

Structures et croissances comparées de quelques peuplements de pins d'Alep dans l'île de Port-Cros (Parc National)

Jean-Pierre DEVAUX, Marguerite LE BOURHIS et Paul MOUTTE *

Résumé : D'importantes chutes de pins d'Alep se sont produites en des endroits déterminés de l'île de Port-Cros. Les auteurs se sont attachés à en dévoiler les causes profondes ; dans ce but une étude dendrométrique comparée de trois stations a été entreprise. Deux types principaux de peuplements peuvent être distingués : les arbres des stations ayant subi des chutes présentent une disharmonie morphologique entre hauteur et épaisseur, révélés par un "coefficient de stabilité". L'origine de la disharmonie, étudiée grâce aux cernes ligneux annuels tient en des phénomènes de compétition qui instaurent une ségrégation sociale pour les seules croissances en épaisseur. Comme par ailleurs les arbres subissent encore d'importantes élongations (révélées par l'étude d'un arbre abattu dans chaque station) le risque de chute s'en trouvera encore aggravé dans les années à venir.

Summary : Important falls of pines (*Pinus halepensis* Mill.) occurred in some precise places of Port-Cros Island. The authors tried to find out the most important causes ; in this purpose a comparative dendrometric study of three places was undertaken. Two main types of sites could be distinguished. The trees from the sites which suffered of those falls show a morphologic disharmony between height and thickness, revealed by a "stability index". The origin of that disharmony (studied with the annual tree rings) comes from some competition phenomena which are installing a social segregation for only growth in thickness. As, from another side, the trees again suffer from important lengthenings, (which is demonstrated by the study of a tree felled in each site) this risk of fall will get higher in the future.

La Direction du Parc National de Port-Cros nous signalait à la fin du printemps 1973 de nombreux chablis de pins d'Alep survenus dans l'île au cours de tempêtes pendant les premiers mois de l'année ; l'ampleur de ces accidents, ainsi que leur concentration en certains points, posaient le problème de l'avenir de ces pinèdes qui, autant que le reste de la végétation, ont fait la renommée de l'île.

(*) Laboratoire de Phytosociologie et Cartographie Université de Provence, Place V.-Hugo, 13331 Marseille Cédex 3.

En effet, le voyageur qui va aborder l'île de Port-Cros ne voit de celle-ci que son couvert presque continu de pins d'Alep, qui masque une diversité de végétation dont rend compte la carte phytosociologique au 1/5 000^e récemment éditée (LAVAGNE et MOUTTE, 1972). Une réduction partielle en est donnée (Fig. 1) : les yeuseraies, seules figurées, se localisent surtout dans les fonds de vallons, tandis qu'un maquis haut à bruyère arborescente et arbousier occupe les coteaux ; la brousse à oliviers, lentisques et myrtes surtout côtière, voisine avec la ceinture halophile.

L'observation des principaux points de chutes de pins d'Alep a montré que :

a) les pins tombés avaient tous été déracinés (sauf quelques-uns cassés par la chute des précédents) ; ils étaient tous de grande taille et possédaient un système racinaire superficiel ;

b) deux zones avaient été particulièrement éprouvées : le haut du Vallon Notre-Dame, et le Vallon noir, au Sud de la ferme de la Palu tandis qu'en d'autres points de l'île, aucune chute de pins n'était à signaler ;

c) aucune attaque parasitaire n'existait sur les branches, troncs ou racines de pins, qu'ils soient tombés ou non.

La cause immédiate des chablis peut être trouvée dans l'analyse du Bulletin météorologique du Var pour 1973 :

— janvier et février ont été fortement excédentaires dans les Maures au point de vue précipitations atmosphériques ;

— pendant la même période, les arbres ont subi au niveau de leurs branchages de violents "coups de boutoir" dûs à plusieurs tempêtes du Nord-Ouest (mistral) ;

— en mars et avril par contre, "la pluviométrie a été fortement déficitaire" ; mais le régime des vents violents a persisté "avec des pointes dépassant 100 km/h par endroits" (les 2 et 7 mars) ; avril a vu une "nette prédominance des vents d'Ouest qui ont parfois soufflé en tempête, notamment le 3 où la vitesse maximale du vent enregistrée à Toulon et à Hyères a été de 126 km/h".

Donc, deux mois de fortes pluies et de grands coups de vents, suivis de deux autres mois secs également très ventés, caractérisent le début d'année 1973. Le sol a été fortement imbibé au cours de la première période ; l'ancrage du système racinaire des pins d'Alep en a été affaibli ; il a ensuite été ébranlé par les tempêtes successives jusqu'à son arrachement dans certains cas.

De tels coups de chablis survenant dans des pinèdes sont loin d'être rares sur la Côte d'Azur : LEFEVRE (1957) en signale au large de Cannes dans l'île Sainte-Marguerite, où nous en avons encore observés en 1970. Mais à Port-Cros si toute la surface de l'île a été soumise à de forts coups de vents, certaines zones couvertes de pinèdes, parfois même des plus exposées aux vents d'Est et au mistral, n'ont pas été

affectées par les chutes de pins. Comment expliquer la concentration de ces chutes en quelques points de l'île ?

En fait sauf en cas de cyclone exceptionnel le vent ne serait pas la cause première des chutes d'arbres. JACCARD (1917) explique ainsi les cassures survenant sur les troncs en cas d'éclaircies : "la tige se voit brusquement exposée à des effets fléchissants supérieurs à ceux pour lesquels elle était construite. Ces efforts croissant avec la longueur du bras de levier". Comme l'observation de pinèdes portant des chablis a révélé des arbres de morphologie particulière (arbres élevés à fûts étroits) l'hypothèse de travail suivante a été retenue : la chute des pins serait due à une disharmonie structurale dans le rapport hauteur/épaisseur. En cas de tempêtes exerçant des "coups de boutoir" sur les branchages, les troncs agissent comme "bras de levier" exceptionnellement longs, d'où de fortes tensions mécaniques s'appliquant au niveau d'un système racinaire implanté dans un terrain assoupli par les fortes pluies.

Une étude comparative de paramètres dendrométriques de plusieurs populations de pins a donc été entreprise dans le but de déceler des anomalies de croissance pouvant être responsables des chutes.

CHOIX ET CARACTÉRISATION DES STATIONS D'ÉTUDE

Notre choix s'est porté sur les deux stations (Vallon noir et la Sardinière) où les chutes ont été nombreuses, et sur une pinède, portant de gros arbres, fortement exposés aux vents les plus violents mais dans laquelle aucune chute ne s'est produite (pointe de la Palu). Leurs emplacements respectifs sont représentés sur la Fig. 1.

Les trois sites ont la même histoire depuis le début du siècle — il n'y a pas eu de coupes de bois, et le seul incendie important (1913) n'a pas affecté les zones étudiées ; le facteur intrinsèque "intervention humaine" peut donc être écarté des comparaisons que nous établirons.

1) Les stations choisies se distinguent nettement par leur physiologie :

— à la Sardinière, les pins d'Alep et les rares pins maritimes survivants à l'attaque du *Matsucoccus* (1) sont en peuplement très dense, ont à peu près tous la même taille, un port élancé, un houppier réduit, et dominant un maquis haut à bruyère arborescente et arbousier ne dépassant pas 4 à 5 m, piqueté de quelques chênes verts dont un seul atteint 10 m.

— le Vallon noir, par contre, présente une yeuseraie typique, dont les chênes verts (hauts de 10 m) constituent un niveau sempervirent

(1) Les premières observations de l'attaque de cette cochenille sur les pins maritimes dans les Maures datent de 1962 (in CARLE, 1974) ; le dépérissement ne s'est manifesté à Port-Cros qu'en 1965.

