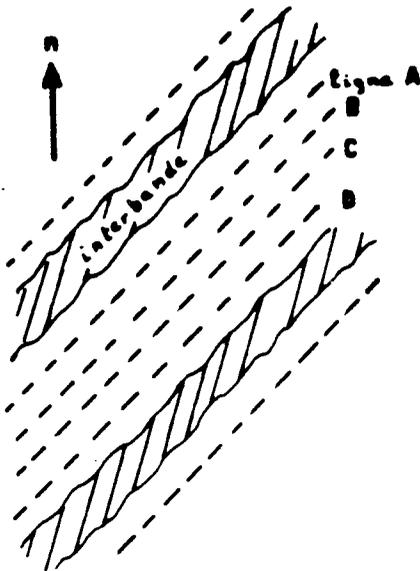
Altitude 500 m, plateau ;

Substratum : calcaire du Valanginien supérieur, donnant un sol assez peu profond ;

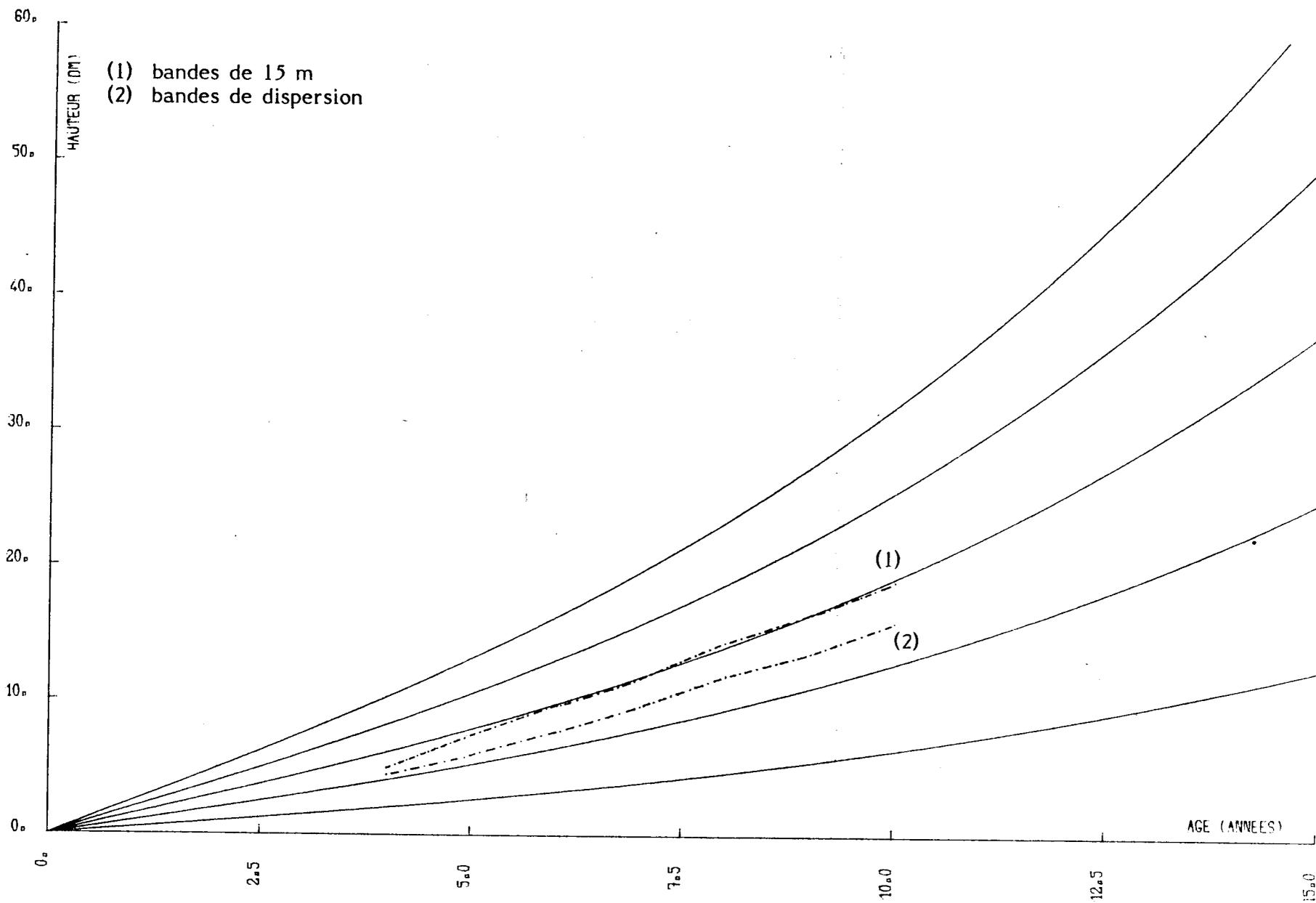
Espèces dominantes : chêne vert et chêne pubescent.

### 2.5.2. Introductions réalisées

. Bandes de 15 m : Ces bandes sont larges de 15 m avec 5 m d'interbande et 4 lignes de plants (A, B, C et D) par bande. Débroussaillage, dessouchage et sous-solage à environ 80 cm de profondeur avec un boteur de 380 CV, en juillet 1974, ; plantation en décembre 1974 de plants 1-0G (sachet polyéthylène dont le fond a été coupé et deux côtés totalement fendus et retroussés lors de la mise en place).



**Figure n° 21 PELENC**



. Bandes de dispersion : Ici les bandes sont isolées, moins larges (8 m) et avec seulement deux lignes de plants. Toutes les autres caractéristiques de la plantation sont identiques à celles des bandes de 15 m.

. Placeaux de dispersion : Un placeau de 10 m x 10 m tous les hectares, avec 3 plants. Débroussaillage en février 1976, ouverture des potets à l'explosif agricole placé théoriquement à 50 cm de profondeur, en mars 1977. Plantation en mars 1977 de plants 1-0G (sachet polyéthylène enlevé à la plantation). Deux ans après la plantation, la réussite n'était que de 40 % et il a été effectué des regarnis en mars 1979 (60 % des plants sont donc des plants 1-0G plantés en mars 1979).

### 2.5.3. Résultats

. Bandes de 15 m : Plants âgés de 10 ans. Nous avons mesuré séparément chaque ligne :

Lignes	Hm	$\sigma$	n
A	1,77 m	0,66 m	115
B	2,05 m	0,65 m	118
C	2,13 m	0,58 m	119
D	1,61 m	0,62 m	120
B et C	2,09 m	0,63 m	237
A et D	1,68 m	0,64 m	235
toutes	1,89 m	0,67 m	472

$K_m = 3,8$  m

$K_c = 3,7$  m

réussite : 85 % (472 plants sur 1385 m avec un écartement théorique de 2,50 m).

. Bandes de dispersion : plants âgés de 10 ans.

n = 194

Hm = 1,57 m

$\sigma = 0,56$  m

$K_m = 3,1$  m

$K_c = 3,0$  m

réussite : 81 % (194 plants sur 600 m).

. Placeaux : 40 % des plants sont âgés de 8 ans et 60 % de 6 ans.

n = 48

Hm = 0,28 m

$\sigma = 0,15$  m

Km = 0,4 (Km)<sub>1</sub> + 0,6 (Km)<sub>2</sub> = 1,0 m

$$[(Km)_1 = \frac{0,16 \times Hm}{f(8 \text{ ans})} = 0,8 \text{ m} ; (Km)_2 = \frac{0,16 \times Hm}{f(6 \text{ ans})} = 1,1 \text{ m}]$$

réussite : 73 % (8 ans après la première plantation et avec regarnis)

. Comparaison des différents résultats :

Placeaux	20,1	29,5						
	bandes de dispersion	6,3	<u>1,9</u>	9,1				
		bandes de 15m						
		lignes	A et D	7,0				
			B et C					
				A	3,3	4,4	<u>1,9</u>	
					B	<u>1,0</u>	4,3	
						C	5,2	
							D	

Valeurs de  $\epsilon$

$$\epsilon = \frac{km - k'm}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n} + \frac{\sigma'^2}{n'}}$$

On remarque tout d'abord, que les placeaux sont nettement différents des deux autres reboisements et que leur croissance est très faible. Cela peut provenir d'une préparation du sol insuffisante : il n'a pas été réalisé ici de travail mécanique du sol, les potets ayant été ouverts à l'explosif. Or, comme sur d'autres sites (Artignosc, Morières), l'explosif n'a pas beaucoup augmenté le volume de sol exploitable, la roche-mère n'ayant pas été brisée (la profondeur des potets, mesurée à la tarière, ne dépasse que très rarement 35 cm). D'autre part, la concurrence du taillis doit aussi avoir un effet négatif sur la croissance : les placeaux

ne mesurant qu'un are et le taillis étant souvent assez haut (5-8 m) l'éclairement est assez faible sur le plateau ; par contre, la concurrence herbacée et arbustive est assez limitée du fait d'ailleurs du faible éclairement au sol mais aussi des entretiens réguliers.

La croissance étant vraiment très faible (à 7 ans, la hauteur moyenne est inférieure à 30 cm) nous avons essayé de savoir si d'autres facteurs auraient pu avoir un effet défavorable, mais nous n'avons rien pu mettre en évidence (nous avons examiné le système racinaire de quelques plants mais ils ne présentent aucune déformation et les conditions météorologiques durant les deux années qui ont suivi la plantation - 76 et 77 - ont été plutôt favorables avec deux étés pluvieux). Le travail du sol trop superficiel et la concurrence sont donc bien les seuls facteurs à pouvoir expliquer une croissance aussi faible (à moins que le lot de plants ait été de mauvaise qualité).

Le tableau nous montre aussi que les deux dispositifs en bandes ont des croissances significativement différentes (sur les bandes de 15 m, la croissance est meilleure d'une demi-classe environ). Les résultats obtenus sur chacune des 4 lignes des bandes de 15 m, permettent de compléter ce résultat :

- . les lignes A et D peuvent être considérées comme identiques entre elles et identiques aux lignes des bandes de 8 m,
- . seules les lignes B et C (identiques entre elles) ont une croissance meilleure que les autres.

En fait, il faut donc considérer, d'une part les lignes proches du taillis (à 2,50 m ou 3 m : ce sont les deux lignes des bandes de 8 m et les lignes A et D sur les bandes de 15 m) et d'autre part, les lignes centrales des bandes de 15 m qui ont une croissance supérieure de plus d'une demi-classe.

Sur ce site, on a donc pu mettre en évidence l'effet de la concurrence de l'interbande que l'on peut chiffrer à une demi classe de croissance (mais nous n'avons pas noté de différences de reprise) et par ailleurs, on constate ici l'échec de la technique d'introduction en placeaux.

## 2.6. FORET DOMANIALE DE LA GARDIOLE

Il a été fait ici les mêmes introductions de cèdres qu'en forêt du Pelenc : placeaux de dispersion, bandes de dispersion et bandes larges constituant presque un peuplement plein.

### 2.6.1. Station

La forêt est située dans les buttes et plateaux de Haute Provence ;

Altitude 500 m, la plupart des reboisements visités sont situés sur une croupe ;

Substratum : calcaire du Valanginien supérieur, avec un sol de type rendzine ;

Espèces dominantes : chêne vert, chêne pubescent.

### 2.6.2. Introductions réalisées

Elles sont identiques à celles réalisées en forêt du Pelenc : mêmes travaux, à la même date.

Les bandes de dispersion sont tout de même un peu plus larges (10 m au lieu de 8).

Les placeaux ont été plantés pendant l'hiver 74-75, les potets n'ayant été travaillés qu'à la pioche. Il y a eu trois passages en regarnis en 75, 78 et 80, avec, en 78, ouverture à l'explosif de deux potets supplémentaires par placeau.

### 2.6.3. Résultats

Nous voulions au départ comparer les trois introductions, comme nous l'avons fait en forêt du Pelenc. Mais nous avons rapidement constaté l'échec presque total du reboisement en placeaux, au moins dans la zone que nous voulions mesurer (celle proche des autres reboisements). D'ailleurs, les nombreux passages en regarnis montrent bien que la reprise n'a jamais été satisfaisante sur ce reboisement. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet échec :

- . les conditions de stations sont difficiles avec une roche-mère souvent affleurante et un sol toujours peu profond ;
- . la préparation du terrain peut être considérée comme insuffisante avec d'abord de simples potets piochés, puis des potets travaillés à l'explosif mais qui ont été aussi peu efficaces que sur les autres sites déjà étudiés (Artignosc, Morières, Pelenc) ;
- . le respect trop strict du maillage théorique (un placeau tous les 100 m le long des layons) qui a fait que plusieurs placeaux ont été implantés sur des zones très défavorables (trop rocheuses) alors qu'ils auraient pu être déplacés quelque peu pour bénéficier de meilleures conditions ;
- . enfin nous pensons que la disparition presque totale des plants est due en grande partie au gibier (lapins surtout) qui apprécie ces jeunes plants installés en petit nombre au milieu du taillis (c'est d'ailleurs la conclusion qui apparaît souvent sur les comptages faits par l'ONF).

Par ailleurs, sur les bandes, la mise en place des plants n'a pas toujours été bien exécutée : sur certaines zones nous avons remarqué que les parois du sachet n'ont pas été fendues ou que très sommairement et les racines n'ont pu se développer que par le fond (toujours découpé). Ce facteur étant certainement déterminant sur la croissance, nous avons pensé que nous ne pourrions pas mettre en évidence l'effet d'autres facteurs, comme la concurrence par exemple. Nous avons quand même essayé de chiffrer la perte de croissance

occasionnée par cette mise en place mal exécutée.

Sur le terrain, en dégagant légèrement le pied des plants, il est facile de repérer les zones où les sachets n'ont pas été bien découpés. Nous avons fait des mesures sur 9 zones : 5 sur les bandes de 15 m où tous les plants semblent avoir été mis en place de façon correcte, et 4 sur les bandes de dispersion où nous n'avons trouvé qu'une zone (la zone D) où la mise en place a été correcte (nous pensons que la surveillance est un point important au moment de la mise en place lorsque l'on souhaite le respect de certaines règles particulières - ici le découpage précis du sachet, sans l'enlever complètement - et on peut expliquer la répartition en zones homogènes des plants mal plantés si la surveillance n'a pas été continuelle).

Les mesures sur chacune des zones donnent :

Zones	Hm	G	n	Réussite
Bandes de dispersion				
A	0,78	0,44	18	33 %
B	0,60	0,27	37	77 %
C	0,86	0,40	34	71 %
D	1,56	0,51	41	85 %
Bandes de 15 m				
E	1,42	0,55	48	100 %
F	1,37	0,51	42	88 %
G	1,54	0,52	34	71 %
H	1,57	0,57	44	92 %
I	1,74	0,64	49	100 %

Comparaison de ces différents résultats :

Valeurs de  $\xi$

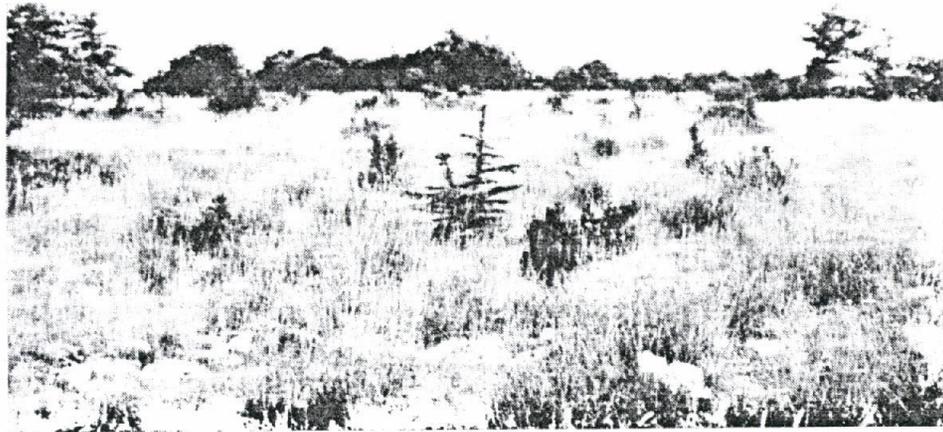
A	1,6	0,6	<u>6,0</u>	<u>4,9</u>	<u>4,5</u>	<u>5,6</u>	<u>5,9</u>	<u>6,9</u>
	B	<u>3,2</u>	<u>10,5</u>	<u>9,0</u>	<u>8,5</u>	<u>9,4</u>	<u>10,0</u>	<u>11,2</u>
		C	<u>7,6</u>	<u>5,3</u>	<u>4,9</u>	<u>6,0</u>	<u>6,5</u>	<u>7,7</u>
			D	1,2	1,7	0,2	0,1	1,5
				E	0,4	1,0	1,3	<u>2,6</u>
					F	1,4	1,7	<u>3,1</u>
						G	0,2	1,7
							H	1,4
								I

Malgré quelques imprécisions, on peut donc considérer que l'on a deux populations différentes : zones A, B et C (où le sachet a mal été découpé) et zones D, E, F, G, H et I (où il a été bien découpé) :

	Indice de croissance moyen	Hauteur moyenne	Ecart-type	Effectif	Réussite
Zones A, B, C	1,5 m	0,73 m	0,35 m	89	63 %
Zones D à I	3,1 m	1,53 m	0,57 m	258	88 %

(Pour ces deux populations  $\xi = 15,6$  : la différence est donc très significative).