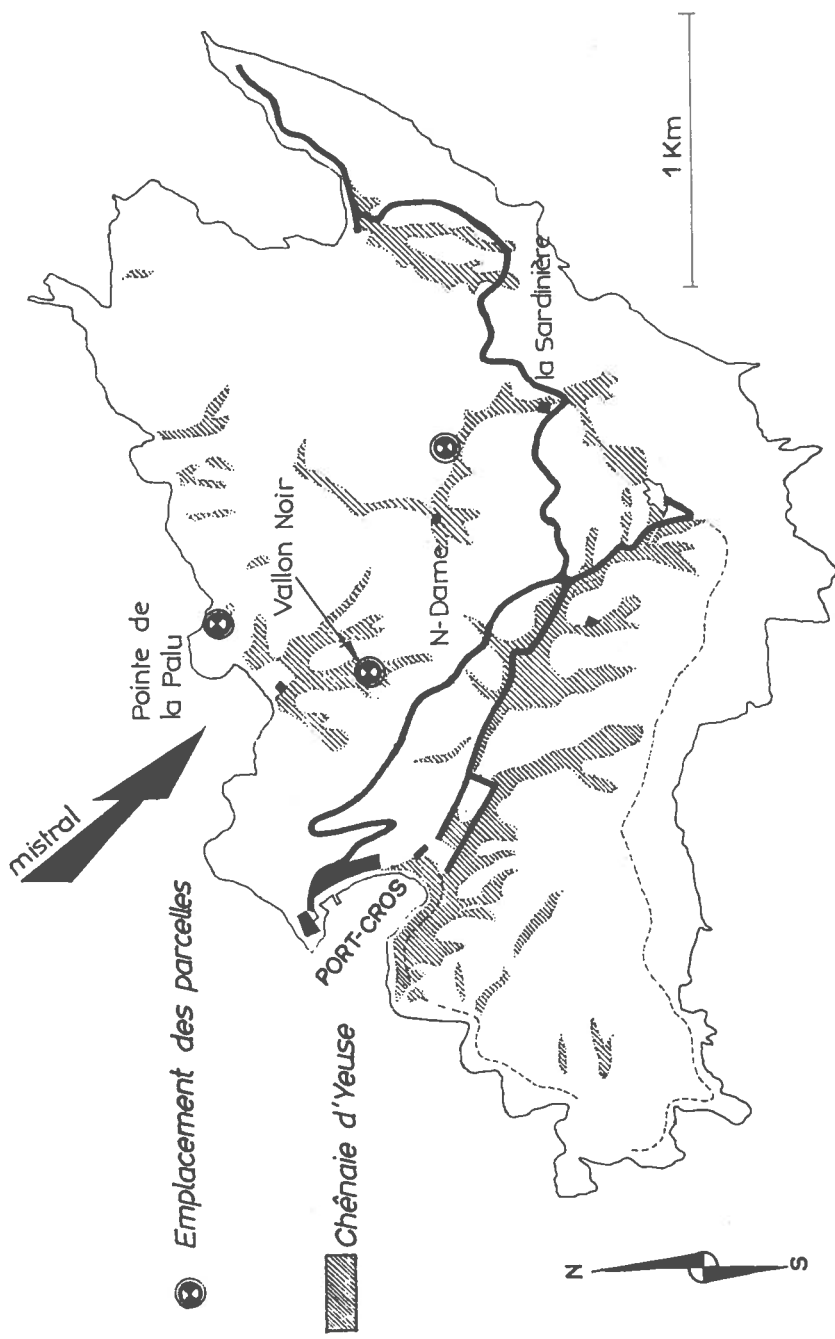


Fig. 1. — Carte de l'île et emplacement des stations d'étude.

continu que renforce le feuillage des arbousiers ; les houppiers de pins d'Alep dominant cette couche de feuillus denses. Cette station est donc loin d'être une pinède pure ; le choix de ce peuplement mixte a cependant été sciemment effectué afin de déceler d'éventuelles différences morphologiques avec le peuplement de la Sardinière.

— A la Pointe de la Palu, enfin, les pins d'Alep sont de moindre hauteur, en peuplement moins dense, avec houppiers bien développés sur un maquis haut entrecoupé de chênes verts en taillis.

2) Du point de vue pédologique l'île entière est formée de mica-schistes et phyllades, donnant des sols de morphologie et de propriétés semblables. Il s'agit d'après MULLER (1963) très généralement de sols bruns peu évolués de profil superficiel A/C sans trace d'horizon B, et de texture sablo-limoneuse. Mais les racines des arbres pénètrent facilement dans les plans de clivage subverticaux de ces micaschistes et phyllades (phénomène bien visible à la Palu où le substrat affleure par endroits). La roche mère est donc utilisée comme sol alors même qu'elle est encore en place ; de plus les racines facilitent encore sa décomposition pourtant déjà rapide sans leur intervention. Mais dans les vallons, et en particulier à la Sardinière, les conditions topographiques ont joué un rôle protecteur contre l'érosion, ce qui a permis la conservation du sol forestier climacique plus épais au-dessus de la roche-mère. Il est possible que ce type de sol jouisse d'une fertilité supérieure à celle des profils classiques A/C.

3) L'étude phytosociologique détaillée des 3 stations est présentée dans le tableau 1 ; on voit un fond floristique commun, à base d'espèces de la yeuseraie silicicole et du maquis ; mais le nombre d'espèces est très réduit : en plus des pins, on note 9 espèces au Vallon noir et à la Sardinière, et 12 à la Palu.

Le relevé du Vallon noir montre un *Quercetum ilicis* (yeuseraie climacique) bien individualisé, avec cinq espèces de l'association, et une bonne régénération du chêne vert.

A la Palu, il y a un fort couvert de bruyère arborescente, qui forme le "maquis haut", et on note une individualité marquée par la présence d'espèces plus thermophiles, telles *Myrtus communis*, *Teucrium marun*, le romarin, les cistes.

La Sardinière présente deux types de peuplements = sur les coteaux, maquis haut piqueté de petits chênes verts et en bas de pente quelques ares seulement de maquis bas à bruyère à balai (*Erica scoparia*) sur apports illuviaux sableux, et où la graminée *Brachypodium silvaticum* pourrait indiquer une plus grande humidité.

TABLEAU 1

TABLEAU PHYTOSOCIOLOGIQUE DE LA VEGETATION DES TROIS PARCELLES

	La Palu	Vallon noir	La Sardinière
Exposition	W-SW	N-NW	W-SW
Pente en degrés	20	25	15-20
Surface en m ²	100	100	100
Couverture en %	90	100	90
<i>Pinus halepensis</i>	4.5	4.4	4.4
id. plantules	+	.	+
<i>Pinus pinaster</i> "passé"	.	1.1	2.2
<i>Pinus pinaster</i> "actuel"	+
<i>Pinus pinaster</i> plantules	.	.	+
1 — Espèces de la yeuseraie (<i>Quercetum ilicis</i>) :			
<i>Quercus ilex</i>	2.3	3.4	1.2
<i>Quercus</i> plantules	+	1.2	.
<i>Phillyrea media</i>	.	1.1	.
<i>Melica arrecta</i>	.	(+)	+
<i>Arisarum vulgare</i>	+2	.	.
<i>Lonicera implexa</i>	.	+	.
<i>Alliance et ordre (Quercion et Quercetalia ilicis)</i> :			
<i>Phillyrea angustifolia</i>	+	1.1	1.1
<i>Daphne gnidium</i>	.	.	++
<i>Transgressives de l'Oleolentiscetum</i> :			
<i>Pistacia lentiscus</i>	2.2	1.1	2.1
<i>Myrtus communis</i>	1.1	.	.
2 — Maquis :			
<i>Erica arborea</i>	2.2	1.2	1.2
<i>Arbutus unedo</i>	.	3.2	2.2
3 — Diverses :			
<i>Rosmarinus officinalis</i>	1.2	.	+
<i>Teucrium marun</i>	(+)	.	.
<i>Cistus salviaefolius</i>	1.1	.	.
<i>C. monspeliensis</i>	1.1	.	.
<i>Senecio cineraria</i>	(+)	.	.

Les pins maritimes sont actuellement présents seulement à la Sardinière (il n'y en a jamais eu dans la parcelle de la Palu ; au Vallon noir deux pins maritimes déjà morts ont été cotés 1.1), où s'observent même des plantules dont certaines atteignent déjà 20 cm de hauteur ; les adultes encore vivants y sont cotés 1.2 ; mais, si on se réfère au comptage de ces pins tués récemment et dont les souches sont encore visibles, on voit que leur densité fut plus importante, et on peut alors (cf. tableau, ligne "*Pinus pinaster* passé") leur affecter un plus grand coefficient d'abondance-dominance. L'originalité de cette pinède mixte "pins d'Alep - pins maritimes" apparaît mieux ainsi.

En résumé, quoique présentant des sols de profondeurs inégales, les trois stations comportent partout une forte couverture de pins (plus de 60 % de la surface) dominant une végétation appartenant à des groupements phytosociologiques affines.

MÉTHODE D'ANALYSE DES POPULATIONS

Pour chacun des sites on a réalisé un échantillonnage, le plus complet possible, ce afin de mettre en évidence les effets de la concurrence sur les individus de tous les rangs sociaux.

1) Dans les trois stations cent pins d'Alep contigus d'une hauteur minimum de 3 mètres ont été marqués dans des zones floristiquement homogènes. Les surfaces occupées par ces cent individus ont été calculées avec précision. 1) Les circonférences à 1 m 30 des cent arbres ont été systématiquement mesurées dans chacun des 3 peuplements puis réparties en classes, ce qui a permis de faire une première estimation des croissances en épaisseur.

2) A partir de ces classes de circonférences 20 individus représentatifs de l'ensemble de chaque population (soit 1 tige sur 5), ont été sélectionnés de la façon suivante : pour chaque classe de circonférences on a retenu un nombre d'arbres proportionnel au total répertorié, et ce dans un rapport le plus proche possible de 1/5, afin que les individus des principales classes de circonférences soient représentés en fonction de leur nombre.

Sur tous les arbres ainsi choisis la hauteur a été mesurée au dendromètre Blume Leiss. Trois baguettes de sondage distantes de 120° et allant jusqu'au cœur ont été extraites à la tarière de Pressler afin de connaître l'âge et surtout l'amplitude des accroissements annuels.

3) Après avoir défini pour les trois stations un arbre moyen théorique sur des critères de circonférences et de hauteurs, on a procédé à l'abattage de l'individu qui s'en rapprochait le plus. Une rondelle a été prélevée tous les mètres depuis la souche jusqu'à la flèche, de chaque arbre abattu afin de comparer sur un même individu l'élongation et l'épaississement.

A. — ANALYSE DES INDICES DENDROMÉTRIQUES

I. — LES AGES

Il est apparu après comptage et interdatation des anneaux ligneux des 3 lots de 20 individus représentant chacun la population d'une placette que les âges moyens (1) étaient comparables et pouvaient se prêter à une étude de production.

(1) Les âges dont il est fait état dans ce travail sont les âges minima : il s'agit d'âges conventionnels pris à 1 m 30, hauteur atteinte dans le meilleur des cas cinq ans au moins après la germination de l'arbre.

TABLEAU 2

Station	Nombre d'arbres	Moyenne	Ecart type
Sardinière	20	70	\pm 3,8
Vallon noir	20	69	\pm 3,4
La Palu	20	58	\pm 14,7
	14	63	\pm 14,4

Ce sont en effet des arbres mûrs d'âges assez voisins et se situant dans la branche sensiblement parallèle à l'horizontale de la courbe de Michailov (1949), relative à la décroissance des cernes en fonction du vieillissement. A la Sardinière et au Vallon noir les peuplements sont de types réguliers (ou équiennes) avec un écart-type faible. Par contre la station de la Palu, par son écart-type important, s'éloigne du modèle de la forêt équiennne et pourrait par certains aspects, se rapprocher d'un peuplement jardiné, bien que dans ce cas, la main de l'homme ne soit pas responsable de l'allure de la forêt.