On peut donc retenir que la perte due aux sachets mal découpés est de plus d'une classe de croissance (1,6 unités de K exactement) et l'effet négatif est aussi sensible sur la reprise puisqu'elle passe de 89 à 60 %.



SITES DU LUBERON  
Reboisement (au premier plan) et peuplement adulte avec sa régénération

## 2.7. FORET DOMANIALE DU LUBERON

Après le succès des anciennes introductions de cèdres sur le Petit Luberon, les forestiers ont voulu augmenter la surface de la cédraie. Ainsi, en 1969 et 1970, une importante opération de reboisement a été réalisée sur la crête et sur le versant sud du massif.

Sur la crête, en bordure du peuplement adulte et au milieu de sa régénération, nous avons pu délimiter 3 sites.

### 2.7.1. Station

Située sur la montagne du Luberon ;

Altitude 700 m, croupe ;

substratum : calcaires durs (Urgonien) ayant engendré un sol de type rendzine, peu profond ;

espèces dominantes : chêne vert, chêne pubescent, buis et thym.

### 2.7.2. Introduction réalisée

- Reboisement en plein ; débroussaillage par l'engin de sous-solage et en même temps que celui-ci ;

Travail du sol par sous-solage prévu à environ 50 cm de profondeur, réalisé pendant l'été 1969 ;

Mise en place des plants pendant l'hiver 1969-70, plants en godets (sachet polyéthylène enlevé à la plantation).

- Peuplement de référence : c'est le peuplement adulte de cèdres de l'Atlas de la forêt domaniale du Luberon. Il se régénère abondamment et nous n'avons pris comme référence que des arbres de cette régénération, âgés de 18 à 27 ans (voir photos, p. 37a).

Figure n° 22 LUBERON  
1er Site

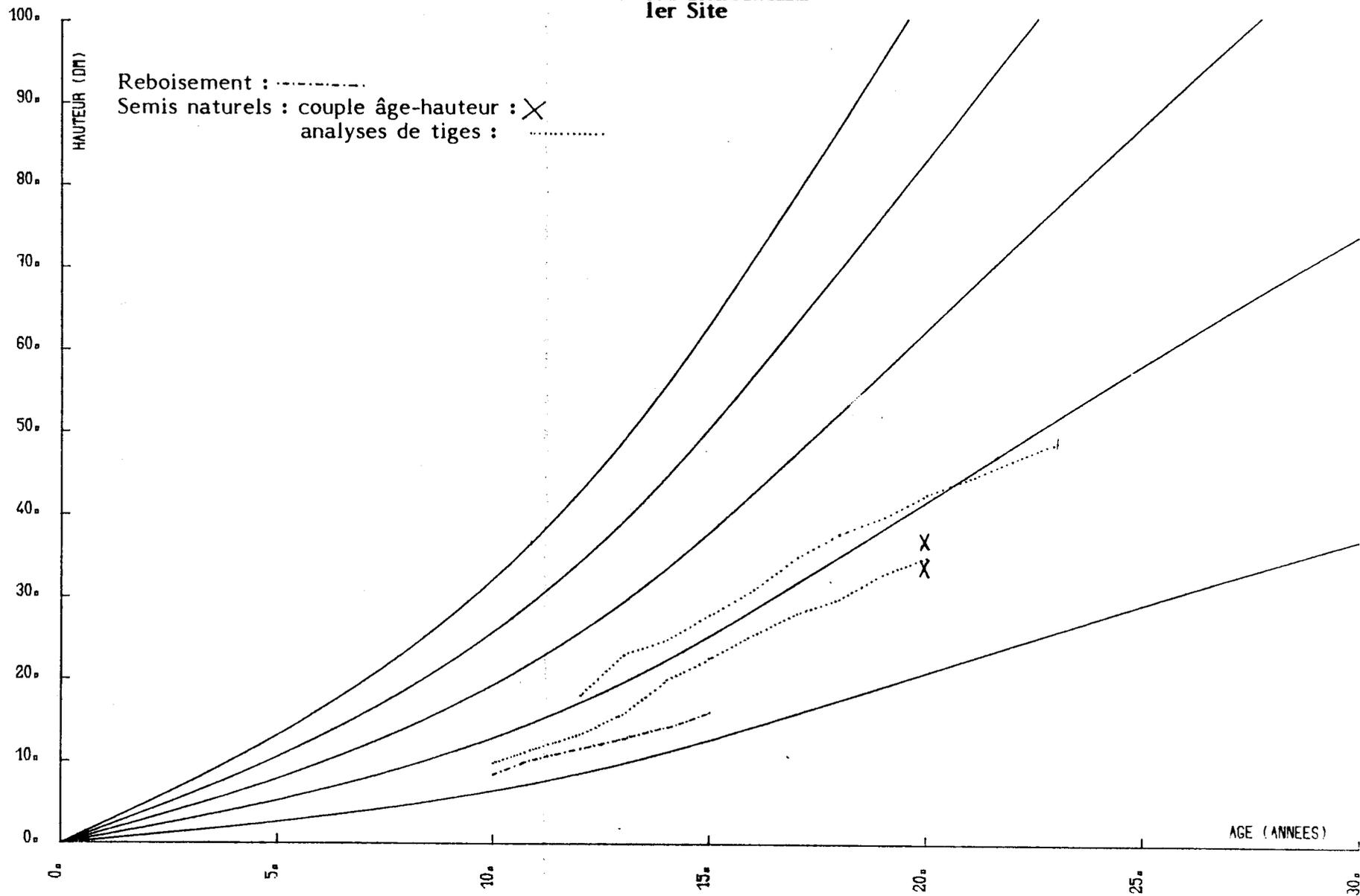
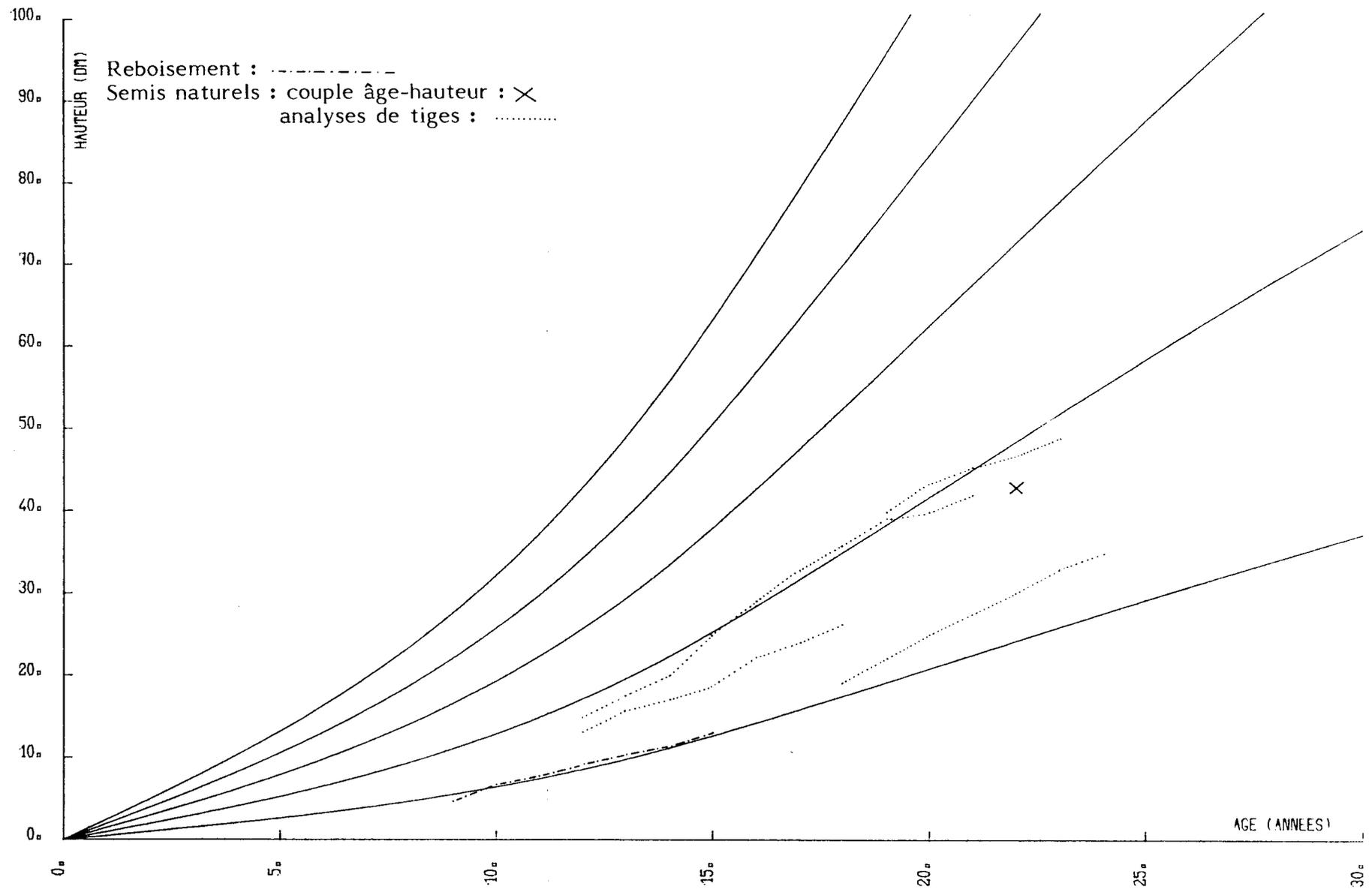
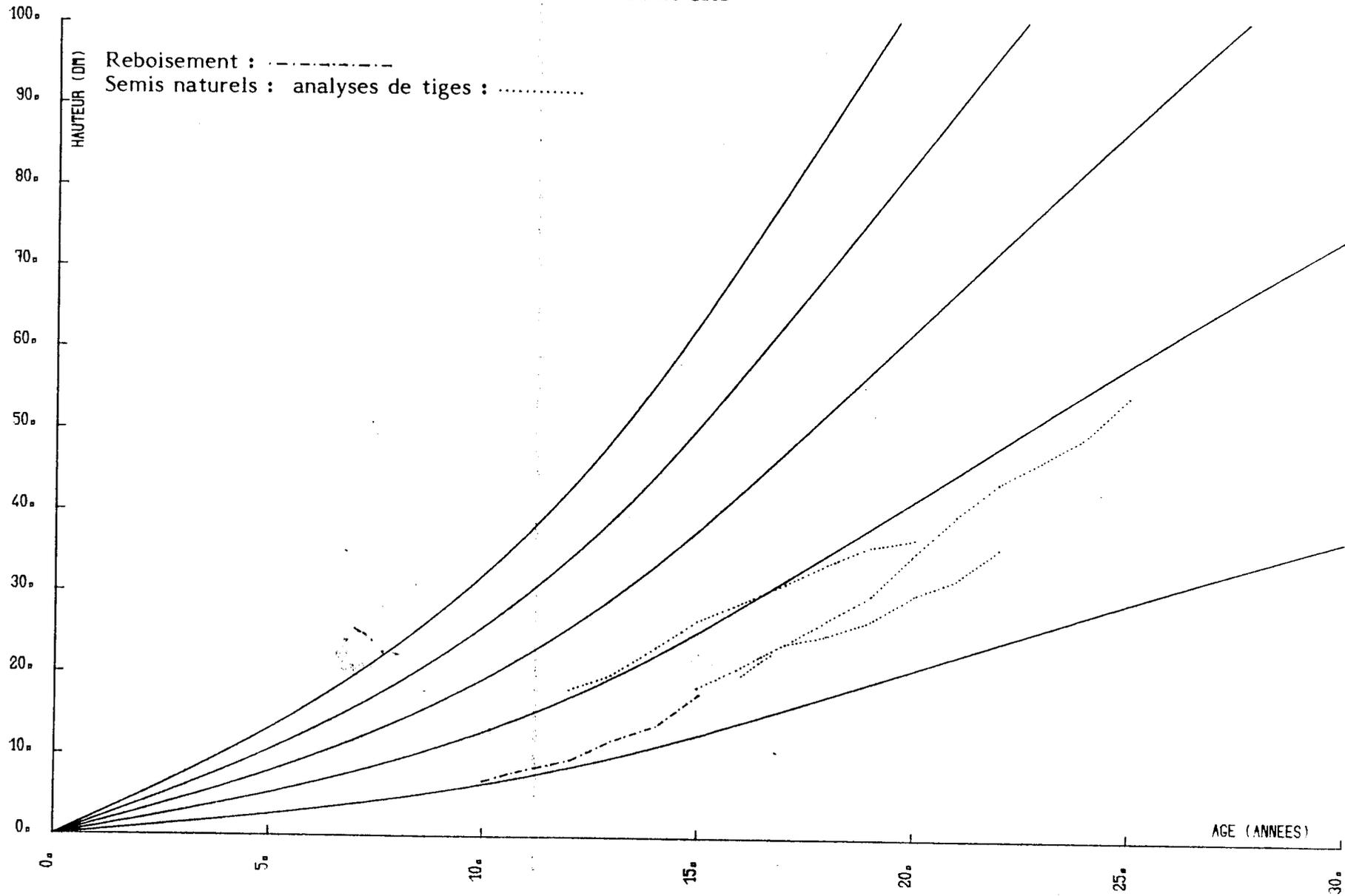


Figure n°23 LUBERON  
2ème Site



**Figure 24 LUBERON**  
**3ème Site**



### 2.7.3. Résultats

#### . 1er site :

- reboisement : plants âgés de 15 ans ;
- Hm = 1,60 m                       $\sigma = 0,35$  m
- Km = 1,6 m                      Kc = 1,7 m
- réussite : inférieure à 40 % (en fait, il n'a pas été possible de la mesurer car nous n'avons pas pu obtenir le chiffre précis de la densité initiale de plantation ; nous l'avons appréciée comme faible au vu des zones importantes où tous les plants avaient disparu).
- peuplement de référence : nous avons mesuré un couple âge-hauteur et deux courbes de croissance : Km = 2,4 m.  
(voir figure n° 22).

#### . 2ème site :

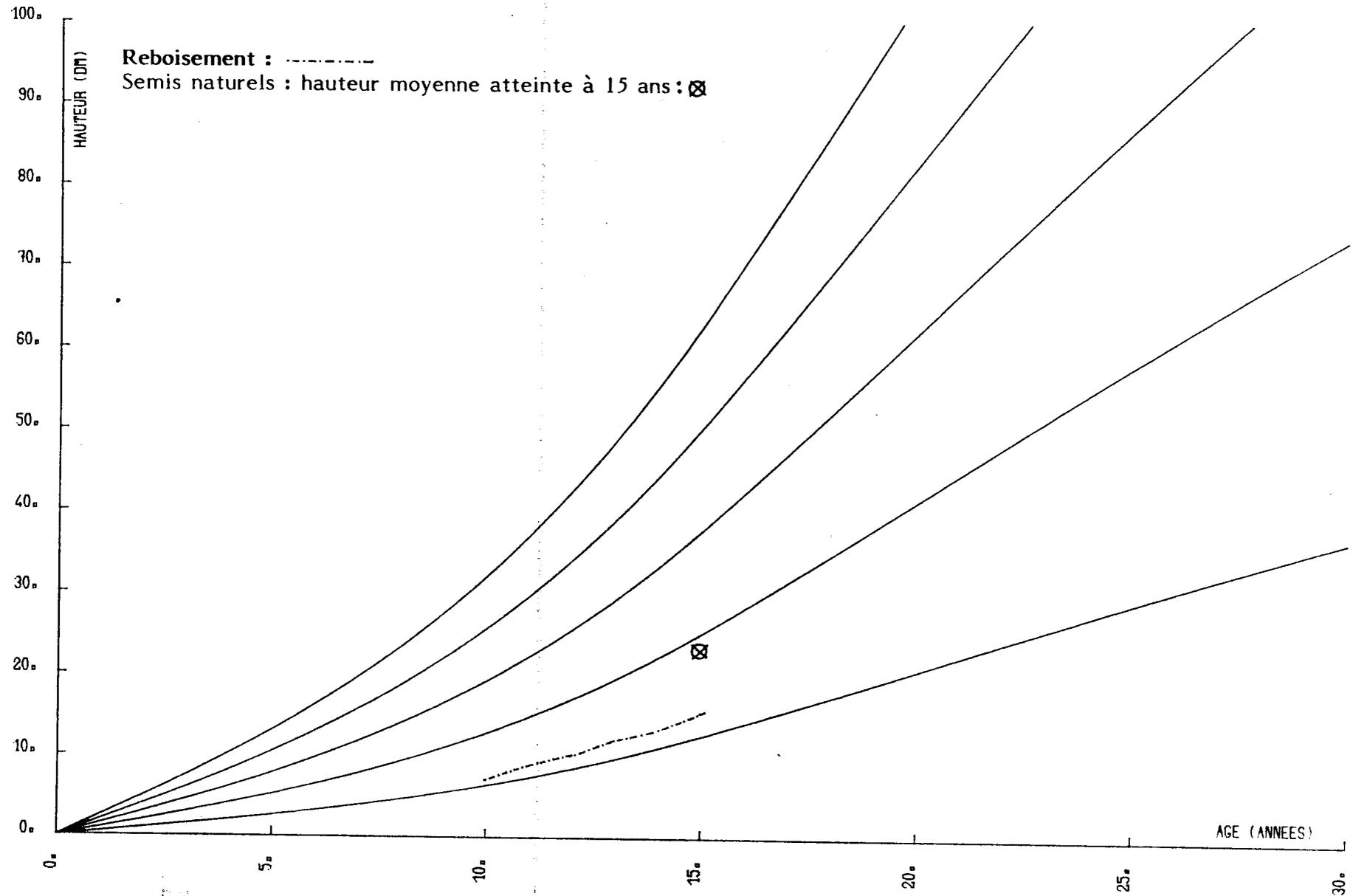
- reboisement ;
- Hm = 1,33 m                       $\sigma = 0,35$  m
- Km = 1,4 m                      Kc = 1,3 m
- réussite : nous n'avons là aussi pu que l'apprécier : environ 60 %.
- peuplement de référence : un couple âge-hauteur et quatre analyses de tiges : Km = 2,2 m (voir figure n° 23).

#### . 3ème site :

- reboisement ;
- Hm = 1,68 m                       $\sigma = 0,35$  m
- Km = 1,7 m                      Kc = 1,5 m
- réussite (toujours avec les mêmes réserves) : environ 60 %.
- peuplement de référence : trois analyses de tiges :  
Km = 2,2 m (voir figure n° 24).

Ces sites étant tous assez proches et leurs résultats voisins, nous n'avons considéré que leur résultat moyen :

Figure 25 LUBERON



- reboisement :

Hm = 1,47 m                      Km = 1,6 m

réussite : environ 50 %

- peuplement de référence : Km = 2,3 m      (voir figure n° 25 ).

Il apparaît donc que le reboisement donne des résultats assez médiocres : réussite faible et croissance de classe V, d'autant plus que les semis naturels sur la même station ont une croissance supérieure, d'une demi-classe en moyenne.

Ce reboisement a pourtant bénéficié d'un travail du sol important (sous-solage à 50 cm de profondeur). Cette croissance assez faible pourrait donc s'expliquer par l'utilisation d'un mauvais lot de plants (mauvaises qualités génétiques), par des conditions météorologiques défavorables pendant plusieurs années ou bien par une mise en place pas assez soignée.

Pour vérifier cette dernière hypothèse, nous avons déterré trois plants choisis au hasard. Ils présentent tous de très importantes déformations racinaires (voir photos p.40a) avec peu de racines partant en profondeur et surtout des racines latérales prospectant dans la raie de sous-solage, à une vingtaine de centimètres de la surface.

Il est probable que de tels déformations racinaires provoqueront tôt ou tard sur certains plants un étouffement et un arrêt de l'alimentation. D'autre part, le sous-solage assez profond n'a pas été mis à profit par les racines qui restent souvent proches de la surface. Enfin, il ne faut pas négliger l'influence de la qualité de l'enracinement sur la stabilité future des plants (surtout sur une zone aussi ventée que la crête du Luberon) : actuellement, il n'existe que peu de résultats précis sur cette influence mais c'est prendre un grand risque que de laisser se développer de tels systèmes racinaires.

Il faut remarquer que nous parlons ici de l'effet négatif de la mise en place, mais toutes ces déformations racinaires peuvent aussi provenir de l'utilisation de plants de mauvaise qualité à savoir des plants dont le système racinaire était déjà déformé par le godet, avant la plantation

LUBERON  
Plants déterrés



(nous n'avons pas pu savoir si les plants utilisés étaient de type 1-0G ou 2-0G, ce dernier type ayant pu provoquer de fortes déformations, mais que la mise en place aurait de toutes manières pu éliminer en partie).

On peut donc finalement retenir que, malgré un travail du sol important, les plants n'ont pas eu une croissance satisfaisante, du fait sans doute du manque de soin à la mise en place (qui n'a pas permis de tirer bénéfice de cette préparation du terrain).

## 2.8. FORET DOMANIALE DE SAINT LAMBERT

Dans la forêt, les introductions de cèdres sont nombreuses et les techniques employées très variées (plantation en plein ou en bandes de dispersion, avec ou sans travail mécanique de sol...). Nous avons pu trouver un site où une petite plantation a été faite sur de simples potets piochés à côté d'un reboisement plus étendu fait après travail mécanique du sol.

### 2.8.1. Station

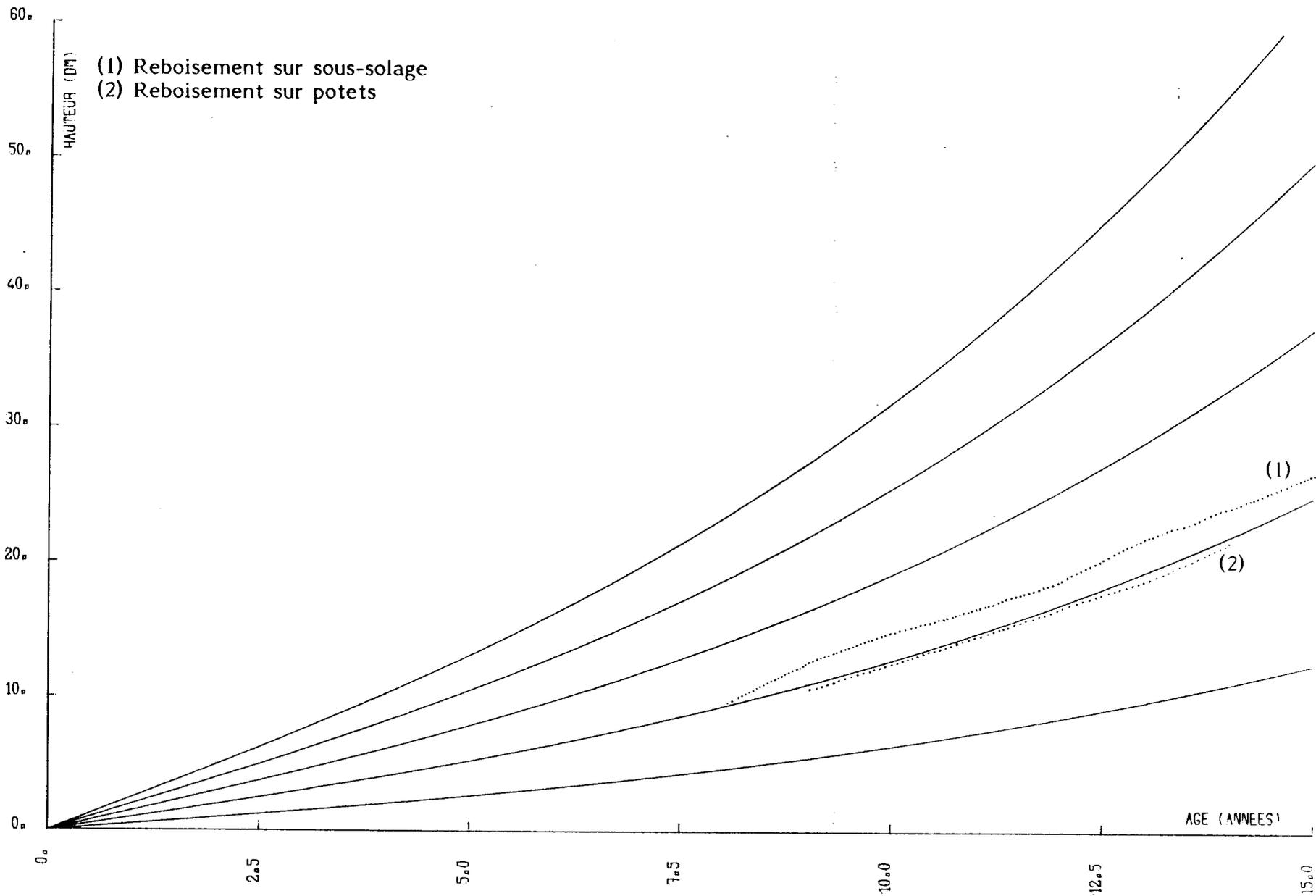
Située sur les plateaux et monts du Vaucluse ;  
 altitude : 800 m, croupe ;  
 substratum : calcaire à rudistes (calcaire urgonien sensu stricto) ayant engendré par altération un sol de type rendzine peu profond avec une forte charge en cailloux ;  
 espèces dominantes : chêne pubescent, chêne vert, buis, genévrier oxycèdre, thym.

### 2.8.2. Introductions réalisées

- Reboisement sous-solé : débroussaillage léger avec l'engin de sous-solage, passage d'un ripper à une profondeur d'environ 50 cm ; plantation pendant l'hiver 1969/70 de plants 1-0G (sachet polyéthylène, enlevé à la plantation).

- Reboisement sur potets : débroussaillage léger, potets travaillés à la pioche ; plantation pendant l'hiver 1970/71 de plants 1-0G (sachet polyéthylène, enlevé à la plantation).

**Figure 26 St.LAMBERT**



### 2.8.3. Résultats

Sur terrain sous-solé : plants âgés de 15 ans

- Hm = 2,63 m                       $\sigma = 0,57$  m                      n = 38 plants

- Km = 2,7 m                       $\sigma = 0,6$  m

- réussite : nous n'avons pas pu connaître la densité initiale de plantation mais par plages, il semble que la réussite soit bonne (70 à 80 %).

Sur terrain non sous-solé : plants âgés de 14 ans

- Hm = 2,15                       $\sigma = 0,46$                       n = 32 plants

- Km = 2,5 m                       $\sigma = 0,5$  m

- réussite : nous n'avons pas non plus de chiffres exacts, mais ici les vides semblent plus importants et donc la réussite plus faible.

· comparaison de la croissance de ces deux reboisements .

$$\xi = \frac{2,7 - 2,5}{\sqrt{\frac{(0,6)^2}{38} + \frac{(0,5)^2}{32}}} = 1,45$$

Les deux indices de croissance ne sont donc pas significativement différents au seuil de 5 % (les deux courbes de croissance sont d'ailleurs très proches l'une de l'autre, voir figure n° 26).

Sur ce site, on peut donc remarquer que le sous-solage n'a pas apporté de gain notable. Pourtant, il faut tenir compte du fait que les potets ont été implantés en évitant les zones trop rocheuses alors que le sous-solage a permis l'installation d'un boisement plein sur toute la surface. Par ailleurs, il semble que le sous-solage ait été assez peu profond (nous n'avons pas pu obtenir les caractéristiques de l'engin utilisé : longueur des dents du ripper, puissance) et en tous cas il n'est pas comparable avec ce qui peut être fait actuellement sur des terrains aussi difficiles (calcaires compacts à faible profondeur) : nous avons visité sur la même forêt, un reboisement récent où le sous-solage a été réalisé par un buteur de plus de 200 CV et qui a permis de

travailler le terrain sur plus de 80 cm de profondeur.

Nous pouvons donc retenir que, sur ce site où le terrain est quand même assez défavorable, le sous-solage n'a pas permis une meilleure croissance, qui reste donc assez médiocre (classes IV-V). La reprise quant à elle semble un peu plus importante. Mais si l'engin de sous-solage utilisé avait été beaucoup plus puissant, des différences seraient peut-être apparues.

## 2.9. FORET COMMUNALE DE MONTAREN

En 1981 et 1982, l'ONF a réalisé une plantation sur cette commune. Une partie du terrain a été cédée au CEMAGREF pour y réaliser une expérimentation (devant tester les résultats obtenus en utilisant différents conteneurs).

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de mesurer la reprise de chacune de ces plantations (des mesures de hauteurs n'auraient rien apporté car ces plantations sont encore beaucoup trop jeunes) en essayant de mettre en évidence l'effet que peut induire le soin apporté à la mise en place, toutes choses étant égales par ailleurs.

### 2.9.1. Station

Située dans la zone des garrigues ;  
 altitude : 260 m, plateau ;  
 substratum : calcaire à faciès urgonien (du Barrémien supérieur) ayant engendré un sol de type rendzine assez peu profond ;

espèces dominantes : chêne vert, chêne kermès (*Quercus coccifera*), ciste blanc et buplèvre frutescent (*Bupleurum fruticosum*).

### 2.9.2. Introductions réalisées

Beaucoup de travaux sont identiques pour les deux reboisements :

- débroussaillage au girobroyeur, sous-solage à 50 cm de profondeur et passage d'une rasette de 2,50 m de large, en février 1982 (sur le chantier du CEMAGREF, il a en plus été passé un défonceur à disques ou cover-crop).

- plantation en décembre 1982 de plants 1-0G (sachet polyéthylène : nous n'avons tenu compte sur le chantier du CEMAGREF, que des résultats obtenus avec ce type de plants).

La différence essentielle réside dans la mise en place des plants :

- chantier ONF : la mise en place a été faite de façon classique avec préparation d'un petit potet au bord de la raie de sous-solage, plantation après enlèvement du sachet et pose d'un manchon grillagé. Ceci a été fait au rythme de 175 plants/homme/jour soit environ 2'30" pour la mise en place de chaque plant (tous les temps morts étant pris en compte, le temps réellement passé à la mise en place doit être un peu inférieur).
- chantier CEMAGREF : la mise en place a été très soignée : confection d'un potet de (40cm)<sup>3</sup> la terre étant retirée et les cailloux éliminés, immersion du plant dans l'eau et enlèvement du sachet, installation de ce plant en rapportant la terre et en la tassant légèrement au fur et à mesure, et pose d'un manchon grillagé. Le temps passé à l'installation d'un plant a été en moyenne de près de 10 minutes (7 mn pour la confection du potet, 1,30 mn pour la plantation et 1,30 mn pour la pose du manchon).

### 2.9.3. Résultats

Les comptages ont été faits en octobre 1983 (chantier CEMAGREF) et en juin 1984 (chantier ONF). Dans les deux cas, les plants ont donc passé un été depuis la plantation.

- chantier CEMAGREF : réussite 91,5 %

- chantier ONF : réussite 23 %

(sur le chantier ONF, ce chiffre de 23 % est assez constant sur toute la zone étudiée, n'atteignant que 40 % au maximum sur certaines petites parties).

Le gain apporté par la mise en place soignée est donc très net.

Il faut quand même remarquer que l'année peut être considérée comme assez difficile sur le plan météorologique (voir les relevés en annexe p. 89) : la pluviosité a été faible à très faible en juillet et septembre. Ce ne sont pourtant pas des conditions exceptionnelles pour la région et qui ne devraient pas engendrer de forte mortalité sur les reboisements.

Sur ce site, nous avons donc mis en évidence l'influence importante que pouvait avoir la mise en place sur la reprise des plantations, mais ce n'est bien sûr qu'un premier résultat qui demande à être confirmé.

## 2.10. FORET COMMUNALE DE LUSSAN

Le beau peuplement adulte de pins noirs qui existe sur la forêt a incité les forestiers, en 1965, à faire un vaste reboisement avec cette essence. Mais, de même qu'au milieu du peuplement adulte il y a un bouquet de cèdres adultes, ils ont aussi introduit quelques cèdres dans le reboisement.

### 2.10.1. Station

Située dans la région des garrigues ;

Altitude 300 m, plateau ;

Substratum : calcaire dur (du Barrémien supérieur, faciès urgonien) ayant engendré un sol de type rendzine, assez peu profond ;

Espèces dominantes : chêne pubescent, chêne vert buis, genévrier de Phénicie, genévrier commun, thym.