Cette différence est importante pour la suite de notre étude ; en effet théoriquement une forêt jardinée est stable, chaque arbre mourant de vieillesse étant remplacé par de nombreux semis qui donneront quelques jeunes plants et un seul nouvel adulte. Par contre tous les individus d'une forêt équiennne grandissent et évoluent vers la senescence en même temps, sans qu'il y ait de régénération possible, toute la surface du sol étant occupée. On conçoit qu'il puisse y avoir un phénomène de concurrence plus accentué en forêt équiennne dense.

Nous verrons par la suite que les données relatives aux mesures des circonférences font apparaître plusieurs types de peuplements ; or les âges étant sensiblement les mêmes il faut imputer cette différence d'épaisseur à des modes de croissance dissemblables. La nécessité est donc apparue de traiter les 20 arbres de chaque placette par lots séparés afin de ne pas perdre les informations apportées par les individus de caractères extrêmes : dans la pratique, ces arbres seront classés en 3 catégories se répartissant ainsi : les 6 gros, les 8 moyens et les 6 petits échantillons.

Or à la Palu la considération concomittante des "6 gros et 8 moyens" (soit 14 arbres), à l'exclusion des petits parmi lesquels se trouvent certains individus nettement plus jeunes, conduit à un âge moyen plus proche de la moyenne des autres stations. De plus, lors de l'étude des accroissements annuels envisagés comme une réponse globale de la forêt à l'ensemble des facteurs écologiques, l'analyse de l'ensemble "6 gros + 8 moyens" pour chacune des 3 stations présente l'avantage d'écarter les arbres trop dominés réagissant mal aux stimuli climatiques. C'est pourquoi cette entité (6 gros et 8 moyens) sera parfois utilisée ultérieurement pour l'étude comparée de certains paramètres.

II. — DENSITES

Il était initialement prévu de considérer des placettes portant le même nombre d'individus pin d'Alep, mais cela n'a pas été partout possible, pour deux raisons principales :

1) Omniprésence au Vallon noir de chênes verts et arbousiers en taillis sous la futaie de pin d'Alep. Cette station, rappelons-le, a d'ailleurs été délibérément choisie pour étudier une population de pins d'Alep en mélange avec des feuillus.

A l'intérieur de la parcelle, 68 chênes et 64 arbousiers de plus de 4 m de haut ont été dénombrés ; pour ces 2 espèces il s'agit de rejets de très anciennes souches antérieures à 1910, les plus gros chênes ont une circonférence d'environ 50 cm. Ces arbres, bien qu'atteignant des hauteurs remarquables, 10 m en moyenne pour le chêne, 8 m 50 pour l'arbousier (ce qui est assez exceptionnel sur le continent) se maintiennent dans un sous étage ; ils absorbent de ce fait une grande partie de la lumière avant qu'elle n'atteigne la strate herbacée. Etant données les grandes exigences en lumière du pin d'Alep, reconnues par tous les auteurs, toute régénération lui est ici interdite ; mais au niveau de la couronne, il n'y a pas actuellement de compétition inter-spécifique avec les chênes verts pour la lumière, du fait de la structure régulière du peuplement. Il est par contre indéniable que cette importante population de feuillus instaure au niveau des systèmes racinaires une compétition pour les sels minéraux et surtout pour l'eau, qui est, vraisemblablement, le facteur limitant à Port-Cros. On peut toutefois supposer que les effets de la surpopulation sont en partie compensés par la constitution d'une litière de feuilles mortes de chênes, qui augmente la capacité de rétention d'eau en favorisant la formation d'un complexe argilo-humique. De plus le couvert végétal plus important réalise une protection contre l'évaporation du stock d'eau du sol.

En définitive, on a admis avec DECOURT (1969) que : feuillus et pins d'Alep évoluaient certes dans une ambiance commune créée par le mélange d'essences, mais de façon à peu près indépendante pour chaque strate : les feuillus de l'étage dominé se concurrencent entre eux sans modifier l'étage dominant constitué uniquement de pins d'Alep.

2) Le problème posé à la Sardinière par les pins maritimes s'est avéré aussi délicat : ces arbres aujourd'hui disparus, étaient sans aucun doute localement en compétition avec les pins d'Alep, en raison de leur potentialité élevée de croissance.

Considérant la similitude de port des deux essences il est apparu qu'on ne pouvait pas négliger l'influence passée des pins maritimes, et on a tenu compte de leur présence dans le calcul des densités. (Ceci a été possible grâce aux souches restées sur place qu'on a comptées et dont on a mesuré les circonférences).

Le tableau suivant donnant les caractéristiques dendrométriques comparées des trois placettes appelle quelques remarques :

1) On note la présence à la Sardinière et au Vallon noir d'arbres penchés vraisemblablement destinés à tomber, d'arbres déjà tombés et enfin d'arbres morts debout ; position excluant toute intervention de tempête ; on ne rencontre rien de semblable à la Palu.

TABLEAU 3

	La Sardinière	Vallon noir	La Palu
Nombre de pins d'Alep vivants			
droits	78	75	100
penchés	5	3	—
morts			
debouts	14	12	—
tombés	3	10	—
Nombre de pins maritimes	27	—	—
Total	127	100	100
Surface de la placette (en m ²)	1070	820	1970
Nombre d'arbres à l'hectare	1187	1220	508
Surface terrière à l'hectare (en m ²)	55	40	35
Surf. terrière de la placette (en m ²)	5,9	3,3	6,9
Circonférence moyenne en cm	81	67	84
Ecart type	26,4	25,1	47,9

2) Les différences très sensibles constatées dans les surfaces parcellaires s'expliquent par les variations de densité qu'on rencontre dans chacune d'elles : par exemple on a calculé dans les 3 parcelles le rapport $\frac{\text{surface totale}}{\text{nombre d'arbres}}$ permettant de connaître la projection sur le sol de l'espace maximum alloué à chaque couronne : l'arbre en moyenne dispose de 19,7 m² à la Palu, 8,4 m² à la Sardinière et 8,2 m² au Vallon noir ! C'est pourquoi les phénomènes de compétition, physiologique traduits par l'état plus serré des peuplements, ont toutes les raisons d'être plus prononcés à la Sardinière et au Vallon noir qu'à la Palu.

Notons cependant, que, s'il ne s'agissait pas d'un Parc National mais de forêts destinées à être exploitées, les densités y seraient beaucoup trop élevées (même à la Palu) pour permettre une production ligneuse optimale. PARDE (1959) démontre la nécessité d'éclaircies fortes et situe l'optimum de densité autour de 200 arbres à l'hectare à 70 ans pour des circonférences de 110-120 cm, chiffre remarquablement faible du fait de l'exigence en lumière du pin d'Alep. Les valeurs obtenues à Port-Cros s'écartent donc considérablement du chiffre idéal de PARDE.

3) Les surfaces terrières (section des tiges à 1 m 30) à l'hectare révèlent une production plus forte dans les 2 parcelles à densité élevée. Cependant si l'on ne considère plus des surfaces égales mais les 100

arbres, le niveau de production le plus élevé se trouve être alors celui de la Palu ; à la Sardinière les pins parviennent également à s'accroître de façon satisfaisante ; par contre au Vallon noir la densité est telle (surtout compte tenu de l'abondance des feuillus), que les pins d'Alep doivent se maintenir à un niveau de production médiocre.

En résumé l'hétérogénéité relative des trois peuplements inhérente au mode d'échantillonnage, pourrait rendre difficile une étude formelle des phénomènes de compétition ; cependant les analyses effectuées permettent de rendre compte de l'impact du facteur densité sur les populations de pins d'Alep.

III. — CIRCONFÉRENCES

Les circonférences moyennes de 20 arbres (tableau 2) révèlent des chiffres similaires à ceux des surfaces terrières : à savoir valeurs faibles au Vallon noir, sensiblement plus élevées à la Sardinière et davantage encore à la Palu. En somme les *accroissements en épaisseur sont d'autant plus élevés que la densité du peuplement est moindre* ; cependant l'écart-type supérieur pour les chiffres de la Palu (tableau 3), atteste d'une plus grande dispersion des individus constitutifs ; c'est pourquoi l'étude de la structure des 3 populations en fonction de la circonférence des troncs à 1 m 30 s'est avérée souhaitable.

Pour ce faire, les arbres sont groupés (fig. 2) par catégories de 20 cm de circonférences (catégorie désignée par sa dimension moyenne).

Si la Sardinière et le Vallon noir présentent des résultats très semblables, voisins de la courbe de Gauss unimodale, il n'en est pas de même à la Palu qui montre une courbe plurimodale. Pour cette dernière placette la courbe tend vers un arc régulier se rapprochant du graphique théorique d'un peuplement jardiné, tel que les nombres de tiges décroissent lorsqu'on se rapproche des grosses catégories. De même l'existence de 10 classes contre 8 et 7 révèlent des arbres de tailles plus importantes, bien que légèrement plus jeunes.

La présence de pins d'Alep morts, 13 au moins à la Sardinière (1), 19 au Vallon noir, alors qu'il n'y en a aucun à la Palu atteste de conditions de vie difficile dans ces deux premières stations. Le petit diamètre quasi systématique des morts fait immédiatement penser à des phénomènes de concurrence ayant joué au stade perchis — circonférences de 0,60 à 0,90 m — sur les individus les moins armés pour la lutte : les sujets dominés dans de telles conditions sont littéralement étouffés et voués à une disparition rapide. Cette sélection naturelle est d'ailleurs normale dans une population équiennne.

(1) Il est probable qu'un certain nombre de souches (surtout celles des circonférences de la classe 50 cm) intégrées dans les pins maritimes soient en réalité des pins d'Alep. Au moyen des seules souches la distinction a été difficile à établir pour les jeunes sujets.

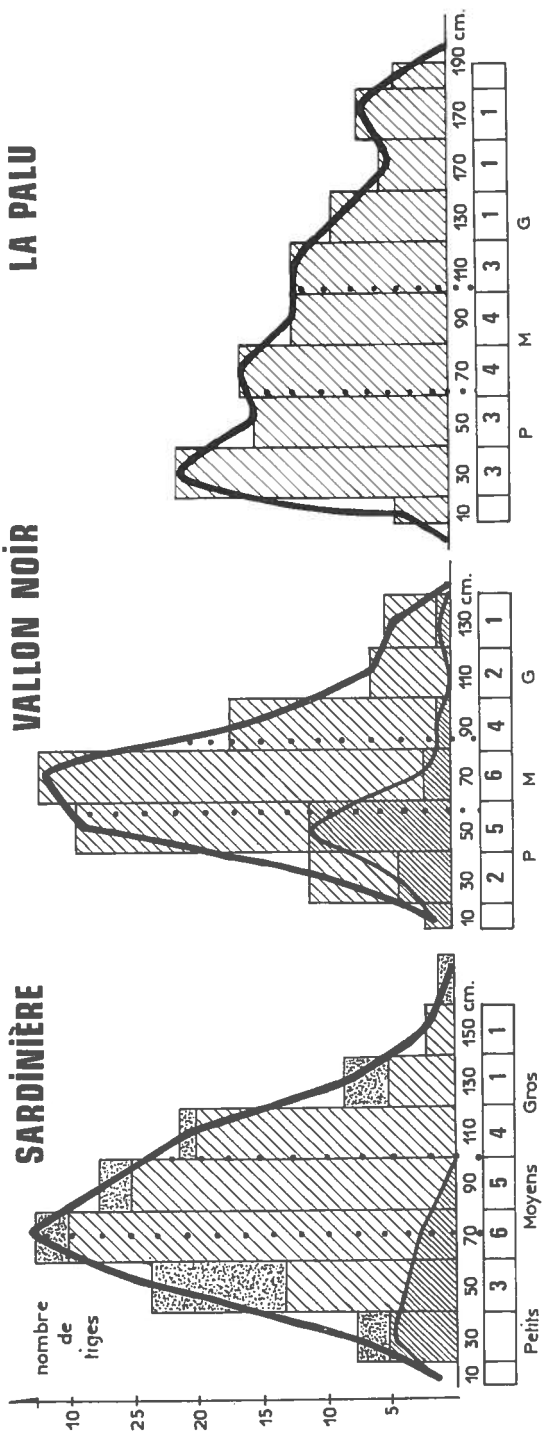


Fig. 2. — Histogrammes de répartition des tiges en classes de circonférences .

Les pins d'Alep morts debouts sont figurés en hachures foncées ; les pins maritimes de la Sardinière en pointillés.

Les chiffres situés au-dessous des histogrammes représentent le nombre de tiges ayant été choisies comme échantillon de la population (20 arbres au total par station).

Les lignes pointillées parallèles à l'axe des ordonnées donnent les limites de circonférences des échantillons considérés comme gros (6), moyens (8) et petits (6).

IV. — HAUTEURS

Les mesures des hauteurs totales moyennes et leurs écarts-types ont été synthétisées dans le tableau suivant :

TABLEAU 4

Station	Hauteur en m	
	(28 arbres)	
	moyenne	écart type
Sardinière	17,8	± 2,5
Vallon noir	14,5	± 1,6
La Palu	12,5	± 2,2

La Sardinière porte les arbres les plus élevés, la Palu les plus bas. Ces chiffres confirment les deux types de populations correspondant à des physionomies différentes qui apparaissent déjà à l'observation directe (fig. 3) :

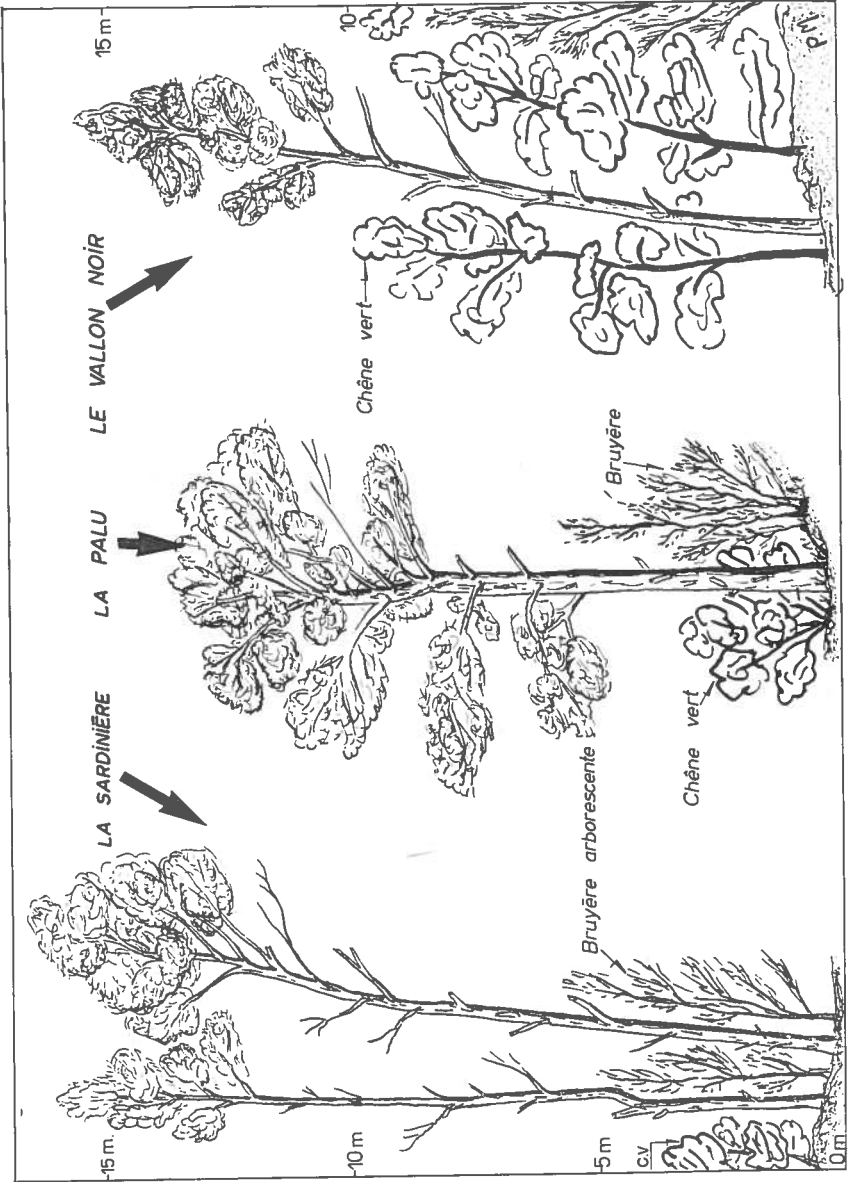
à la Palu, individus massifs à houppiers importants. Branches nombreuses et feuillées sur une grande longueur ;

à la Sardinière et au Vallon noir, individus très élancés à houppier réduit. Les tiges paraissent démesurément allongées pour dépasser leurs voisines afin de bénéficier de plus de lumière.

L'écart-type un peu plus important à la Palu (peuplement moins régulier) reste cependant faible, ce qui montre que la hauteur moyenne est assez caractéristique de la population et que la Palu n'est pas un véritable peuplement jardiné.

Ces chiffres indiquent donc que si la forte densité de population observée à la Sardinière et au Vallon noir a perturbé l'accroissement en épaisseur, elle n'a absolument pas gêné l'élongation : on pourrait même penser que cette densité a provoqué un "filage" des tiges. Cependant les comparaisons effectuées à partir de dispositifs expérimentaux en pépinières n'ont pas jusqu'ici fait apparaître des hauteurs supérieures en peuplements denses (in POLGE 1969). Si cette loi est générale on doit admettre que les différences observées entre les trois parcelles sont le fait de conditions édaphiques stationnelles qui ne sont pas évidentes sur le terrain : on peut par exemple observer certains arbres très hauts ayant poussé sur un maquis paraissant particulièrement sec et infertile... !

En fait quelle que soit la cause des différences d'élongations il n'en est pas moins vrai que les deux sites de la Sardinière et du Vallon noir portent des arbres trop élevés par rapport à leur surface terrière



Les trois types de chênes dans les vallées de la région d'Albi.

et qui sont susceptibles de chuter lors d'un coup de vent violent. Ceci est confirmé par la mesure d'une dizaine d'arbres tombés, dont certains atteignent des hauteurs considérables.

D'autre part l'élongation des tiges s'accompagne, dans les parcelles à fortes densité, d'un important élagage des branches latérales.