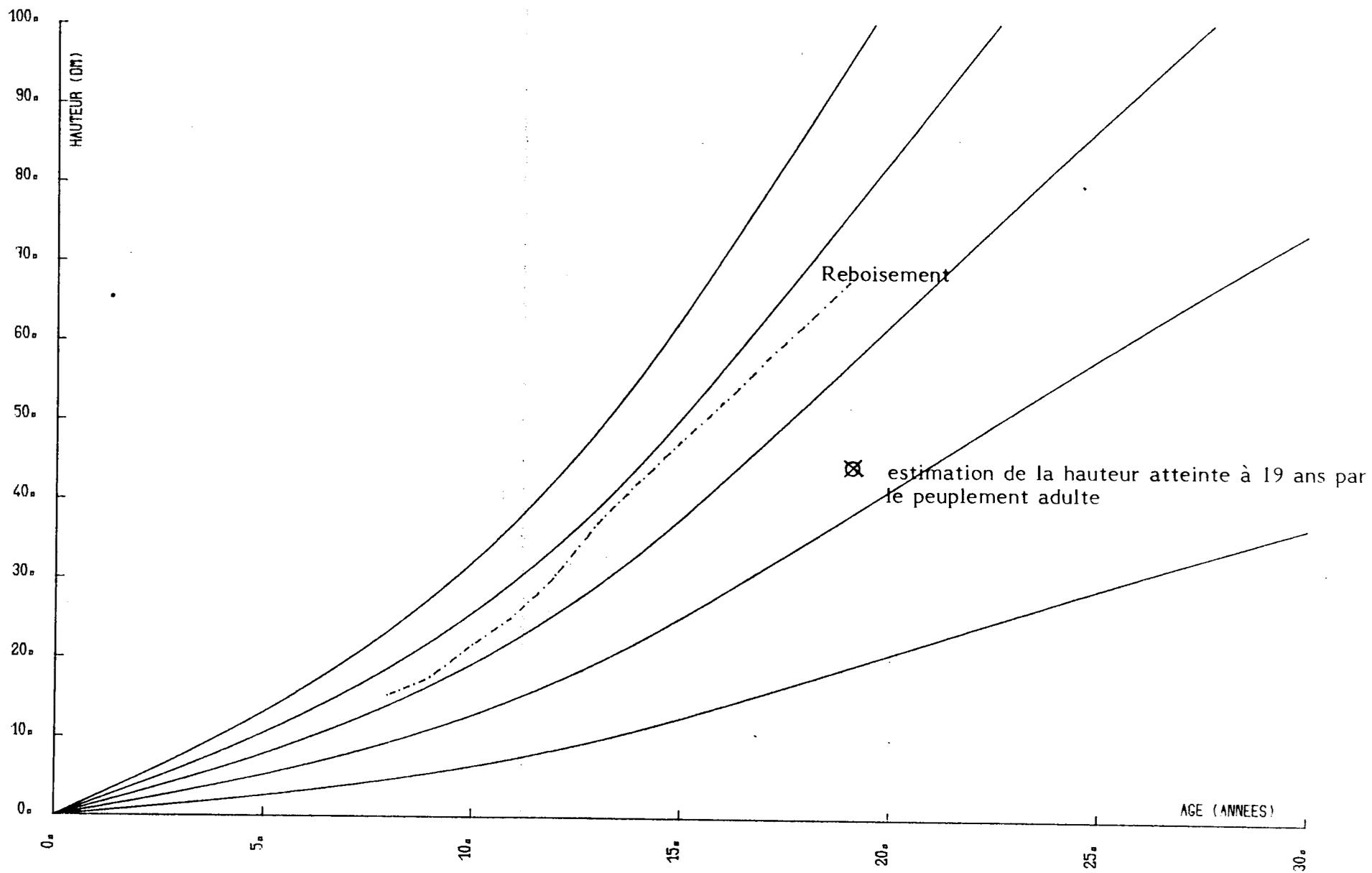
### 2.10.2. Introduction réalisée

Bandes de 3 m de large avec 1 m d'interbande, une ligne de plants par bande ;

Décapage avec la lame du buteur (85 CV), sous-solage à 50 cm de profondeur, passage d'une rasette de 1,20 m de large à 30 cm de profondeur ;

Plantation en novembre 1965 de plants 1-0G (sachet de polyéthylène enlevé à la plantation).

**Figure n° 27 : LUSSAN**



2.10.3. Résultats

- Peuplement adulte : âge = 90 ans

Hm = 17,5 m                      Km = 2,9 m

- Reboisement : 19 ans

Hm = 6,80 m                       $\sigma = 1,0$  m

Km = 4,6 m (l'indice moyen de la courbe de croissance,  $K_c$ , est identique).

Compte tenu de l'importante différence d'âge entre les deux peuplements, il faut interpréter les mesures avec certaines précautions.

D'après nos courbes de croissance, la hauteur atteinte à 19 ans par le peuplement adulte serait de 4,40 m environ (fig.27) Nous n'avons pu malheureusement le vérifier par un sondage à la tarière à cette hauteur.

D'après les trois autres faisceaux de courbes existants, cette hauteur serait d'environ :

. 3,80 m (d'après les courbes de Toth)

. 4,00 m (d'après les courbes d'Ostermeyer)

. 5,70 m (d'après les courbes de Yi).

Comme on l'a déjà vu, les courbes de Yi sont très peu fiables en-deçà de 40 ans, et la hauteur que nous avons retenue (4,40 m) semble donc assez correcte.

Le gain apporté par la plantation (travail du sol important, bien que réalisé avec un engin d'assez faible puissance, et utilisation de plants en godets) serait donc d'un peu plus d'une classe de croissance (1,7 unités de K), durant au moins les 20 premières années.

## 2.11. FORET COMMUNALE DE POULX

C'est l'un des trois sites (avec ceux de Lussan et du Luberon) où nous avons comparé un reboisement et un peuplement adulte.

### 2.11.1. Station

Située dans la zone des garrigues ;

Altitude 200 m, plateau ;

Substratum : calcaire urgonien (du Barrémien supérieur) ayant engendré un sol de type rendzine avec de fortes charges en cailloux ;

Espèces dominantes : pin d'Alep, chêne vert, chêne kermès, buis, ciste blanc.

### 2.11.2. Introduction réalisée

Plantation en bandes de 3 m avec 1 m d'interbande ;

Sous-solage à plus de 50 cm de profondeur et passage d'une rasette de 1,20 m à 30 cm de profondeur, fait en novembre 1973 ;

Plantation en décembre 1973, de plants 2-0G (sachet polyéthylène).

### 2.11.3. Résultats

Le peuplement adulte est âgé de 59 ans et sa hauteur moyenne est de 19 m, donc  $K_m = 3,7$  m.

Reboisement : plants âgés de 12 ans,

réussite : 23 % (50 plants trouvés vivants sur une distance de 490 m, alors que l'écartement des plants à la plantation était initialement de 2,25 m).

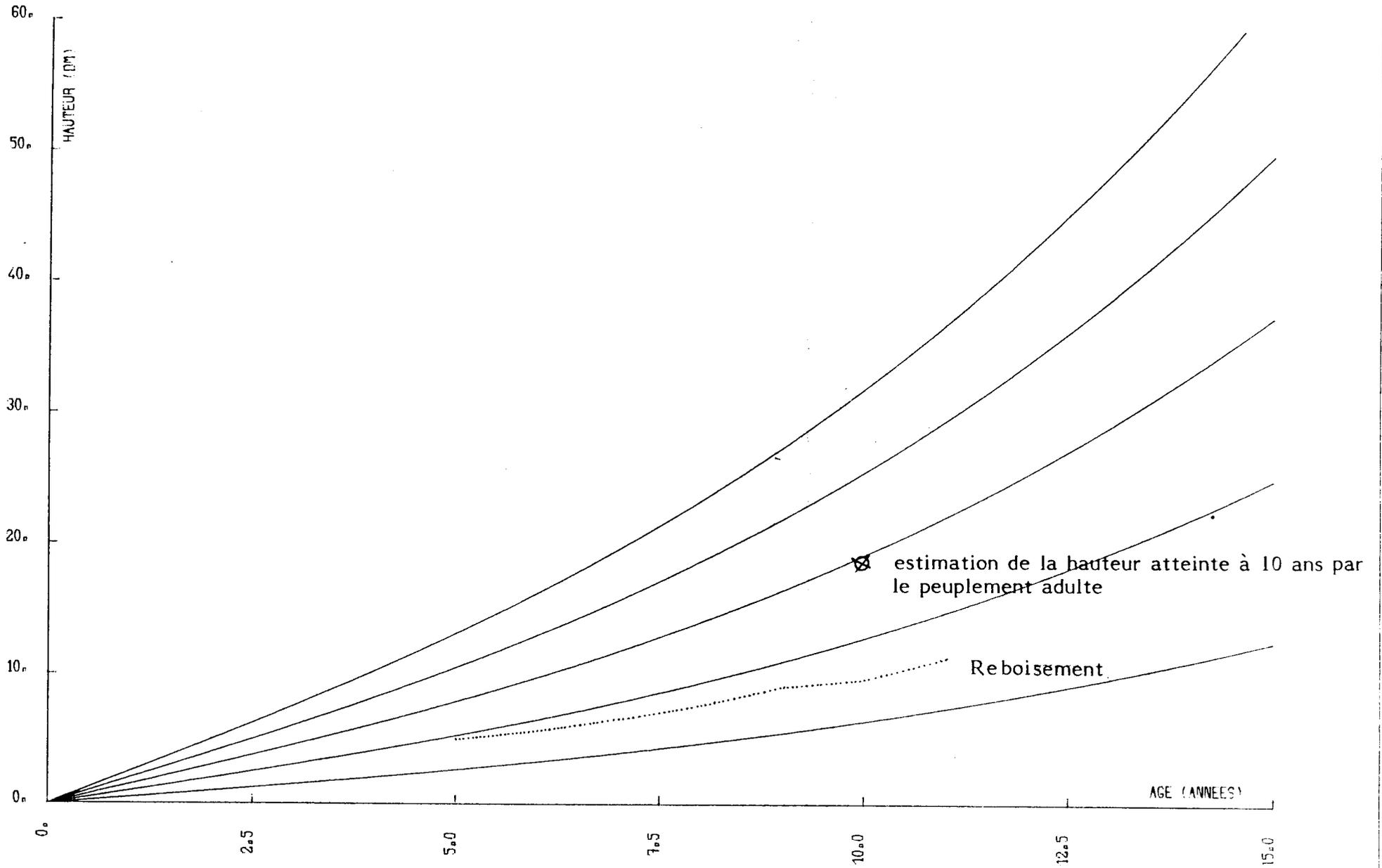
$H_m = 1,10$  m

$\sigma = 0,34$  m

$K_m = 1,6$  m

$K_c = 1,8$  m

Figure n° 28 POULX



Les résultats du reboisement sont donc médiocres, tant au point de vue de la reprise que de la croissance. C'est d'autant plus étonnant que, sur la même station, le peuplement adulte montre une croissance très supérieure (d'une classe et demie).

Après vérification, nous avons constaté que les plants avaient été plantés avec leur sachet, dont on avait simplement coupé le fond. Dix ans après la plantation, ce sachet ne s'est absolument pas dégradé et le plant ne peut s'alimenter que grâce aux racines passant par le fond. Ces racines ne permettent pas une croissance normale et, de plus, la présence de déformations racinaires au niveau du sachet doit aussi contrarier le développement du plant (il faut remarquer que la croissance est non seulement bien inférieure à celle du peuplement adulte mais les analyses de tiges montrent qu'elle a aussi tendance à stagner et la différence avec le peuplement adulte va plutôt en s'accroissant, voir figure n° 28 ). La reprise, elle aussi, est faible car même après plusieurs années les plants peuvent se dessécher et disparaître.

Sur ce site, il apparaît donc que le fait de conserver le sachet, même en coupant le fond, ne permet pas une croissance normale des plants et par là même, l'importante préparation du sol qui a été faite, a été rendue inutile.

III

SYNTHESE DES RESULTATS

---

Dans cette partie, nous allons examiner chaque phase du reboisement en rappelant les principaux résultats qui existent déjà dans la bibliographie et en les complétant par nos propres observations.

### 3.1. LE TRAVAIL DU SOL

En région méditerranéenne, le travail du sol le plus souvent effectué avant une plantation est un sous-solage, éventuellement complété par le passage d'autres engins mécaniques. Les préparations légères du terrain, comme la simple ouverture de potets à la pioche ou à la tarière, sont plus rares et les autres techniques ne sont utilisées qu'exceptionnellement (explosif, labour...).

#### 3.1.1. Les potets

Ils constituent donc le travail du sol minimum avant une plantation et sont souvent considérés comme insuffisants.

Nous avons pourtant constaté que, dans certains cas, ils peuvent donner des résultats satisfaisants. En forêt de St Lambert, par exemple, les croissances sont équivalentes à celles obtenues avec un sous-solage peu profond (mais restent tout de même dans des classes de croissance assez faibles : classes IV-V). En forêt domaniale des Maures, tous les reboisements que nous avons mesurés ont été réalisés après ouverture de potets à la tarière hélicoïdale et, si les croissances sont le plus souvent faibles (classes V et VI), elles atteignent quand même la classe IV sur les bandes du Landon et même les classes I et II pour certains arbres.

Ainsi, bien que ce soit une préparation très légère du terrain, l'utilisation des potets comme unique travail du sol ne doit pas être écartée systématiquement des projets de reboisement. Pour les zones où aucune autre technique n'est utilisable (par exemple si l'accès est impossible aux engins de travail du sol), ils peuvent constituer une préparation suffisante à l'installation correcte d'un boisement. Par ailleurs, dans les zones où les sols sont meubles et profonds, ils permettent des croissances très satisfaisantes (nous avons déjà rappelé les très bons résultats obtenus par endroits dans les Maures).

Il serait bon, sur ces zones favorables, de comparer les résultats obtenus avec des potets et avec d'autres préparations du sol plus importantes (sous-solage notamment) pour savoir si, dans certains cas, les potets ne pourraient pas remplacer avantageusement toute autre technique du fait des bons résultats qu'ils peuvent donner, de leur facilité de mise en oeuvre et, parfois, de leur coût moins important. Ces comparaisons sont faciles à mettre en oeuvre en réservant au milieu d'un reboisement quelques zones bien choisies où ne serait utilisée que la technique des potets.

Mais, pour la majorité des terrains à reboiser dans la région, une préparation du sol plus importante semble effectivement préférable et, du fait des bons résultats obtenus parfois et de son coût souvent faible, le sous-solage s'est généralisé dans les opérations de reboisement.

### 3.1.2. Le sous-solage

#### 3.1.2.1. Quelques résultats préalables

Plusieurs chantiers expérimentaux ont été mis en place pour l'étude de ce sujet, mais ils avaient souvent pour but de définir les meilleures modalités de sous-solage (recherche du meilleur écartement entre les raies de sous-solage ; effet du passage d'une rasette, de la constitution d'un bourrelet,

du décapage...) et non pas de comparer le sous-solage en général avec d'autres techniques (semis, potets, explosifs...).

Nous avons eu connaissance des résultats obtenus sur 4 de ces chantiers : Belvezet, St Etienne du Grès, Arbois et Treps.

Sur Belvezet, il a été comparé 4 modalités du sous-solage :

- sous-solage suivi d'un décapage ;
- décapage suivi d'un sous-solage ;
- sous-solage seul ;
- sous-solage complété par la constitution d'un bourrelet sur le trait de sous-solage.

D'après les mesures faites 10 ans après la plantation (ONF, 1968, 23), il n'y a pas de différences notables entre modalités (sauf pour la modalité avec constitution d'un bourrelet qui est un peu supérieure).

D'après les mesures faites chaque année de 13 à 23 ans (Toth, 1982, 27), il n'y a plus aucune différence significative entre toutes les modalités. A 23 ans, tous les peuplements font environ 7,8 m de hauteur moyenne (ce qui les situe dans notre classe III).

Sur les autres chantiers expérimentaux, il n'a pas été introduit de cèdre mais du chêne vert (Arbois et Treps) et du pin d'Alep (St Etienne du Grès). Sur les deux premiers chantiers, 4 modalités de sous-solage ont aussi été comparées (1 trait de sous-solage tous les 2 mètres, 1 trait tous les mètres, passage d'une rasette, constitution d'un bourrelet) et là aussi, mais avec du chêne vert, les différences de croissance entre modalités sont très faibles et non significatives (CEMAGREF, 1981, 7).