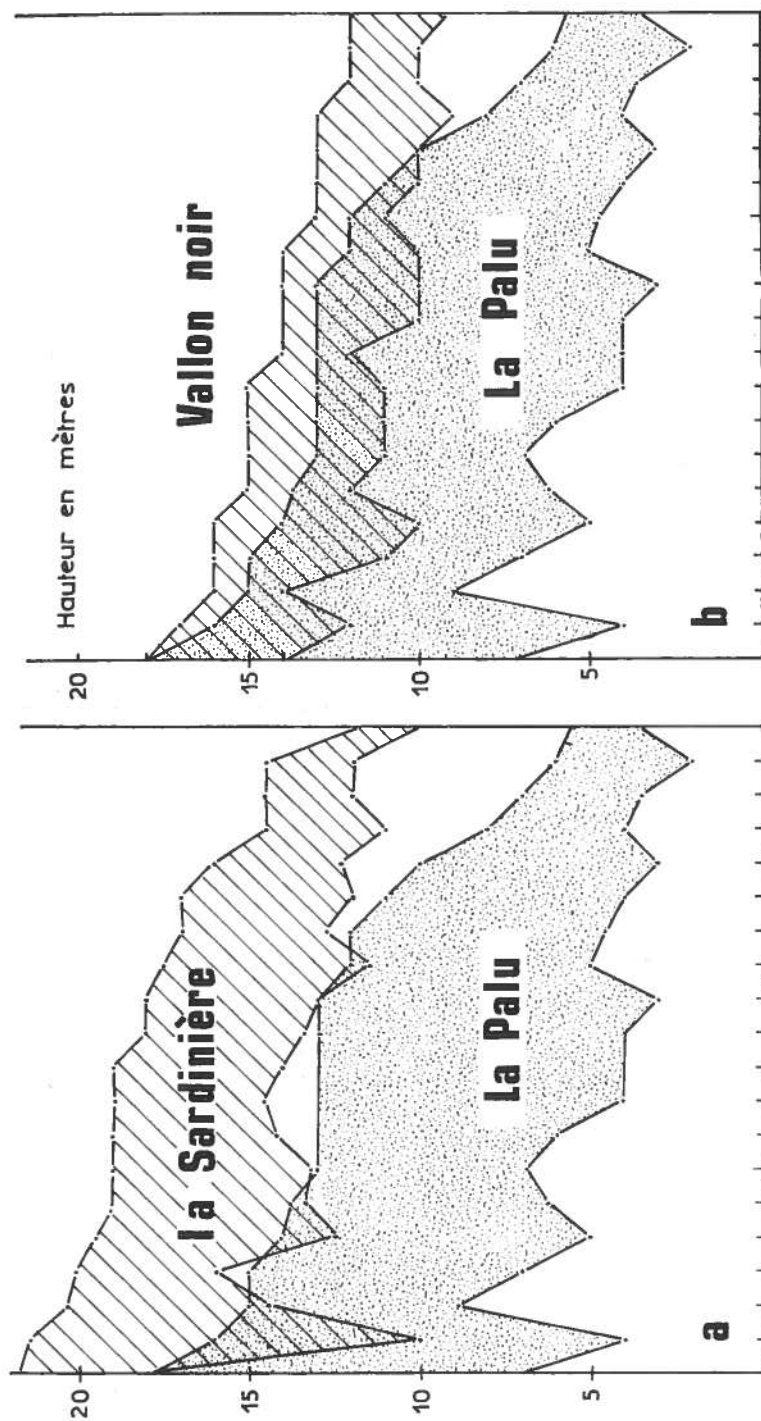
On retrouve tout à fait les observations de PERRIN (1963) qui écrit : "Privés de lumière les rameaux inférieurs meurent puis pourrissent et tombent. Le tronc se dénude peu à peu de bas en haut". Au Vallon noir l'élagage a affecté des branches insérées très haut sur le tronc du fait de la présence des houppiers de chênes verts et arbousiers. De plus dans ce type de peuplement les cimes se touchent et chacune est limitée dans son développement par le contact avec les autres ; les arbres acquièrent ainsi des houppiers étriqués.

Pour chaque arbre, ont été reportées sur la fig 4 : en ordonnée la hauteur de la flèche et celle de la plus basse branche feuillée, en abscisse les 20 arbres échantillonnés rangés par hauteurs décroissantes. Entre le tracé supérieur et le tracé inférieur se dessine le profil moyen de la forêt, la ligne d'abscisse étant prise comme ligne de sol. Le peuplement de la Palu dont la courbe a été reportée deux fois pour faciliter les comparaisons, grâce à des fûts courts, se distingue très nettement de ceux de la Sardinière et du Vallon noir où l'on ne rencontre pratiquement rien de chlorophyllien au-dessous de 10 m. Cependant il convient d'établir une distinction entre le profil du Vallon noir et celui de la Sardinière pour lequel la masse chlorophyllienne se situe à un niveau un peu plus élevé bien que les pins y aient des âges pratiquement identiques. La différence pourrait-elle être le fait de la concurrence passée des pins maritimes, dont la hauteur est supérieure à celle des pins d'Alep pour un même âge ?

A la Palu le profil de la partie supérieure du graphique (équivalent à la courbe des hauteurs) subit une rupture de pente pour les arbres les moins hauts, qui se maintiennent franchement dans un sous-étage. Ils correspondent sensiblement à la catégorie "petits" précédemment définie, et l'étude de leurs âges a montré qu'ils sont plus jeunes que les autres.

On peut admettre que la surface délimitée par les deux tracés est proportionnelle au biovolume et à la biomasse du matériel chlorophyllien. Ces surfaces ont été évaluées par pesée sur calques calibrés des mêmes courbes agrandies. Si l'on admet par convention que la Palu correspond à une biomasse de 100, la Sardinière atteint 67 et le Vallon noir 49 seulement ! Le volume chlorophyllien reste donc nettement plus faible dans ce second type de peuplement.

La figure 4 montre ce qu'il en est de ce paramètre pour *dix arbres tombés* au printemps 1973 (dont trois dans la parcelle "Vallon noir") : ces arbres ont été sujets à un très grand élagage naturel, et leur volume chlorophyllien réduit les éloigne bien du type "La Palu" ; les plus grands arbres tombés sont du type "La Sardinière", les suivants plus proches du type "Vallon Noir".



Arbres échantillonnés, rangés par hauteurs décroissantes .

Fig. 4 a et b. — Importance comparée des parties chlorophylliennes

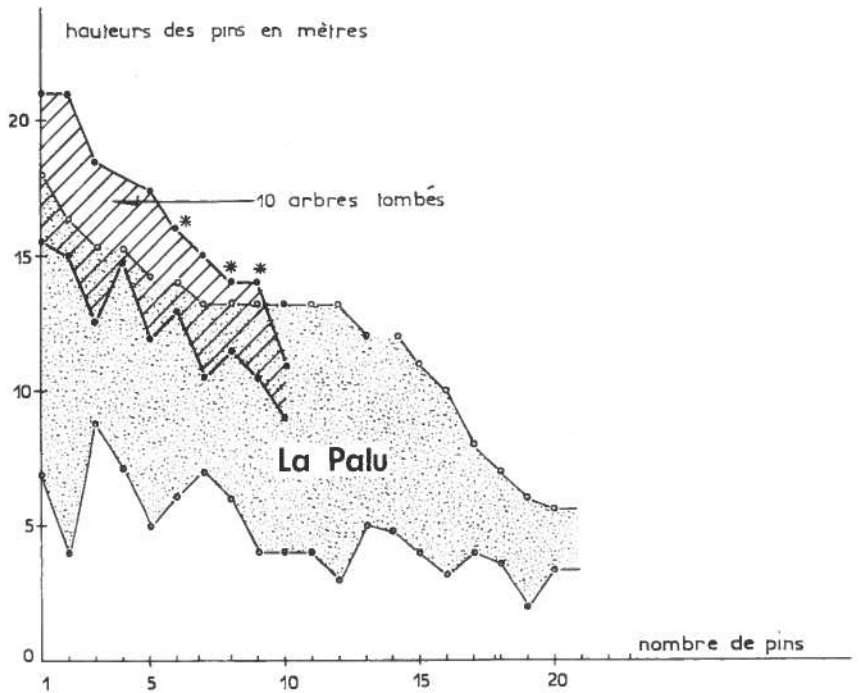


Fig. 4 c. Importance comparée des parties chlorophylliennes :
 - de 10 pins tombés (dont 3* dans la parcelle "Vallon Noir") .
 - des 20 pins de la parcelle de référence La Palu .

V. — VOLUME DES TRONCS

Les 20 échantillons de chaque parcelle ont été cubés grâce à une formule de cubage rapide (PARDE in litteris) :

$$V = 0,45.g.h$$

ou $V =$ Volume du bois fort (jusqu'à 22 cm de circonférence) ;

$g =$ surface terrière ;

$h =$ hauteur totale

0,45 = coefficient de forme supposé constant.

Il s'agit donc de calculs, effectués à partir de données simples, uniquement destinés à donner des ordres de grandeur et établir des comparaisons entre les 3 stations. Les résultats sont les suivants :

TABLEAU 5

Stations	Volume des fûts en m ³	
	20 arbres	14 arbres (gros + moyens)
Sardinière	10,7	9,4
Vallon noir	5,9	5,2
La Palu	8,1	7,7

Donc même sans tenir compte des densités de population, la masse ligneuse la plus importante est celle de la Sardinière, du fait de la plus grande élongation des fûts. Ceci permet de vérifier la loi de EICHHORN élargie, qui admet que la production d'une station reste étroitement liée à la hauteur des arbres quelles que soient les éclaircies pratiquées (DAGNELIE, 1956).

A la Palu le volume du bois d'œuvre reste inférieur bien que la différence s'atténue lorsqu'on néglige le lot des arbres "petits" (plus jeunes uniquement dans cette station).

En revanche au Vallon noir la nature particulière du peuplement est ici encore confirmée = la densité vraiment excessive interdit une production ligneuse normale : malgré leur hauteur plus importante les fûts doivent se contenter de volumes nettement inférieurs à ceux de la Palu et à fortiori à ceux de la Sardinière.