Sur le chantier de St Etienne du Grès, il a été comparé des reboisements en pin d'Alep sur potets, sur sous-solage et sur terrasses sous-solées. Les mesures ont été faites 17 ans après la plantation et montrent (mais avec certaines réserves dues à l'hétérogénéité des conditions stationnelles) que la reprise est plus importante sur les potets (90 % contre

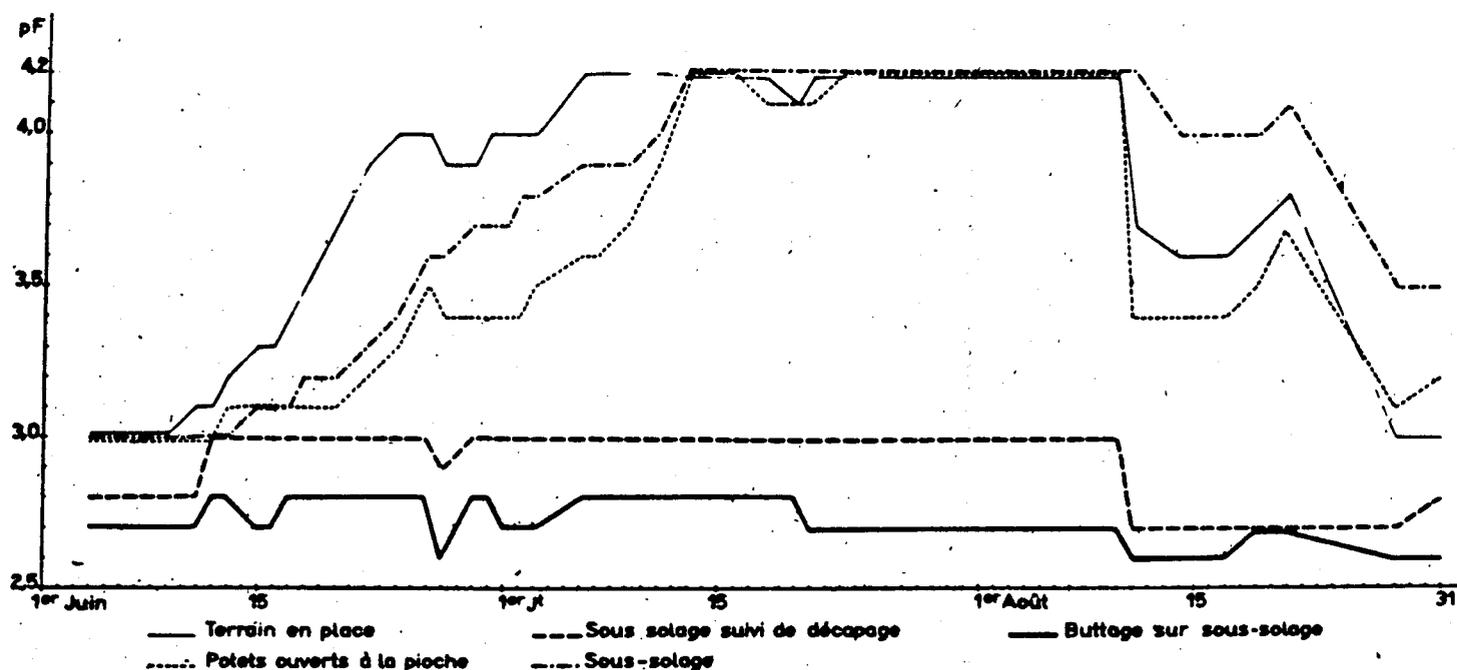


Figure 4

*Courbes de pF à 40 cm, pour les cinq modes de travail du sol*

Figure n° 29

Extrait de l'étude de Duchaufour, Bonneau, Lacaze. (1961, 12)

pf : potentiel capillaire du sol

pf = 2,5 Valeur correspondant à la capacité au champ (qui est approximativement la quantité maximale d'eau capillaire retenue par le sol)

pf = 3 Les espèces les plus exigeantes commencent à souffrir du manque d'eau

pf = 4,2 Valeur correspondant au point de flétrissement (l'absorption d'eau par les racines est très faible ou nulle)

80 % sur sous-solage et 65 % sur les terrasses sous-solées) mais que la croissance est meilleure sur sous-solage (la hauteur moyenne des pins d'Alep sur sous-solage, simple ou en terrasses, est double de celle atteinte par ceux sur les potets) (Alexandrian, 1974, 2).

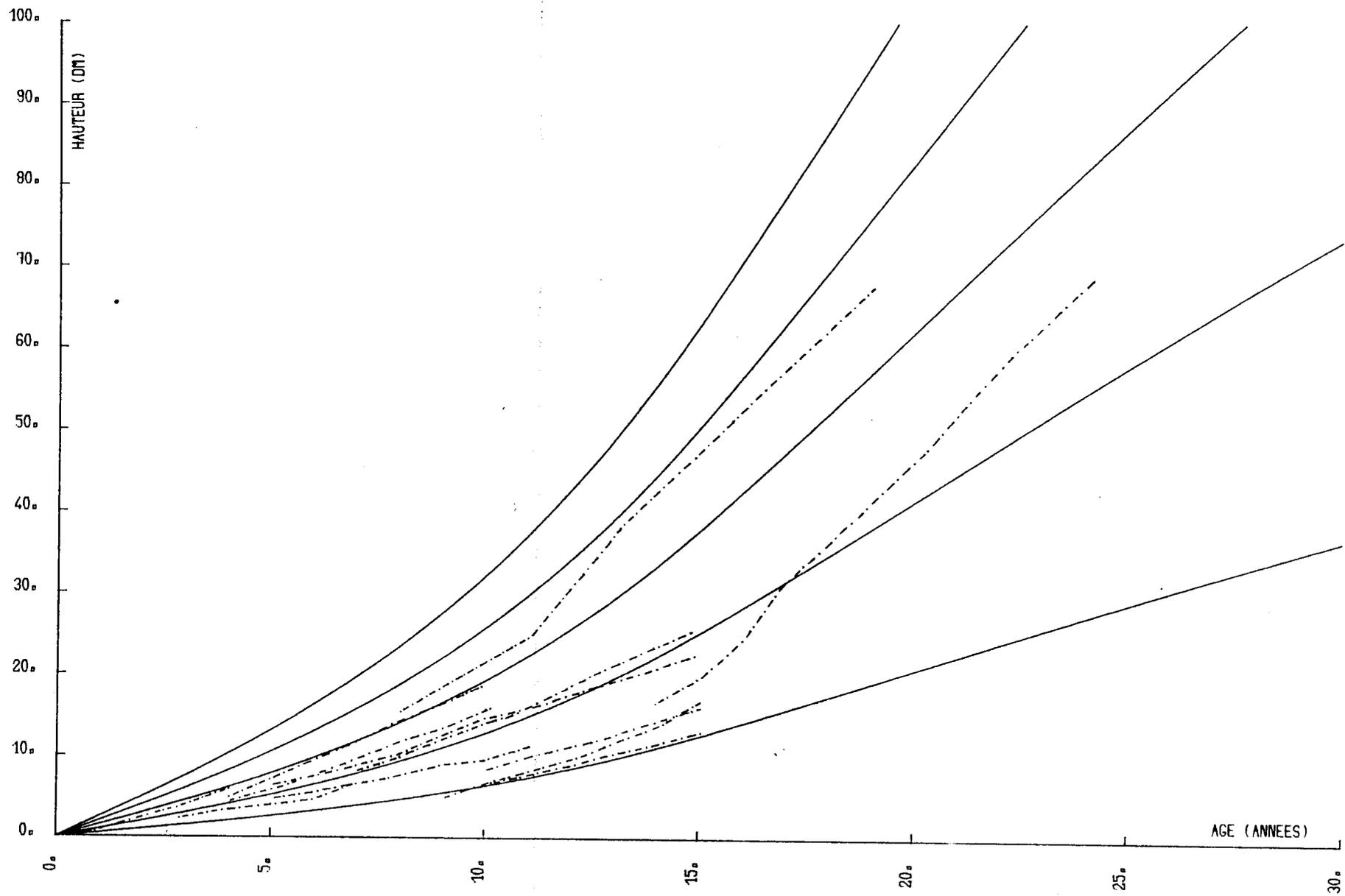
D'autres études plus fondamentales ont été faites sur le travail du sol en région méditerranéenne.

C'est le cas de Duchaufour, Bonneau et Lacaze (1961, 13) qui ont étudié l'évolution du profil hydrique en fonction des différents modes de travail du sol (ils ont tracé les courbes d'évolution du potentiel capillaire -  $pf$  - pendant l'été 1959, à 40 cm de profondeur. Voir figure n° 29 ). Cette étude montre que l'humidité dans le sol est toujours importante avec deux modalités : sous-solage suivi d'un décapage et surtout bourrelet sur sous-solage, alors que les deux autres modalités (potets et sous-solage simple) se distinguent peu avec dans les deux cas une longue période où le point de flétrissement est atteint.

Cette étude dégage donc la supériorité de deux modalités (bourrelet ou décapage sur le sous-solage) qui se répercute peut-être sur la reprise (95 % avec bourrelet sur sous-solage, 88 % avec décapage sur sous-solage, 79 % avec sous-solage simple et 72 % avec potets) mais très peu sur la croissance (nous avons vu que les mesures faites par l'ONF et par Toth sur Belvezet montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités sauf peut-être une croissance légèrement meilleure avec bourrelet sur sous-solage pendant une dizaine d'années ; par ailleurs, la croissance sur les potets n'a pas été mesurée car ils n'ont pas été plantés en cèdre).

De toutes ces études il semble ressortir que les diverses modalités de sous-solage induisent assez peu de différences sur la croissance, les différences importantes provenant surtout de l'utilisation ou pas du sous-solage en général (c'est du moins ce qui apparaît sur le seul chantier

**Figure 30 Reboisements sur sous-solage : analyses de tiges**



de St Etienne du Grès et avec du pin d'Alep).

Sur nos sites, nous avons donc plutôt comparé reboisements sur sous-solage et autres boisements, pour essayer de connaître un peu mieux l'effet réel du sous-solage.

### 3.1.2.2. Résultats obtenus

Sur plusieurs sites, nos mesures ont montré que le sous-solage peut apporter un gain sur la croissance initiale d'environ une classe de croissance (soit 1,3 unités de K) par rapport à :

- . un peuplement adulte - site de Lussan dans les garrigues du Gard, sur calcaire dur et sol de type rendzine - le sous solage a ici été complété par le passage d'une rasette et le gain précis sur la croissance est de 1,7 unités de K à 19 ans ;
- . des semis - site de Seillans dans la dépression varoise, sur diorite et sol de type ranker - le gain est ici de 1 à 1,5 unités de K ;
- . des reboisements à l'explosif ou sur potets - site des Morières, chaînons calcaires méridionaux du Var, sur calcaire dur - le gain est ici de 1,2 unités de K.

Ces résultats sont donc assez encourageants, d'autant plus que les gains les plus importants correspondent aux stations sur calcaires durs à faible profondeur et sol de type rendzine, qui sont très fréquentes dans la région.

Cependant, l'examen de tous les reboisements sur sous-solage que nous avons mesurés (figure n° 30) montre bien que leurs croissances sont très variables et surtout se situent assez souvent dans les mauvaises classes de croissance.

Les facteurs autres que le travail du sol, ont donc une influence importante sur la croissance :

- . la station tout d'abord : sur les zones difficiles malgré le gain que peut apporter le sous-solage, les croissances restent faibles - sites d'Artignosc, des Morières, de St Lambert, où sur sous-solage on a des croissances de classe V;
- . les autres phases du reboisement et notamment la mise en

place des plants - sur les sites du Luberon et de Poulx, où nous avons trouvé soit des déformations racinaires importantes, soit des sachets mal enlevés à la plantation, malgré un sous-solage, les croissances restent faibles (classe V toujours) et sont surtout inférieures à celles des peuplements de référence-.

Ainsi, il semble que dans beaucoup de cas, le sous-solage apporte un gain notable sur la croissance (environ une classe, durant plusieurs années), mais qu'il ne constitue pas pour autant l'assurance d'une croissance satisfaisante. D'autres facteurs ont aussi une influence qui doit être au moins aussi importante : la station (si elle est défavorable au cèdre, il ne faut pas s'attendre à une bonne croissance du simple fait du sous-solage) ou les autres phases de la plantation (qui ne doivent en aucun cas être négligées).

Nous avons voulu aller un peu plus loin que ces premières constatations et essayer de savoir si l'effet du sous-solage est durable ou pas.

### 3.1.2.3. Effet du sous-solage dans le temps

Sur chaque reboisement, nous avons fait une série d'analyses de tiges permettant de tracer la courbe de croissance moyenne du peuplement durant les dernières années (figure n° 30).

Nous n'avons malheureusement que très peu de reboisements âgés, pour la simple raison qu'avant l'expérimentation de Belvezet, le sous-solage était très peu utilisé dans la région. De ce fait, Belvezet est le reboisement le plus âgé que nous ayons pris en compte.

Aucune des courbes moyennes ne semble montrer de ralentissement de la croissance même pour les deux reboisements qui atteignent environ 20 ans (nous avons bien sûr comparé ces courbes aux courbes théoriques que nous avons tracées mais aussi à celles de Toth et d'Ostermeyer).

Il semble donc que le sous-solage ait un effet assez

durable, 20 à 25 ans au moins. Il serait quand même nécessaire de nuancer davantage ce résultat en fonction des stations considérées. Nous pouvons simplement remarquer que presque tous les reboisements sous-solés que nous avons mesurés se situent sur roche-mère calcaire massive, située à faible profondeur. Dans ces conditions, la dent de ripper doit permettre un réel approfondissement de la zone prospectable par les racines en agissant sur la structure du sous-sol, et l'effet obtenu sur la croissance doit donc être assez durable (ce sont ces conditions de station que l'on a à Belvezet et Lussan, nos deux reboisements les plus âgés).

Sur d'autres stations, il est possible que l'effet d'un sous-solage soit moins important : si le sol est assez profond, le sous-solage peut augmenter la macroporosité du sol et faciliter ainsi l'installation des plants pendant les premières années, sans pour autant approfondir réellement la zone accessible aux racines (ce sont des conditions de station que l'on retrouve dans les Maures, mais où nous n'avons pas mesuré de reboisement sous-solé, et à Seillans où le reboisement mesuré n'a que 4 ans et ne permet pas de confirmer nos hypothèses).

Il serait donc nécessaire de vérifier ces différentes hypothèses en suivant régulièrement la croissance de plusieurs reboisements sur sous-solage répartis sur les différentes stations les plus représentatives de la région.

### 3.1.3. L'explosif

Bien qu'étant assez coûteuse et difficile à mettre en oeuvre, cette technique peut présenter un intérêt dans certains cas particuliers.

Nous avons mesuré quatre reboisements effectués à l'explosif et tous ont donné des résultats assez décevants :  
 - sur le site d'Artignosc, la croissance est équivalente à celle obtenue sur sous-solage mais elle reste tout de même faible (Km = 1,9 m , classe V) ;

- sur les autres sites (Morières, Pelenc et Gardiole), la croissance est vraiment très faible (Km = 1.0 à 1.2 m, classe VI) et équivalente à celle obtenue sur des potets piochés.

Il semble que dans tous ces cas, la technique ait été assez mal mise en oeuvre : sur tous ces sites, la roche-mère est un calcaire massif qui se trouve à faible profondeur. Les cartouches d'explosif étant introduites à la barre à mine, elles n'ont jamais pu être placées dans la roche, mais simplement en surface de celle-ci. L'énergie de l'explosion s'est donc surtout dégagée dans la partie offrant le moins de résistance (le sol meuble au-dessus, qui a été "soufflé") et assez peu dans la partie offrant une résistance (la roche-mère, qui n'a donc été que très peu fracturée).

De ce fait, le volume et la profondeur de sol exploitables par les racines n'ont pas été beaucoup augmentés (nous avons mesuré la profondeur de nombreux potets à la tarière : elle atteint 60 cm au maximum mais ne dépasse en fait que très rarement 40 cm).

Cependant, le travail qui peut être réalisé actuellement est vraiment beaucoup plus important et peu comparable à ce qui vient d'être décrit. Dans presque tous les terrains, le volume travaillé avec une cartouche de 100 à 150 g est d'au moins 0,80 à 1 m<sup>3</sup> (car les cartouches sont placées à des profondeurs importantes, 80 cm, grâce à l'utilisation d'un compresseur). Une fertilisation est de plus très facile à réaliser (Lemaire, 1977, 21 ; Delouvrier, 1983, 12). Nous n'avons malheureusement pas de résultats précis obtenus avec cette méthode.

L'utilisation de cette technique est bien sûr très limitée du fait de sa mise en oeuvre difficile (utilisation d'explosifs, rayon d'action limité à 300 m autour du compresseur) et surtout de son coût élevé (20 à 25 F par trou en 1983), mais elle peut apporter la solution à certains reboisements particuliers.

### 3.2. LA MISE EN PLACE

#### 3.2.1. Quelques résultats préalables

Il y a très peu de résultats précis sur cette phase du reboisement. Les expérimentations portant souvent sur d'autres facteurs, la mise en place des plants est faite de façon très soignée afin qu'elle n'ait aucune influence et ne masque pas l'effet des facteurs étudiés.

Il existe tout de même une expérience faite par l'INRA en 1978. Des plants de cèdre 1-0G ont été plantés en pépinière selon 7 modalités :

1. sachet conservé intact ;
2. fond du sachet découpé, motte conservée intacte ;
3. fond du sachet découpé, motte conservée intacte, sachet coudé ;
4. fond du sachet découpé, motte conservée intacte, sachet retroussé sur la moitié de sa hauteur ;
5. sachet enlevé, motte conservée intacte ;
6. sachet enlevé, chignon sectionné ;
7. racines nues, chignon sectionné.