Cependant si le volume des fûts est une notion capitale pour connaître la production ligneuse d'une station, il n'apparaît pas comme un critère significatif pour juger de la stabilité des arbres. En effet du point de vue mathématique le volume représente une valeur proportionnelle au produit surface terrière par hauteur. Il augmente en même temps que les accroissements combinés en diamètre et en hauteur. Or ces deux paramètres constitutifs présentent des effets inverses : la croissance en hauteur allonge le bras de levier et favorise une éventuelle chute, tandis qu'une bonne assiette (correspondant à une surface terrière importante) soutient davantage la couronne.

On conçoit donc qu'une *croissance disharmonique favorisant l'une ou l'autre de ces deux composantes soit compatible avec un volume correct qui masque en fait un déséquilibre de forme* (l'exemple de la Sardinière est significatif à cet égard). Une formule où les deux paramètres varieraient en produisant le même effet sur l'équilibre de l'arbre serait préférable. On a choisi le rapport g/h, rapport d'autant plus élevé que les arbres sont plus résistants, et qu'on pourrait appeler *coefficient de stabilité*. Les résultats concernant les 20 échantillons représentant chacune des populations sont bien tranchés pour les stations portant des chablis :

Sardinière	g/h	0,72
Vallon noir	g/h	0,62
La Palu	g/h	1,04

Le calcul de ce *coefficient de stabilité* pour dix pins tombés au printemps 1973 (dont 3 * dans la parcelle "Vallon Noir") montre que sa valeur moyenne ($m = 0,42$) est plus petite que les moyennes des parcelles "Vallon Noir" et "La Sardinière", et très inférieure à celle de "La Palu"; le tableau suivant indique les valeurs mesurées sur chacun de ces pins :

Pin n°	h = hauteur en m	partie nue du tronc en m	diamètre du tronc en cm	g = surface terrière en cm ²	g/h : coefficient de stabilité
1	21	15,5	42	1394	0,66
2	21	15	42	1394	0,66
3	18,5	12,5	32	803	0,43
4	18	14,7	35	960	0,53
5	17,5	12,2	23	408	0,23
* 6	16	13	16	201	0,12
7	15	10,5	40	1256	0,83
* 8	14	11,05	20	314	0,22
* 9	14	10,5	24	452	0,32
10	11	9	19	282	0,25
					m = 0,42

En résumé les résultats précédents font apparaître deux types de peuplements :

1) La parcelle de la Palu à densité relativement faible, imparfaitement équiennne, composée d'arbres dont les hauteurs réduites ou moyennes sont accompagnées de houppiers importants. L'absence de chutes d'arbres est confirmée par un coefficient de stabilité satisfaisant

2) Les parcelles équiennes de la Sardinière et du Vallon noir, à densités élevées, comportant certains individus morts étouffés sur pieds. Les circonférences moindres, et surtout les hauteurs importantes justifient un coefficient de stabilité plus faible que dans le cas précédent ; effectivement ces deux stations ont subi des coups de chablis.

Le calcul du coefficient de stabilité des 10 arbres tombés montre bien la fragilité de ces types structuraux.

Toutefois certaines différences de constitution permettent d'individualiser ces deux populations :

- . A la Sardinière les hauteurs atteintes, considérables pour les pins d'Alep, s'accompagnent d'une production ligneuse importante. Les pins maritimes qui, de leur vivant, ont exacerbé la compétition, ont depuis leur disparition créé des trouées où le vent peut s'engouffrer, favorisant localement les chutes d'arbres.
- . Au Vallon noir c'est une densité énorme, encore aggravée par une importante sous-strate de feuillus (concurrence interspécifique) qui a imposé un accroissement en épaisseur médiocre à cette population. ce qui a conduit au même type d'arbres qu'à la Sardinière.

B. — ÉTUDE DE LA CROISSANCE

I — CROISSANCE EN EPAISSEUR

ANALYSE DES CERNES LIGNEUX ANNUELS

1 — CARACTERISATION D'UNE HIERARCHIE SOCIALE

Comme nous l'avons dit précédemment les 20 arbres représentatifs de chacun des peuplements ont été séparés en 3 lots (6 gros, 8 moyens, et 6 petits). A l'exception du groupe des petits de la Palu qui n'atteignent qu'une moyenne de 53 ans, tous les lots ont révélé, malgré les différences de taille, des âges voisins : 60 à 70 ans. Les différences de croissance observées ne pourront donc être imputées qu'à la concurrence qui a provoqué une véritable ségrégation sociale.

La Fig. 5 rassemble pour chacun des lots la moyenne des valeurs des circonférences et des hauteurs, considérées concomitamment ; les points se séparent nettement les uns des autres dans un ordre révélateur de leurs accroissements respectifs. Deux constatations s'imposent :

a) *Les épaisseurs sont caractéristiques de la position sociale au sein du groupement.* Les gros, moyens et petits arbres apparaissent donc de façon certaine comme des dominants, codominants et dominés.

b) *Par contre les hauteurs sensiblement constantes dans chaque station (abstraction faite du lot des jeunes arbres de la Palu) sont caractéristiques du type de peuplement quel que soit le rang social considéré.*

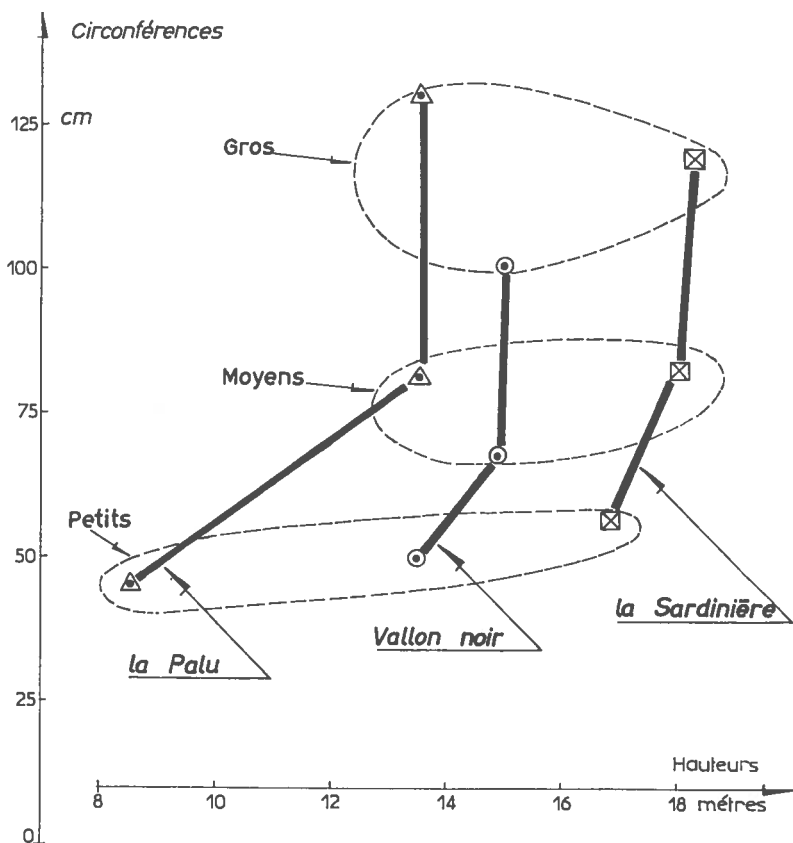


Fig. 5. — Hauteurs et circonférences comparées des arbres moyens théoriques en fonction de leur position sociale.

Pour déterminer l'origine de la hiérarchie sociale mise en évidence par les écarts de croissance en épaisseur, une étude systématique des cernes ligneux des 20 échantillons a été réalisée pour chaque station (soit un total de 180 baguettes de sondage).

On a porté sur la figure 6 les courbes relatives aux 9 lots, chacune d'elles synthétisant les résultats de 6 ou 8 arbres (18 ou 24 baguettes). Ces courbes synthétiques permettent d'éliminer d'éventuels accidents individuels; elles montrent des tracés remarquablement parallèles, les arbres dominés réagissant aux stimuli climatiques de façon nettement plus amortie.

La présence d'années caractéristiques telles que 1931, 1945, 1958 pour les minima de production ligneuse et 1936, 1948, 1960 pour les maxima a permis une interdatation correcte. Nous reviendrons ultérieurement sur les causes possibles de ces valeurs extrêmes d'années dites remarquables.