Cette étude fait apparaître que la reprise est presque totale sur les 6 premières modalités et n'est que de 75 % sur la septième. La croissance en hauteur des 4 premières années est plus importante pour la sixième modalité, la septième ayant la croissance la plus faible au début, mais la plus forte après 4 ans.

Des observations racinaires ont également été faites et montrent que, lorsque le chignon n'a pas été coupé à la plantation (modalités 1 à 5), il se forme une pelote compacte de racines anastomosées avec plus ou moins de racines latérales suivant que le sachet a été plus ou moins retroussé. La modalité 6 a permis le développement d'un système racinaire puissant et équilibré, bien ramifié et sans anastomoses ni étranglements. Pour la modalité 7, le système racinaire est comparable à celui de la modalité 6 avec toutefois une moins bonne ramification (car quelques racines secondaires ont dû

être sectionnées lors de la plantation) (Valette, 1983, 32).

### 3.2.2. Résultats obtenus

Nous avons effectué plusieurs fois des observations racinaires qui montrent que l'on trouve souvent deux types de problèmes sur les reboisements : présence du sachet ou importantes déformations.

#### 3.2.2.1. Reboisements où les sachets de polyéthylène ont été conservés au moins en partie

. Sur le site de Poulx, seul le fond du sachet a été enlevé avant la plantation (c'est une méthode qui est parfois utilisée car, les premières années, elle donne en général une bonne reprise et une assez bonne croissance, ceci étant confirmé par les résultats de l'expérience de l'INRA). Nos mesures, faites 10 ans après la plantation, montrent que la reprise est faible (23 %) car de nombreux plants meurent encore après plusieurs années, et la croissance ( $K_m = 1,6$  m) est très en retard par rapport à celle du boisement de référence (peuplement adulte situé en bordure du reboisement et où  $K_m = 3,7$  m). Ces mauvais résultats sont très certainement dûs aux déséquilibres du système racinaire (absence de certaines racines latérales, déformations et étranglements au niveau du sachet).

. Sur le site de la Gardiole, le sachet devait avoir le fond découpé et les parois retroussées. Nos observations ont montré que c'est une technique délicate à mettre en oeuvre. Elle demande en effet, une surveillance constante sans quoi le découpage du sachet est souvent bâclé, les pertes de croissance sont alors importantes (1,6 unités de K) et les taux de mortalité plus forts (40 % au lieu de 11 %). Lorsqu'elle est bien exécutée, les résultats sont assez bons mais il est alors tout aussi simple d'enlever complètement le sachet.

Nous n'avons pas voulu mesurer d'autres reboisements où

le sachet a été conservé, car nous pensons que les forestiers sont maintenant, dans l'ensemble, convaincus de la nécessité d'enlever complètement les sachets de polyéthylène au moment de la plantation, et il n'était pas nécessaire d'accumuler les résultats à ce sujet.

### 3.2.2.2. Reboisements où les plants présentent des déformations racinaires

Sur les sites du Luberon, nous avons constaté que, malgré un sous-solage, le reboisement présente une croissance inférieure à celle des semis naturels. Cela est très certainement dû à la mauvaise qualité de l'enracinement des plants : nous retrouvons des anastomoses et étranglements de racines décrits par Valette (1983, 32) et qui résultent de déformations provoquées au moment de la mise en place ou, plus probablement, de l'utilisation de plants présentant un chignon qui n'a pas été sectionné lors de la plantation. Par rapport aux semis naturels la croissance est inférieure d'une demi-classe, mais compte tenu du fait qu'un sous-solage avait été fait, la perte de croissance provoquée par le mauvais enracinement est au moins d'une classe de croissance. La reprise n'est aussi que de 50 %.

Sur les sites des Maures, nous avons aussi remarqué les importantes déformations racinaires de certains plants sur les placeaux. La perte de croissance est assez difficile à estimer (elle doit être d'environ une demi-classe si l'on se réfère à la comparaison entre placeaux et bandes du Landon, mais ce n'est qu'un résultat moyen, qui ne distingue pas sur les placeaux les plants ayant d'importantes déformations de ceux qui n'en ont pas).

Ainsi, il apparaît nettement qu'un mauvais enracinement peut provoquer des pertes de croissance (et de reprise) importantes (sur le Luberon, nous les avons estimées à une classe de croissance, mais il est probable qu'elles peuvent être beaucoup plus importantes encore) et rendre ainsi inu-

tile toute autre opération de mise en valeur (travail du sol, entretien...).

D'autre part, l'effet dans le temps de déformations racinaires est difficilement prévisible mais des expériences malheureuses (les nombreux chablis causés par des déformations racinaires dues à la plantation, sur des eucalyptus au Maroc et des pins maritimes dans le Sud-Ouest de la France) nous rappellent qu'il faut absolument éviter ces déformations.

### 3.2.2.3. Nécessité d'une mise en place soignée

Nous pensons donc qu'une mise en place des plants très soignée est nécessaire et qu'elle doit s'accompagner de résultats significativement meilleurs sur la reprise et la croissance.

A Montaren, nous avons pu comparer deux mises en place assez différentes : dans un cas chaque plant était planté en moins de 2mn30s et dans l'autre en 10mn. Après un été, la reprise est de 23 % dans la premier cas et de 92 % dans le deuxième. Cela confirme donc bien l'influence très importante de la plantation sur les résultats ultérieurs, au moins sur la reprise.

Pour des raisons évidentes de coût, il serait quand même nécessaire de rechercher un juste milieu entre ces deux temps de plantation (2mn30s apparaît comme insuffisant mais 10mn semble trop long).

### 3.2.3. Conclusion

Au moment de la mise en place, il est donc nécessaire de chercher à préserver le mieux possible le système racinaire du plant. L'enlèvement complet du sachet de polyéthylène n'est pas suffisant, il faut de plus éliminer le chignon éventuel des racines (malgré le traumatisme que cela peut causer au plant) et peut-être même détruire la motte afin de mieux mettre en terre le système racinaire - sur ce der-

nier point, il faudrait rechercher des résultats complémentaires car Valette (1983, 32) a montré que cette technique provoque une baisse de la reprise, mais sur les chantiers expérimentaux du CEMAGREF, elle a donné d'excellents taux de reprise, jusqu'à 100 % après 1 an-.

Cela va donc dans le sens d'une augmentation sensible du temps passé à la mise en place (et donc de son coût). Il faut aussi rechercher des conteneurs qui permettent une mise en place plus facile et qui donnent des plants ayant un système racinaire de meilleure qualité.

### 3.3. LES CONTENEURS

Sur ce point précis, nous n'avons fait que très peu d'observations personnelles et surtout pas de mesures comparatives entre différents conteneurs. En effet, ces comparaisons ne peuvent se faire valablement que dans le cadre d'un essai mis en place de façon très précise (conditions de station homogènes, répétitions, mise en place bien définie, comptages et mesures réguliers...). Nous ne ferons donc ici que quelques remarques générales.

Les plants à racines nues de cèdres ne sont pratiquement plus utilisés dans la région, du fait des nombreux échecs auxquels ils ont conduit. Quelques techniques particulières peuvent peut-être permettre leur utilisation (Clauzel, 1976, 8), mais la plupart des essais mis en place ont confirmé ces difficultés de reprise (CTGREF, 1973, 9). Il ne faut pas trop vite en conclure que lorsque l'on met en place des plants en conteneurs, il faut absolument conserver la motte intacte, sous peine de se ramener à une plantation à racines nues et d'avoir les mêmes échecs. En effet, les cèdres sont peut-être plus sensibles à l'exposition prolongée de leurs racines à l'air (qui se produit lors du transport des plants à racines nues et peut provoquer la dessiccation de celles-ci) qu'à la disparition de quelques radicelles (qui se produit lors de

l'arrachage en pépinière ou de la destruction de la motte sur le chantier).

La destruction de la motte des conteneurs n'est donc pas une méthode aberrante (elle a d'ailleurs donné de très bons taux de reprise sur trois chantiers du CEMAGREF). Elle peut permettre une meilleure mise en place du système racinaire des plants et la correction de certaines déformations induites par le conteneur.

Les sachets plastiques ont été et sont encore les conteneurs les plus utilisés. Ils ont permis de résoudre en partie les graves difficultés de reprise des plantations dans la région. Ils ne représentent pourtant pas encore le conteneur idéal car ils ne facilitent pas beaucoup la mise en place (il est nécessaire de les enlever) et surtout, ils provoquent des déformations racinaires qu'il faut éliminer au moment de la plantation, ce qui constitue donc un traumatisme pour le plant.

D'autres conteneurs ont aussi été employés et de nouveaux apparaissent régulièrement. De nombreux essais ont été et sont réalisés afin de tester tous ces conteneurs mais aucun ne présente encore toutes les qualités recherchées : absences de déformations racinaires, facilité de mise en place, bonne reprise, bonne croissance initiale et faible coût. Les recherches sur ce point méritent d'être poursuivies car de l'amélioration de la présentation des plants devrait résulter une amélioration sensible de la qualité des reboisements dans la région (meilleurs résultats et peut-être aussi coût moins élevé).

### 3.4. LA CONCURRENCE ET LES ENTRETIENS

#### 3.4.1. Résultats préalables

Dans la région méditerranéenne, il existe peu de résultats précis sur ce sujet.

Nous avons tout de même eu connaissance d'une expérimentation tunisienne (Tschinkel, 1976, 31) : des pins d'Alep ont été plantés dans une zone de garrigues, sur des bandes recépées plus ou moins larges (0, 2, 4 et 8 m). La survie après deux ans est presque nulle sur les lignes plantées dans la garrigue, moyenne sur les bandes recépées de 2 m et bonne sur les bandes de 4 à 8 m (peu différentes entre elles). On retrouve les mêmes résultats sur la croissance : elle est faible sur les lignes dans la garrigue, moyenne pour les bandes de 2 m et bonne pour les bandes de 4 ou 8 m.

Cette expérience est assez intéressante dans son principe et dans ses résultats : la largeur des bandes peut avoir une grande influence sur les résultats d'un reboisement.

#### 3.4.2. Résultats obtenus

Sur le site de Seillans, les analyses de tiges sur les semis artificiels montrent que l'envahissement par le maquis provoque une perte de croissance d'environ une demi-classe.

Sur le site de Pelenc, nous avons mis en évidence la croissance plus faible des lignes de plants en bordure de l'interbande (la différence est aussi d'une demi-classe par rapport aux lignes centrales des bandes). Nous n'avons pas constaté de différence sur la reprise.

Ces différents résultats montrent que la concurrence peut avoir une influence non négligeable sur la croissance et la reprise des plantations, mais qu'il est encore actuellement impossible de chiffrer. Il serait souhaitable de mettre en place

une série d'expérimentations devant répondre à plusieurs questions :

. L'effet réel des interbandes : induisent-elles toujours de mauvais résultats sur ces lignes de plants proches ? L'abri qu'elles peuvent procurer n'est-il pas très bénéfique ? Quel est donc, de la concurrence ou de l'abri, l'effet dominant ? Pour répondre à ces questions, il serait nécessaire d'installer des comparaisons entre dispositifs en plein et en bandes de différentes largeurs et cela avec les principales formations végétales rencontrées sur les reboisements (garrigues et taillis surtout).

. L'effet du passage de certains outils - lame de buteur (décapage), rasette, cover-crop... - sur la végétation concurrente en comparant la reprise et la croissance avec celles obtenues sur des zones témoins.

. La périodicité des entretiens qui devrait être définie au moins pour certaines grandes régions homogènes (garrigues du Gard par exemple).

### 3.5. LES DISPOSITIFS UTILISES

On hésite souvent entre un dispositif en plein ou en bandes, ou sur la largeur des bandes à utiliser. Dans l'état actuel de nos connaissances il n'est pas possible d'orienter ces choix mais la mise en évidence de l'effet réel des interbandes (voir le paragraphe précédent) devrait le permettre.

D'autres dispositifs sont parfois utilisés afin de mettre à profit la capacité du cèdre à se régénérer et à se disséminer : ce sont les bandes ou placeaux de dispersion. Nous avons mesuré plusieurs dispositifs en placeaux et pouvons faire les remarques suivantes :

- leur faible surface et leur dispersion interdisent, sauf exception, tout travail mécanique du sol et seuls les potets (ouverts manuellement ou parfois à l'explosif) sont utilisables ;
- leur faible surface, les difficultés que l'on a parfois à

les retrouver et donc à les entretenir, font que la concurrence y est généralement assez forte ;

- les plants installés dans de telles conditions sont une cible privilégiée pour les lapins ou les sangliers.

Toutes ces conditions font que les résultats (reprise et croissance) sont souvent médiocres et nos mesures (voir les sites des Maures, des Morières, du Pelenc et de la Gardiole) le confirment bien. On peut pourtant se contenter d'une faible croissance sur de tels dispositifs car les arbres ne sont destinés qu'à être des semenciers, mais cela oblige à des entretiens durant une longue période pour assurer leur survie.

D'autre part, il semblerait qu'un cèdre sur 10 seulement, soit vraiment fructifère (Toth, 1983, 24). La constitution de bouquets de 10 arbres à l'hectare (sur les placeaux visités il n'y avait même que de 3 à 9 plants par hectare) est donc vraiment insuffisante et même dangereuse, du fait des problèmes de consanguinité qui apparaîtront forcément aux générations suivantes.

Toutes ces remarques devraient donc conduire à augmenter sensiblement le nombre de plants et la surface des placeaux ; ou bien à préférer les dispositifs en bandes de dispersion qui ne présentent pas ces inconvénients. La technique des placeaux serait peut-être à réserver aux zones où l'aspect paysager du reboisement est important et où des bandes ne sont donc pas souhaitables.

## CONCLUSIONS

---

Après l'apparition de nouveaux matériels et de nouvelles techniques, il nous a semblé utile de faire ce bilan des reboisements en région méditerranéenne, afin de dégager les facteurs les plus influents sur la reprise et la croissance initiale des plants.

A priori, toute introduction assez récente de cèdres qui présentait un intérêt de par les techniques utilisées, devait être prise en compte. Cependant, l'approche préalable que nous avons réalisée dans les Maures nous a amené à réduire considérablement le nombre des reboisements à visiter : il est en effet apparu que les conditions de station ont aussi une influence importante sur la croissance des plants, même durant les premières années. C'est un premier résultat, confirmé par la suite de l'étude, et qui met en évidence que, malgré les améliorations qu'elles peuvent apporter, les techniques de reboisement utilisées actuellement dans la région ne permettent pas l'installation vraiment satisfaisante d'un boisement de cèdre en dehors des zones qu'il affectionne. Par ailleurs, cela nous a montré que pour obtenir des résultats précis sur les techniques utilisées, il fallait éliminer les variations dues aux conditions de station et n'étudier les reboisements qu'en les comparant deux à deux sur stations homogènes (notion de sites).

En pratique, il s'est avéré très difficile de trouver un nombre suffisant de sites, même en étendant la notion pour y inclure les stations où se trouvent un seul reboisement et un peuplement naturel ou adulte. Pour les autres essences utilisées en reboisement dans la région méditerranéenne, il est probable que le nombre de sites intéressants soit encore plus réduit que dans le cas du cèdre. De nouvelles études comparables à la nôtre se heurteraient donc à un manque de données, à moins d'étendre notablement la zone d'étude ou de prendre en compte plusieurs essences à la fois, mais avec alors d'importantes difficultés à faire une synthèse. De telles études sont pourtant envisageables car l'éventail des techniques utilisables en région méditerranéenne est assez réduit et il est probable que l'on puisse mettre en évidence l'effet global de chaque technique, en nuancant en fonction des essences ou des zones considérées.

Le second problème important qui est apparu a été celui des courbes de croissance. Les nombreuses analyses de tiges que nous avons réalisées correspondaient mal aux différentes courbes de croissance existantes, surtout dans la période de 0 à 10 ans. Nous avons donc dû modifier le tracé de ces courbes au moins dans la jeune âge ; les nouvelles courbes proposées semblent beaucoup plus fiables et nous avons pu les utiliser pour comparer des boisements d'âges différents. A l'avenir ces courbes pourraient servir à juger assez rapidement de la bonne ou mauvaise croissance d'un reboisement - en tenant compte, bien sûr, des potentialités de la station-. Nous sommes pourtant conscients que notre tracé doit être confirmé : d'une part au-delà de 25 ans car la méthode utilisée est assez contestable (il faudrait réaliser une série d'analyses de tiges par la méthode classique du billonnage d'arbres adultes), d'autre part en deça de 25 ans car nous n'avons réalisé que peu d'analyses dans les meilleurs classes de croissance (il faudrait donc en réaliser quelques-unes supplémentaires par la méthode que nous avons utilisée, beaucoup plus précise pour les arbres jeunes). Il

n'en est pas moins vrai que toutes les données en notre possession (faisceaux de courbes de différents auteurs, analyses de tiges) montrent que notre faisceau de courbes est assez fiable.