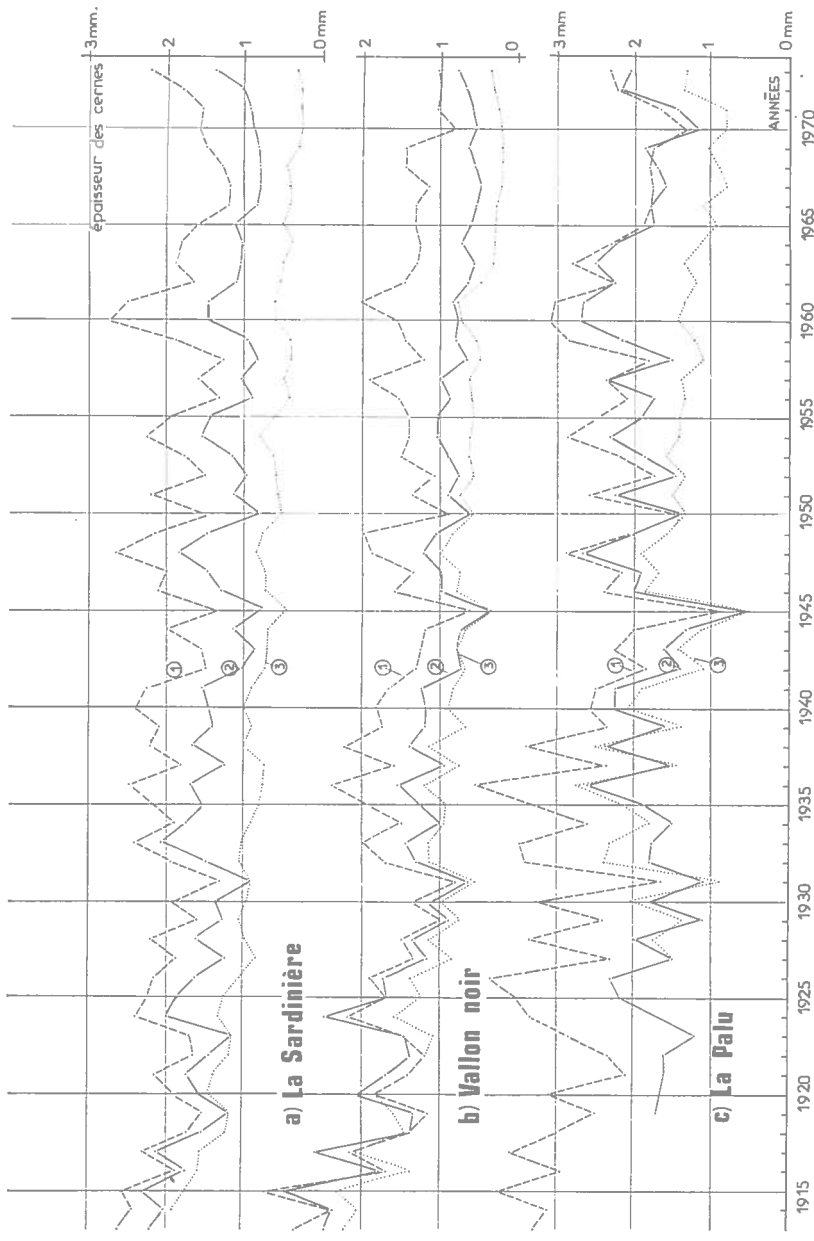


Fig. 6. — Epaisseurs moyennes des cernes ligneux annuels : 1 — Six gros arbres (dominants) ; 2 — Huit moyens (codominants) .

Les deux types de peuplements reconnus s'individualisent ici à nouveau :

— A la Sardinière et au Vallon noir la hiérarchie très nette qui se manifeste paraît au niveau des courbes avoir toujours existé ; il semble ici, comme l'a observé J. DELVAUX (1966) que l'intensité de la compétition au sein d'une classe sociale est telle qu'elle fait obstacle à toute promotion.

D'autre part, il se dessine depuis 7 à 8 ans à la Sardinière, au moins pour les deux classes supérieures, une hausse du niveau de croissance, non visible au Vallon noir ; elle pourrait être due à la disparition des pins maritimes et à la libération de la contrainte sociale qu'ils exerçaient auparavant.

— A la Palu par contre, au vu des courbes, 1945 apparaît comme une année charnière entre deux périodes durant lesquelles les arbres petits et gros présentent des variations de croissance entraînant des modifications dans la hiérarchie sociale :

— les gros arbres ont bénéficié d'accroissements particulièrement importants dans leur jeunesse, mais la ségrégation avec les moyens n'est plus aussi tranchée depuis 1945.

— De même les petits possédaient avant 1945, des cernes égaux et mêmes supérieurs à ceux des arbres moyens. Depuis cette date par contre, les cernes ont diminué d'ampleur et aujourd'hui ces arbres subissent une réelle domination de la part de leurs voisins (remarquons cependant que l'épaisseur moyenne des cernes, 1 mm par an environ, est bien supérieure à celle de leurs homologues dominés des autres stations)

En somme après 1945 les accroissements ligneux des gros et petits arbres ont subi une baisse de niveau qui n'a pas été ressentie par les moyens, ce qui a correspondu pour eux à une promotion. La Palu se présente donc comme une population où les classes sociales ne sont pas fixées d'une manière immuable.

2 — ACCROISSEMENTS LIGNEUX COMPARES DES TROIS STATIONS

Pour étudier les accroissements ligneux des trois sites, il est apparu judicieux de grouper les 14 échantillons (gros et moyens), comparables tant par la méthode d'échantillonnage que par les âges des individus constitutifs. Ces individus recouvrent en effet la plus grande partie de la production ligneuse : il a été démontré que les petits étaient dominés en population régulière du fait des fortes densités existantes.

Les résultats regroupés dans le graphique (Fig. 7) permettent plusieurs remarques :

a) Mise à part la période représentant la phase de croissance juvénile souvent anarchique, se terminant aux alentours de 1925, (qu

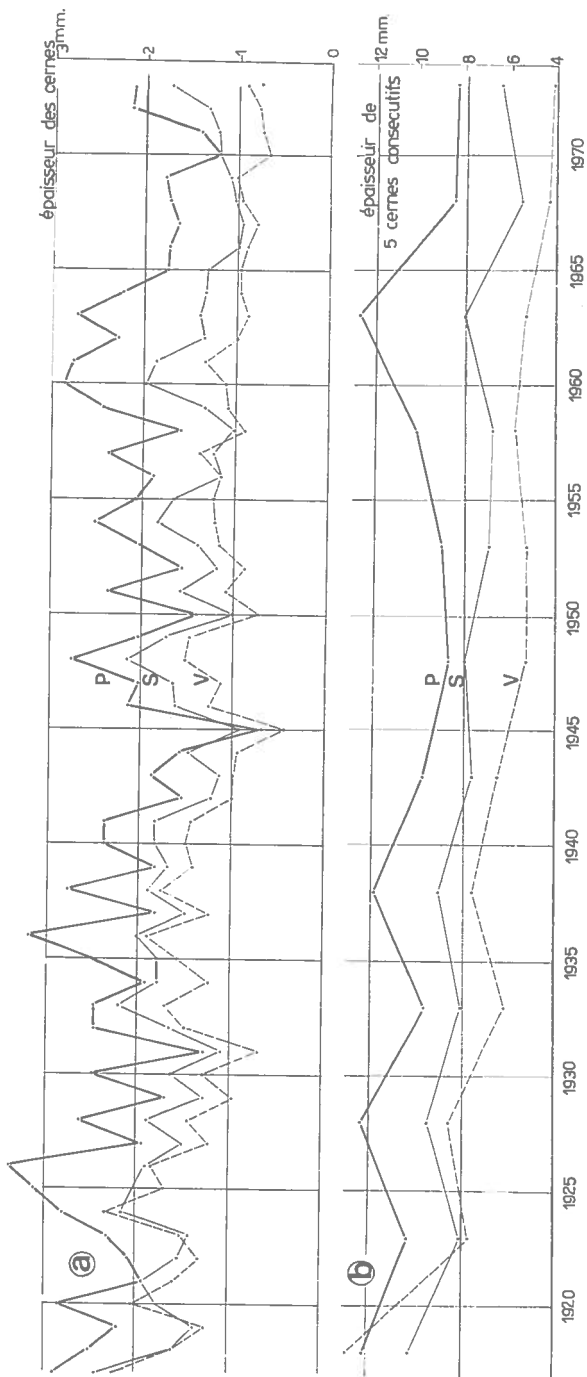


Fig. 7. — Accroissements ligneux comparés dans les 3 stations des 14 arbres dominants et codominants :
 a) accroissements annuels — b) accroissements quinquennaux.

n'est d'ailleurs figurée qu'en partie sur la Fig. 7 a), il existe une diminution certaine dans les accroissements courants annuels. Ce phénomène peut être dû :

- à la baisse normale liée à l'augmentation de l'âge des arbres ;
- à un effet de concurrence qui s'est manifesté de façon de plus en plus nette à mesure que les arbres grossissaient.

b) En dépit des vicissitudes climatiques la *production ligneuse de chaque station se maintient à un niveau qui lui est propre* : on aboutit à une variation parallèle des 3 courbes qui ne se dément pratiquement jamais, chaque peuplement possédant un niveau d'accroissement qui le caractérise.

Pour mettre en évidence cette notion de niveau moyen de croissance stationnelle, les cernes annuels ont été groupés par périodes de 5 ans : les courbes se détachent alors de manière extrêmement nette (Fig. 7 b).

On peut aussi considérer les accroissements cumulés (représentant donc le rayon de l'arbre moyen théorique) :

— si l'on prend l'année 1914 comme point de départ de la croissance, l'arbre de la Palu possède en 1973, après 59 ans, un rayon supérieur de 30 à 50 mm à ceux de la Sardinière et du Vallon noir, différence correspondant à des surfaces terrières de 28,3 à 78,5 cm² respectivement, ce qui est considérable. On est donc amené à préciser la *notion de niveau d'accroissement* (mis en évidence par les courbes Fig. 7).

Ce niveau matérialise la réponse de la station aux facteurs climatiques et édaphiques.

Mais il intègre également les facteurs biotiques (surtout représentés par la compétition). C'est pourquoi il est apparu qu'on devait prendre en considération les accroissements des 20 échantillons qui représentent la population toute entière. Les calculs ont été faits à partir de 1929 date à laquelle même les jeunes arbres de la Palu avaient terminé leur croissance "anarchique". Les résultats sont les suivants :

TABLEAU 6

Accroissements courants annuels (mm)					
	moyenne 1929-73	moyenne 1929-38	moyenne 1964-73	Perte d'accroissement brute entre 1929-1973	Perte d'accroissement relative
Sardinière	1,23	1,48	0,96	0,51	0,41
Vallon noir	0,98	1,26	0,71	0,55	0,56
La Palu	1,90	2,20	1,58	0,62	0,32

Ces chiffres permettent deux remarques principales :

1) comme les courbes le montrent déjà les accroissements courants se répartissent en raison inverse des densités de population à cours de chacune des périodes considérées.