Nous avons finalement pu définir 11 sites intéressants qui se situent dans 3 départements (Var, Vaucluse et Gard). Sur deux de ces sites la roche-mère est acide (gneiss, mica-schistes ou diorites) mais, sur les neuf autres, la roche-mère est un calcaire dur situé à faible profondeur, ce qui engendre des conditions stationnelles assez homogènes et a facilité nos synthèses.

Les différents résultats obtenus montrent souvent que le travail mécanique du sol permet un gain d'environ une classe de croissance (et quelquefois un peu plus), durant les premières années.

Les autres préparations du sol ne doivent pas pour autant être éliminées : dans les cas où les engins mécaniques ne sont pas utilisables, le travail du sol à la pioche ou à l'explosif doit suffire à l'installation correcte d'un boisement, et ces préparations légères sont même parfois préférables (très bons résultats sur certaines stations, mise en oeuvre facile, coût parfois plus faible : il serait nécessaire sur sols meubles et profonds de comparer rigoureusement plantations sur potets et sur sous-solage ; quant aux plantations à l'explosif il reste encore à connaître précisément les résultats obtenus lorsque la mise en oeuvre de la technique est correcte).

Les travaux mécaniques réalisés dans la région sont assez peu variés, et consistent très souvent en un sous-solage mais avec plusieurs modalités possibles (différents écartements des passages, emploi d'outils supplémentaires). Les chantiers expérimentaux ont montré que les résultats obtenus (surtout la croissance) sont peu différents d'une modalité à l'autre et donc, seul le sous-solage en général, induit des différences sensibles. Nos mesures semblent aussi

montrer que le sous-solage (tout au moins sur les stations des garrigues du Gard) a un effet positif durable pendant au moins 20 à 25 ans.

Cependant, et c'est là un point important, le sous-solage n'a pas résolu tous les problèmes des plantations et les échecs ou mauvais résultats sont encore assez fréquents. Mis à part les conditions de station dont nous avons déjà parlé, les autres phases du reboisement peuvent faire échouer (ou réussir) une plantation.

L'effet de la mise en place des plants est par exemple très net et de nombreux échecs peuvent en résulter. Il est nécessaire de prendre le plus grand soin lors de cette phase et d'augmenter sensiblement le temps (et donc le coût) qui lui est consacré : des réussites moins aléatoires et des croissances meilleures en résulteront. Il faut aussi remarquer que le sous-solage simple, qui est le plus employé, crée souvent des conditions très difficiles pour la mise en place : poches d'air dans la raie de sous-solage, beaucoup de cailloux qu'il est nécessaire d'enlever au moins en partie avant la plantation (mais ce sont parfois de très gros blocs et cela est de plus en plus fréquent avec l'augmentation de la puissance des engins). Il serait certainement bénéfique - mais cela reste à démontrer - d'améliorer la "surface de plantation" en passant, après le sous-solage, un outil ramenant de la terre sur la raie (constitution d'un bourrelet) : le passage d'un tel engin n'est pas très coûteux et faciliterait grandement la mise en place des plants (qui serait donc meilleure sans être trop coûteuse).

Les recherches actuellement en cours sur les conteneurs devraient aussi permettre une amélioration sensible de la qualité des reboisements, et donc une meilleure mise en valeur des investissements consentis à chaque phase.

Il reste enfin quelques points sur lesquels il n'existe que peu de résultats précis et qui sont un peu négligés. C'est le cas de l'effet de la concurrence ou de l'abri : nous avons mesuré des pertes de croissance d'une demi-classe dues à

à la concurrence mais des études plus précises sont nécessaires pour déterminer l'intérêt de reboiser en plein ou en bandes.

Les connaissances déjà acquises et les matériels existants permettent donc d'obtenir déjà de bons résultats lorsque l'on reboise en cèdre sur les stations qui ne lui sont pas trop défavorables, à condition de ne négliger aucune phase du reboisement. Cependant, certains points particuliers doivent encore faire l'objet de recherches (conteneurs, effet de la concurrence, utilisation plus réfléchie de chaque préparation du sol...) et devraient permettre des améliorations plus ou moins importantes.

## ANNEXES

- ANNEXE 1 Principaux ouvrages consultés
- ANNEXE 2 Etude reboisements - Fiche d'enquête
- ANNEXE 3 Protocole de relevés et mesures
- ANNEXE 4 Régions de l'Inventaire Forestier National
- ANNEXE 5 Forêt domaniale des Maures : Tableau des relevés
- ANNEXE 6 Forêt domaniale des Morières : Tableau des relevés et mesures
- ANNEXE 7 Forêt communale de Montaren : Données climato-  
logiques

PRINCIPAUX OUVRAGES CONSULTÉS

- 1 ALDER (D.), 1976, Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers ; étude et prévision de la production, Cahiers techniques de la FAO, n° 22/2, pp. 145 à 194.
- 2 ALEXANDRIAN (D.), 1974, Le chantier pilote de St Etienne du Grès, Rapport de stage, 21 p.
- 3 ARRIGHI (J.), 1982, L'enrésinement des taillis dans le Ventoux, Office National des Forêts, Centre d'Avignon, 7 p.
- 4 BARTET (J.-H.), BOLLIET (R.), 1976, Méthode utilisée pour la construction de tables de production à sylviculture variable, Office National des Forêts, section technique, document 76.9, 90 p.
- 5 BONFILS (P.), 1978, Le classement des sols en vue de la reforestation en zone méditerranéenne, Revue forestière française, n° 4, pp. 271 à 282.
- 6 CEMAGREF, 1981, Premiers résultats des chantiers expérimentaux de reboisement en chênes verts, Groupement d'Aix-en Provence, 6 p.
- 7 CEMAGREF, 1982, Techniques de reboisement, réflexions générales, conception, note technique n° 47, 72 p.
- 8 CLAUZEL (L.), 1976, La plantation à racines nues du cèdre de l'Atlas, Revue forestière française, n° 3, pp. 202-204.
- 9 CT-GREF, 1973, Reboisement en cèdre, premiers résultats du chantier expérimental de Monclar (Lot), Revue forestière française, n° 2, pp. 134-142.
- 10 CT-GREF, 1975, Reboisement, matériels mécaniques, note technique n° 29, 52 p.
- 11 DE BARROS (A.), SALINAS (F.), 1980, Techniques de préparation du sol au Portugal, Séminaire organisé par la FAO, 24 p.
- 12 DELOUVRIER (R.), Communication personnelle, 1983.
- 13 DUCHAUFOR (Ph.), BONNEAU (M.), LACAZE (J.-F.), 1961, Evolution du profil hydrique d'un sol forestier méditerranéen en fonction des différents modes de travail du sol, Extrait du Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du sol, n° spécial.

- 14 DUPLAT (P.), BOLLIET (R.), 1979, Production de l'épicéa dans le Sud du Massif Central, Office National des Forêts, section technique, document 79.1, 87 p.
- 15 FERRAND (G.), 1975, Etude expérimentale et observations relatives à la morphogénèse et à la croissance du système racinaire du semis de cèdre, Centre National de Recherches Forestières, mémoire de 3ème année ENITEF, 43 p.
- 16 INSTITUT POUR LE DEVELOPPEMENT FORESTIER (IDF), 1971, Le cèdre, Bulletin de vulgarisation forestière, n° 4, 20 p.
- 17 IDF, 1974, Le reboisement en cèdre dans le Sud-Est de la France, Bulletin de vulgarisation forestière, n° 8, pp. 13 à 59.
- 18 IDF, 1976, Le reboisement en région méditerranéenne, essences et techniques, Bulletin de vulgarisation forestière, n° 9, pp. 29-91.
- 19 IDF, 1974, Le cèdre dans la région Provence-Côte d'Azur, Bulletin de vulgarisation forestière, n° 6, pp. 33-76.
- 20 LEFEVRE, 1980, Différentes méthodes d'introduction du cèdre de l'Atlas dans les landes et les taillis médiocres de chêne pubescent et de chêne vert dans les Alpes de Haute Provence, Office National des Forêts, Centre de Sisteron, rapport de stage, 13 p.
- 21 LEMAIRE (R.), 1977, Explosif et forestier, Forêt privée, pp. 40-60.
- 22 MONJAUZE (A.), 1960, Le reboisement sur routage en plein et sur bourrelets, Extrait de la Revue forestière française, n° 1, 25 p.
- 23 OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1968, Chantier expérimental de reboisement de Belvezet, Centre de Nîmes, 11 p.
- 24 ONF, INRA, CEMAGREF, 1983, Compte rendu de la réunion sur le cèdre du 27 avril 1983, 7 p.
- 25 OSTERMEYER (R.), 1984, Enquête sur le cèdre en Languedoc-Roussillon, Résultats complémentaires, CEMAGREF, Mémoire des T.T.F.E., 61 p.
- 26 SCHWARTZ (D.), 1963, Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes, 318 p.

- 27 TOTH (J.), 1982, Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses - cèdre, pin noir et pin de Salzmann - dans le reboisement de Belvezet (Gard), Forêt méditerranéenne, tome IV, n° 2, pp. 143-146.
- 28 TOTH (J.), 1973, Contribution à l'étude de la dissémination des graines de cèdre sur la face sud du Mont Ventoux, INRA, Station de Sylviculture et Production, 31 p.
- 29 TOTH (J.), 1973, La cédraie de la Verne Ragusse dans le massif des Maures, Revue forestière française, n° 2, pp. 115-120.
- 30 TOTH (J.), 1973, Première approche de la production potentielle du cèdre de l'Atlas dans le Sud de la France, Revue forestière française, n° 5, pp. 381-389.
- 31 TSCHINKEL (H.), 1976, Effets de l'élimination de la végétation concurrente sur l'humidité du sol et sur la réussite des reboisements avec Pinus halepensis, Tunisie, Institut National de Recherches Forestières, 16 p.
- 32 VALETTE (J.-Ch.), 1983, Influence du mode de plantation de cèdres 1-0G (sacs de polyéthylène) sur leur reprise et leur croissance initiale, Etude menée en pépinière, Revue forestière française, n° 4, pp. 289-294.
- 33 YI (B.-G.), 1976, Croissance du cèdre de l'Atlas en relation avec quelques variables du milieu en Languedoc-Roussillon, Thèse de docteur-ingénieur, Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 193 p.

**I ESPEC ETUDIEE**

Cèdre de l'Atlas

01

**II LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION****1. SITUATION**Département / no d'ordre (n° orienté) des autres fiches portant sur le même boisement :    Commune :  / Lieu dit :    Secteur ONF / Distance au littoral (km)    Proximité : état (1) département (1) Commune ou collectivité (1) particularité (1)    Latitude / Longitude (milligrades)    **2. STATION**Altitude (en mètres)    Topographie : pins ou ~~autres~~ (0) plat ou légèrement (1) amulet (2) bord de ruisseau (3) mi ruisseau (4) bas ruisseau (5)  
valléeTalweg ou vallon (6) orange (7) 3+4 (8) 4+5 (9)    Exposition du versant : N (1) E (2) S (3) W (4) toutes (5)    Situation de la station : N (1) NE (2) E (3) SE (4) S (5) SW (6) W (7) NW (8) toutes (9)    Rente (en %)    **3. SOUS SOL**Nature de la roche mère (voir code)    Affaiblissement de la roche mère : 0 à 10% (1) 10 à 30% (2) 30 à 60% (3) 60 à 100% (4)    Formation superficielle : roche mère nue (1) formation de la roche mère (2) colluvion (3) alluvion (4) marécage (5)    **4. SOL**Profondeur du sol : sondages (en cm)    Pourcentage de cailloux en affaiblissement : 0 à 10% (1) 10 à 30% (2) 30 à 60% (3) 60 à 100% (4)    Pourcentage de cailloux dans le sol : 0 à 10% (1) 10 à 30% (2) 30 à 60% (3) 60 à 100% (4)    Texture : argile (1) limon (2) sable (3) équivalente (4)    **5. OBSERVATIONS PARTICULIÈRES (en particulier facteurs déterminants éventuels)**Alimentation en eau (drainage, hygrométrie, ...):   

01



## PROTOCOLE DE RELEVES ET MESURES

Ce protocole sert à remplir la fiche fournie en annexe 2.

### I. PREAMBULE

Sur chaque site étudié, nous avons au moins deux boisements et il y a donc au moins deux fiches à remplir.

. Si les deux boisements sont suffisamment proches, les parties I, II, III et IV ne sont complétées qu'une seule fois, chaque renseignement noté devant être valable pour chaque boisement.

. Si les deux boisements sont un peu éloignés, chaque fiche est remplie complètement. Par la suite seulement, lors du dépouillement, il est admis (ou pas, suivant des cas), que les deux stations sont suffisamment semblables pour être confondues, les petites différences éventuelles ayant été notées.

. Si l'un des boisements est un peuplement adulte ou naturel (qui doit servir de référence pour l'étude d'un reboisement), les parties V et VI ne sont pas remplies et la partie VII doit simplement permettre de connaître l'âge et la hauteur dominante du peuplement (les analyses de tiges ne sont faites que si cela est facile).

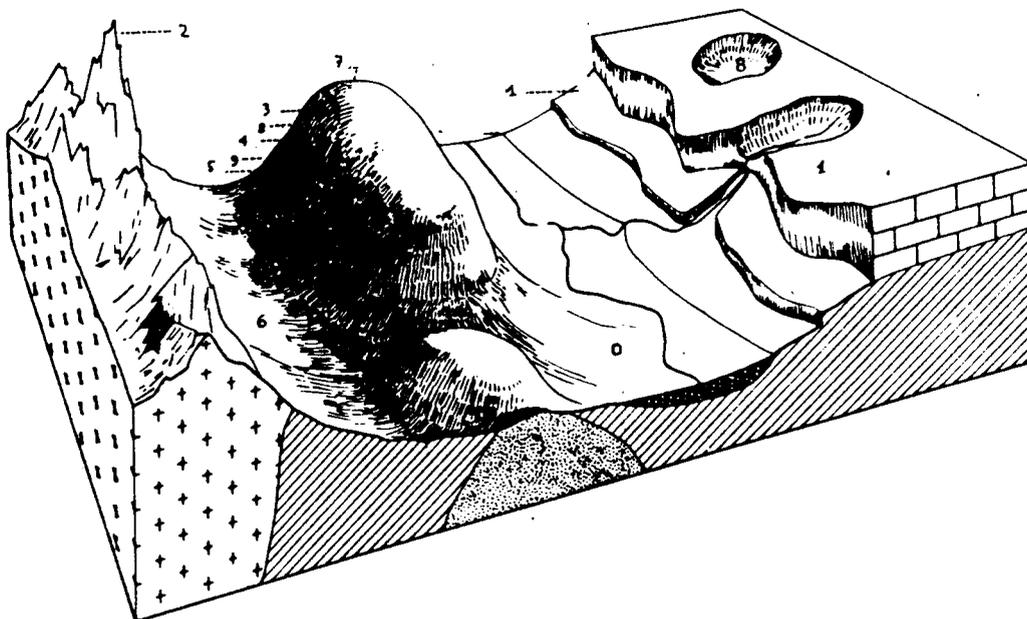
### II. LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION

#### 1. Situation

Tous les renseignements sont fournis de manière à ce que le boisement puisse être retrouvé le plus facilement possible (la partie VIII permet de compléter ce repérage).

## 2. Station

- . Altitude : extrapolation à partir des courbes de niveau.
- . Topographie :



- (0) - Plaine ou vallée : surface de pente inférieure à 5 %, au bas d'un versant.
- (1) - Plateau ou replat : surface de pente inférieure à 5 %, à mi-versant (replat) ou en haut d'un versant (plateau).
- (2) (7) - Sommet et croupe : séparent deux vallées ou thalwegs, ils diffèrent par leur forme plus ou moins aiguë.
- (3) (4) (5) - Versant : surface de pente supérieure à 5 %.
- (8) (9) De haut en bas on distingue les positions (3), (8), (4), (9) et (5).
- (6) - Thalweg ou vallon : relief généralement concave comparable à une vallée mais de dimension beaucoup plus modeste.

. Exposition : elle est notée à l'aide d'une boussole; pour les terrains plats, on note toutes les expositions (9).

. Pente : mesurée à l'aide d'un clisimètre, suivant la ligne de plus grande pente sur 30 m environ.

### 3. Sous-sol

. Nature de la roche-mère : relevée à partir des cartes géologiques et vérifiée sur le terrain.

. Affleurement de la roche-mère : pourcentage estimé en surface, à l'oeil.

. Formation superficielle : provenance des matériaux du sol.

### 4. Sol

. Profondeur du sol : on effectue 5 sondages au hasard, à la tarière à vis hélicoïdale de 3 cm de diamètre, jusqu'à ne plus pouvoir descendre en profondeur.

. Pourcentages de cailloux : ils sont estimés à l'oeil, en surface et en profondeur dans un cube de 20 cm d'arête creusé à la pioche. Ils définissent la charge en cailloux du sol.

. Texture : l'appréciation se fait au toucher sur un échantillon prélevé à environ 20 cm de profondeur.

## III. VEGETATION ACCOMPAGNATRICE

Le relevé des espèces est effectué à l'intérieur même du boisement. On considère comme espèces dominantes les quelques espèces les plus abondantes.

## V. REBOISEMENT

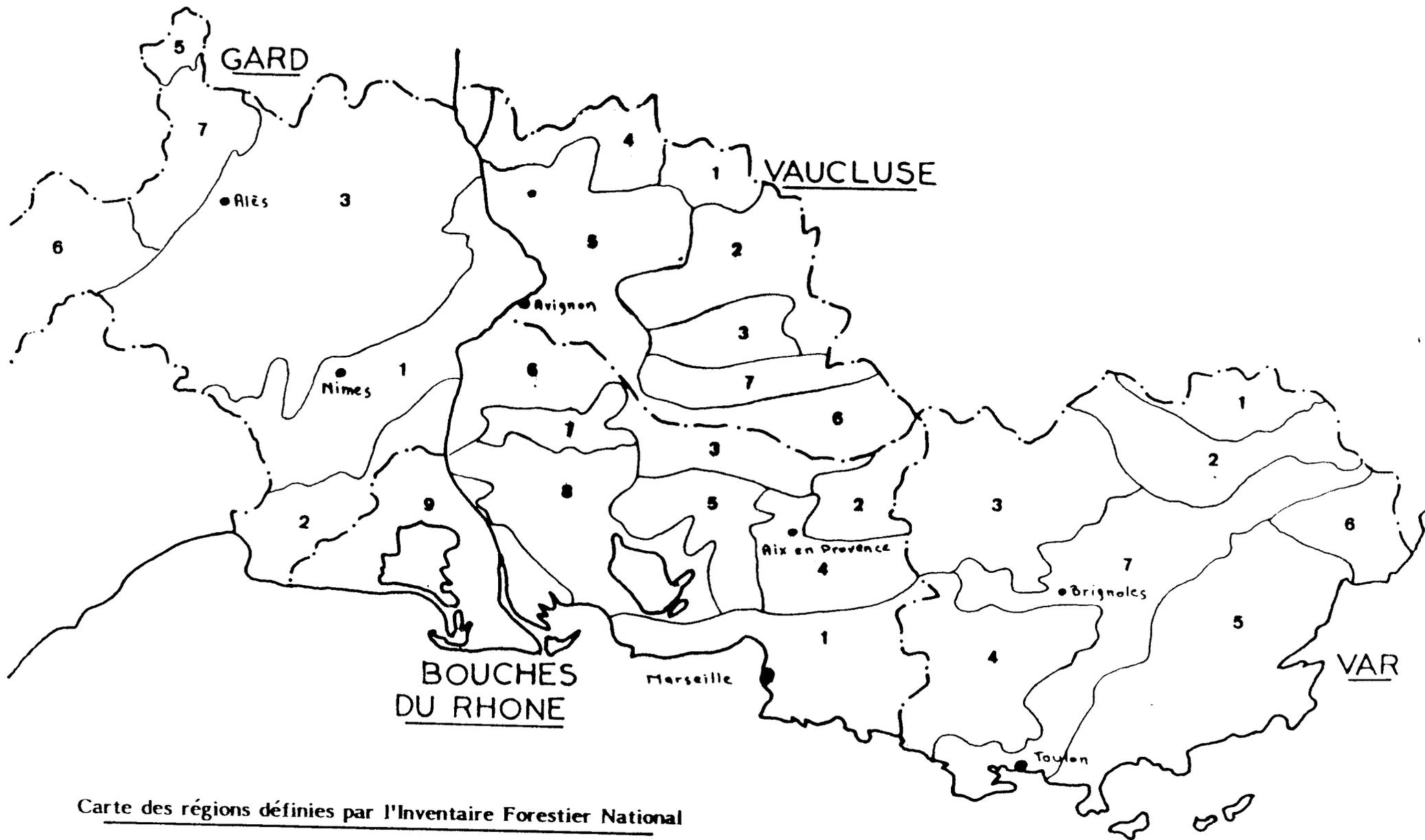
Cette partie est remplie le plus complètement possible par enquête auprès des gestionnaires, ainsi que la partie VI (entretiens, regarnis, travaux).

## VII. PEUPEMENT ACTUEL

1. Nombre de plants : cette rubrique doit permettre de connaître la réussite du reboisement au moment de la mesure. Le comptage se fait sur lignes (si on connaît l'écartement initial des plants) ou sur placettes (si on ne connaît que la densité initiale).

2. Hauteur des plants : c'est la hauteur totale redressée qui est mesurée. Dans tous les cas où cela est possible on mesure  $n$  arbres de manière à ce que le nombre  $\frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$  soit inférieur à 10 % de la valeur de  $H_m$  ( $t$  est la valeur de la variable de Student au seuil de 5 % et elle dépend de  $n$  ; on a ainsi 95 % de chances pour que la hauteur moyenne vraie du reboisement soit comprise entre  $H_m - \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$  et  $H_m + \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$ ).

3. Hauteurs annuelles : elles sont mesurées en repérant les cicatrices laissées sur la tige par le bourgeon terminal, les dernières années et aussi bas que possible. On mesure les hauteurs annuelles sur 10 à 20 % des arbres mesurés en hauteur totale et de manière à ce que ce sous-échantillon ait approximativement la même hauteur totale moyenne que l'échantillon des arbres mesurés en hauteur totale et en représente bien la variation (il est souvent utile de tracer au préalable l'histogramme de répartition des hauteurs totales mesurées).



Carte des régions définies par l'Inventaire Forestier National

REGIONS DE L'INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL

- Bouches-du-Rhône :
- 1 - Chaînons calcaires méridionaux
  - 2 - Plateaux de Provence
  - 3 - Côteaux de Basse-Durance
  - 4 - Bassin de l'Arc
  - 5 - Plateau de Lambesc-Arbois
  - 6 - Comtat
  - 7 - Alpilles
  - 8 - Plaine de la Crau
  - 9 - Camargue
- Gard :
- 1 - Vallée du Rhône-Costières
  - 2 - Petite Camargue
  - (°) 3 - Garrigues
  - 4 - Causses
  - 5 - Hautes Cévennes
  - 6 - Basses Cévennes à châtaignier dominant
  - 7 - Basses Cévennes à pin maritime dominant
- Var :
- 1 - Préalpes de Haute Provence
  - 2 - Plans et piémonts de Haute Provence
  - (°) 3 - Buttes et plateaux de Haute Provence
  - (°) 4 - Chaînons calcaires méridionaux
  - (°) 5 - Maures et bordure permienne
  - 6 - Estérel
  - (°) 7 - Dépression varoise
- Vaucluse :
- 1 - Ventoux
  - (°) 2 - Plateaux et monts du Vaucluse
  - 3 - Bassin d'Apt
  - 4 - Tricastin
  - 5 - Comtat
  - 6 - Côteaux de Basse Durance
  - (°) 7 - Montagne du Luberon

(°) Régions où nous avons étudié des sites.

Forêt domaniale des Maures : tableau des relevés

N° du plateau	Indice de crois- sance : K(m)	Coefficient de variation (%)	Réussite	Altitude (m)	Topographie	Exposition du versant	Exposition de la station	Pente (%)	Roche-mère	Affleurement de la roche-mère	Profondeur du sol (cm)	Cailloux en affleurement	Cailloux dans le sol	Texture	Hauteur du ma- quis et des arbres
1	-	-	0/7	500	3	1	3	45	M	1	63	2	2	4	6-12
2	-	-	0/7	500	2	5	9	0	G	2	10	3	3	4	2- .
3	3,4	-	1/7	500	3	3	6	35	M	1	25	3	2	4	3- .
4	-	-	0/7	500	7	3	9	5	G	1	8	4	3	3	5- .
5	5,6	11	2/7	450	4	3	6	35	G	1	35	3	3	4	3- .
6	9,4	-	1/7	400	4	3	6	30	G	2	23	4	4	4	3- .
7	13,8	37	5/7	350	6	3	5	50	G	1	41	3	3	4	10- .
8	7,3	8	2/7	350	6	3	6	40	G	1	67	3	3	4	12- .
9	8,4	69	5/7	400	5	1	1	35	G	1	28	3	3	4	3- .
10	21,2	49	4/7	400	5	1	8	45	M	1	53	3	3	4	2-7
11	5,1	14	4/7	400	4	1	1	30	G	1	35	3	2	4	3-8
12	5,5	36	5/7	450	4	1	1	30	G	1	40	3	3	4	2- .
13	7,0	38	4/7	550	4	1	3	40	G	2	50	3	3	4	3- .
14	11,1	28	3/7	550	3	1	3	35	G	1	25	3	3	4	3- .
15	10,2	61	4/7	500	3	1	1	25	M	1	29	3	3	4	3-6
16	6,5	28	4/7	500	3	1	8	35	M	1	33	3	3	4	5-8
17	4,8	37	3/7	500	4	1	1	15	G	2	31	3	3	4	2- .
18	12,3	22	5/7	500	1	1	9	0	G	1	25	2	2	4	3-8
19	16,6	74	3/7	550	3	1	1	30	G	1	57	3	2	4	1-4
20	16,1	19	5/7	550	3	1	1	30	G	1	62	3	2	4	1-4
21	6,1	26	4/7	300	4	1	1	30	G	2	40	3	3	4	3-8
22	9,0	7	2/7	300	4	1	1	45	G	2	45	3	1	2	3-8
23	10,4	5	5/7	300	5	1	3	45	G	1	30	3	3	4	5-8
24	10,2	69	4/7	350	4	1	8	20	G	2	23	3	3	4	4-9
25	7,7	39	3/7	350	4	1	8	20	G	1	54	3	2	3	4-9
26	6,7	22	4/7	350	4	1	8	30	G	1	48	3	2	3	3-9
27	4,8	10	3/7	300	4	1	8	35	G	1	45	3	2	3	2-6

28	6,3	54	5/7	400	4	1	2	45	G	1	41	3	2	4	4-11
29	6,0	38	3/7	350	4	1	7	45	G	2	30	3	2	4	3-9
30	6,3	32	3/7	350	4	1	1	40	G	1	52	3	3	4	3-9
31	11,4	31	3/7	350	4	1	8	45	G	2	33	3	3	2	2-10
32	7,7	48	3/7	400	4	1	2	25	G	1	48	3	2	4	3-8
33	13,1	32	5/7	400	1	5	9	0	G	1	36	3	2	4	4-9
34	6,0	29	4/7	400	3	1	7	45	G	2	32	3	3	4	2-6
35	9,4	43	4/7	400	3	1	8	35	G	2	24	3	3	4	3-6
36	20,7	27	4/7	400	1	5	9	0	G	1	28	2	2	4	5-12
37	19,8	28	5/7	400	3	1	1	30	G	1	38	3	2	4	2-10
38	17,6	26	4/7	450	1	5	5	0	G	1	22	3	3	4	2-
39	13,1	42	5/7	450	1	5	9	0	G	1	48	2	2	4	2-6
40	13,1	49	3/7	450	6	1	7	15	G	2	30	3	3	4	4-16
41	15,9	19	4/7	450	1	5	9	0	G	1	36	3	2	4	2-7
42	11,8	40	4/7	450	1	5	9	0	G	1	30	3	2	4	1,5-
43	6,6	40	8/9	200	3	1	3	50	M	1	37	3	3	4	3-7
44	2,7	45	9/9	200	4	1	8	25	M	1	51	4	3	4	0,5-3
45	17,0	45	9/9	250	4	1	2	55	M	1	23	3	3	4	2-9
46	2,9	26	6/9	250	4	1	7	35	M	1	73	3	3	4	2-7
47	4,2	42	6/9	300	4	1	8	40	M	1	57	3	3	4	1-
48	5,9	19	5/9	300	4	1	7	40	M	1	53	3	3	4	3-11
49	7,5	41	8/9	300	4	1	2	50	M	1	87	3	3	4	2-8
50	3,6	42	8/9	200	4	1	7	20	M	2	39	4	3	4	0,5-
51	5,5	13	7/9	250	4	1	1	40	M	1	71	2	2	4	-12
52	10,0	56	9/9	300	4	1	8	35	M	1	44	3	2	4	3-8
53	10,0	73	9/9	300	3	1	8	25	M	1	40	3	3	4	2-8
54	10,3	48	6/9	350	3	1	7	40	M	1	31	3	3	4	3-8
55	7,6	48	6/9	350	3	1	8	40	M	1	52	3	2	4	2-9
56	5,1	35	9/9	200	4	1	1	40	M	1	58	3	3	4	1,5-
57	11,8	49	7/9	200	4	1	8	35	M	1	30	4	3	4	2-8
58	4,5	19	9/9	250	4	1	1	25	M	1	43	3	1	4	2-

M=micaschistes  
G=gneiss

## FORET DOMANIALE DES MORIERES - TABLEAU DES RELEVES ET MESURES

Fiche	Plein		Bouquets		Placeaux	
	1a	1b	2a	2b	3a	3b
Altitude	620	620	600	600	600	600
Topographie	1	1	1	6	4	3
Exposition du versant	5	5	2	2	4	4
Exposition de la station	9	9	9	2	7	8
Pente	0	0	0	10	25	43
Roche-mère	calcaire	calcaire	calcaire	calcaire	calcaire	calcaire
Affleurement de la roche-mère	2	1	2	1	2	2
Profondeur	33	29	40	35	25	35
Cailloux en affleurement	3	3	3	2	3	3
Cailloux dans le sol	3	2	2	2	3	2
Texture	A.L.*	A.L.	A.L.	A.L.	A.L.	A.L.
Relevés de végétations :						
<i>Pinus alepensis</i>	x	x				x
<i>Quercus ilex</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Quercus lanuginosa</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Pinus Pinaster</i>	x	x				
<i>Acer monspessulanum</i>	x	x		x	x	x
<i>Thymus vulgaris</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Rubia perigrina</i>	x	x	x	x		x
<i>Lavandula latifolia</i>	x	x	x			x
<i>Phillyrea latifolia</i>	x	x	x	x		
<i>Genista hispanica</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Odontides lutea</i>	x	x	x	x		
<i>Clematis flammula</i>	x	x				
<i>Juniperus communis</i>	x	x	x	x		x
<i>Crataegus monogyna</i>	x	x	x			
<i>Lonicera etrusqua</i>		x	x	x		
<i>Cistus albidus</i>			x	x	x	
<i>Rosmarinus officinalis</i>			x	x	x	
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i>	x	x				
<i>Rosa canina</i>	x	x				
<i>Pirus amygdaliformis</i>	x	x				
<i>Ruscus aculeatus</i>			x	x		
<i>Rubus sp</i>			x		x	
<i>Euphorbia nicaeensis</i>				x	x	
<i>Asparagus acutifolius</i>				x	x	
<i>Sorbus aria</i>					x	x
<i>Teucrium chamaedris</i>					x	
<i>Sorbus torminalis</i>					x	
<i>Genista pilosa</i>					x	
<i>Arbutus unedo</i>				x		
<i>Amelanchier vulgaris</i>			x			
<i>Pinus sylvestris</i>		x				
Km	18,0	11,1	6,2	7,0	5,4	9,7

A.L. : argilo-limoneux

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
- Précipitations mensuelles	1982												46,6	
(en mm)	1983	0	76,8	72,9	44,0	40,6	68,1	0,3	52,6	12,6	219,4	12,5	72,9	672,7
- Valeurs normales														
(périodes 1955-1980)		70,1	71,0	63,8	58,7	69,5	48,5	26,1	53,3	86,7	125,7	77,8	68,1	819,3
- Différence														
- Températures moyennes	1982	-70,1	5,8	9,1	-14,1	-28,9	19,6	-25,8	-0,7	-74,1	93,7	-65,3	4,8	-146,6
( $\frac{T_n+T_x}{2}$ en °C)	1983	8,0	-4,0	10,0	11,6	15,0	20,5	26,3	23,6	20,1	15,4	10,3	7,1	13,7
- Valeurs normales														
		5,7	7,0	9,4	12,5	16,5	20,1	23,2	22,4	19,3	14,6	9,2	6,0	13,8
- Différence														
		2,3	-11,0	0,6	-0,9	-1,5	0,4	3,1	1,2	0,8	0,8	1,1	1,1	-0,1