2) entre deux périodes extrêmes le niveau d'accroissement subit une perte dont la valeur brute est sensiblement la même pour les 3 stations. Par contre si l'on calcule la valeur relative de la baisse (c'est-à-dire le rapport $\frac{\text{perte d'accroissement}}{\text{accroissement total}}$) celle-ci apparaît d'autant plus importante que la densité est plus élevée.

Ces considérations permettent de souligner l'importance de la densité de population dans le calcul des accroissements courants : non seulement la densité en fixe le niveau moyen pour une station donnée mais la perte d'accroissement est d'autant mieux marquée que la compétition devient plus sévère. L'arbre appartenant à un peuplement serré est donc doublement empêché dans l'acquisition d'une surface terrière normale.

3 — FACTEURS ECOLOGIQUES DE LA CROISSANCE

Les courbes et le tableau précédents ont permis de mettre en évidence un accroissement stationnel où les densités jouent un rôle important. Il serait maintenant souhaitable d'étudier les possibilités d'accroissements optimaux des pins des sites considérés ainsi que les facteurs qui limitent leur croissance.

L'accroissement de référence ainsi défini pourra être considéré comme la *réponse propre et globale de l'espèce pin d'Alep* de Port-Croc à l'ensemble des facteurs écologiques. A cette fin on a calculé la moyenne des accroissements annuels des six arbres dominants des trois stations réunies. Ces arbres en raison même de la grande amplitude de leurs accroissements donnent les réponses les plus fidèles aux stimulations climatiques et édaphiques ; par contre leur position sociale dominante leur permet d'échapper au maximum à la concurrence de leurs voisins enfin le regroupement des trois sites annule les effets d'éventuelles particularités microclimatiques ou microédaphiques stationnelles qui apparaîtraient ici comme des "bruits" secondaires à éviter.

L'ensemble des facteurs écologiques ayant induit la croissance peut être séparé en 2 groupes distincts :

a) *les éléments permanents ou périodiques* ne subissant que de variations d'intensité lentes et progressives qui situent le niveau moyen de l'accroissement. On peut ranger dans ce groupe, pour mémoire seulement car son étude n'est pas l'objet du présent chapitre :

— le mésoclimat de l'île (hiver doux, précipitations annuelles faibles avec un été aride, durée d'insolation la plus importante de France avec plus de 2 900 heures annuelles).

— les facteurs édaphiques et biotiques (compétition en particulier)

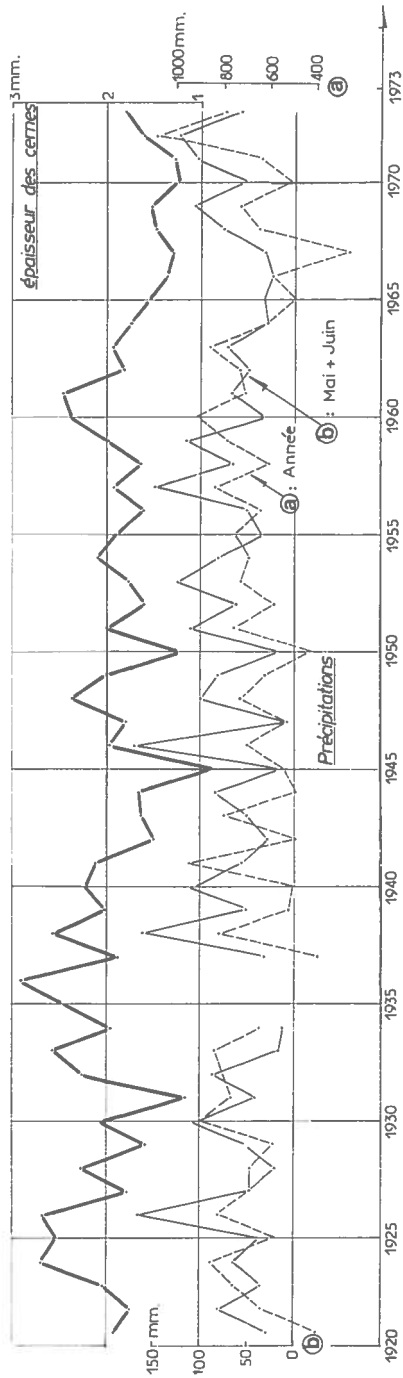


Fig. 8. — Relations entre l'épaisseur des cernes annuels (moyenne globale des arbres dominants des 3 stations) et la hauteur des pluies : a) précipitations annuelles ; b) précipitations de mai + juin.

b) Les éléments ponctuels marqués essentiellement par des accidents. Les baisses brutales d'accroissement annuel sont en majorité dues à des extrêmes climatiques : minima thermiques et sécheresses excessive en particulier, que nous allons envisager successivement.

Les minima thermiques les plus extraordinaires dans le Var ou incontestablement été ceux de 1929 à 1956 où beaucoup de pins d'Alep et d'oliviers ont péri. En février 1956, en particulier, les températures minima ont atteint $-10^{\circ}5$ à Toulon et -12° à Saint-Raphaël ; ces minima ont été d'autant plus vivement ressentis sur le littoral que le flux glaciaire succédait à un mois de janvier particulièrement doux au cours duquel la végétation avait subi un départ prématuré (ROUGET 1957). Or, il est remarquable que les pins de Port-Cros présentent aussi bien en 1929 qu'en 1956 des cernes qui ne révèlent pas de difficultés particulières de croissance. Ayant sondé un grand nombre de pins d'Alep partout en Provence nous pouvons affirmer que cette absence de réaction est exceptionnelle. On doit admettre que les *minima thermiques* toujours modérés à Port-Cros n'ont pas d'influence sur la croissance des pins d'Alep.

Pour mettre en évidence les périodes arides il n'a malheureusement pas été possible de disposer des mesures pluviométriques suivies d'un poste météorologique proche de l'île comme Porquerolles, Levant ou même Hyères. Seules les données de Toulon-La Mitr station distante de 35 kms, étaient disponibles.

La dépendance des accroissements aux précipitations annuelles paraît certaine (Fig. 8) : les années les plus humides 1958-60-72 et les plus sèches 1937-50-67-70 correspondent à des pics et des creux.

Si l'on applique le coefficient de coïncidence (MUNAUT, 1966) aux 51 couples de valeurs (49 mesures possibles) on constate que les variations se font dans le même sens soit un pourcentage de dépendance de 77 %. En fait toutes les pluies tombées au cours de l'année n'ont pas la même importance pour la végétation ; en cherchant la période la plus favorable à la croissance ligneuse le coefficient de coïncidence le meilleur s'est avéré être celui des précipitations cumulées de mai et juin avec 82 % de dépendance. Ce sont donc les pluies des mois de mai et juin, éventuellement de juillet qui seraient les plus efficaces ; c'est de leur chute, cependant aléatoire, que dépend en juin et juillet la poursuite de la croissance et donc l'épaisseur du cerne annuel. *Il apparaît donc qu'à Port-Cros l'accroissement des pins d'Alep est limité par l'insuffisance des précipitations.*

II — CROISSANCE EN LONGUEUR

Il n'a été jusqu'à présent question que de croissance en épaisseur ou il est nécessaire d'envisager également l'élongation, grande responsable de la chute des arbres. Cependant si la hauteur actuelle des individus sur pieds ou même l'allongement de l'année en cours sont directement mesurables il est impossible d'étudier les croissances des a

nées passées sans sacrifier l'arbre. Nous avons pu obtenir de la Direction du Parc National de couper un individu (le sous-échantillon) par station. Celui-ci a été choisi comme se rapprochant le plus par ses mensurations de l'arbre théorique représenté par la moyenne des mesures effectuées sur l'ensemble des échantillons : il sera donc considéré comme l'arbre moyen de la population (1) :

TABLEAU 7

Stations		Sardinière	Vallon noir	La Palu
arbre moyen théorique	circonférence/100 individus	81,4	66,7	83,8
	circonférence/20 échantillons	84,7	70,1	85,8
	hauteur/20	17,8	14,5	12,3
	âge/20	70	69	58
arbre moyen abattu (sous-échantillon)	circonférence à 1 m	83	72	90
	hauteur	18,5	16	13
	âge à 1 m	74	71	66

Les similitudes dendrométriques des arbres théoriques moyens et des arbres abattus permettent raisonnablement d'extrapoler les résultats aux trois populations : ainsi à travers l'histoire de l'élongation du sous-échantillon, il sera possible de préciser la genèse de chaque peuplement.

1) A partir de l'ensemble des rondelles (prélevées chaque mètre sur toute la longueur du tronc) on a pu reconstituer le développement complet du fût grâce à la connaissance de l'âge de l'arbre à toutes les hauteurs considérées (obtenue par comptage des cernes sur les sections transversales).

Sur la Fig. 9 a on retrouve les deux types de peuplements précédemment définis. Déjà à l'âge de 20 ans les arbres de la Sardinière et du Vallon noir dépassent ceux de la Palu, et la différence de hauteur n'a fait que s'accroître depuis.

En revanche les écarts entre la Sardinière et le Vallon noir sont restés longtemps faibles (1 mètre en 1955) ; ce n'est que très récemment que les courbes s'écartent l'une de l'autre (2 mètres en 1973).

(1) M. PARDE nous a signalé, en cours de rédaction, que l'arbre moyen le meilleur était l'individu de surface terrière moyenne. Le choix de cet arbre aurait conduit à des valeurs de circonférences un peu plus élevées. Les comparaisons des trois arbres retenus restent cependant valables.

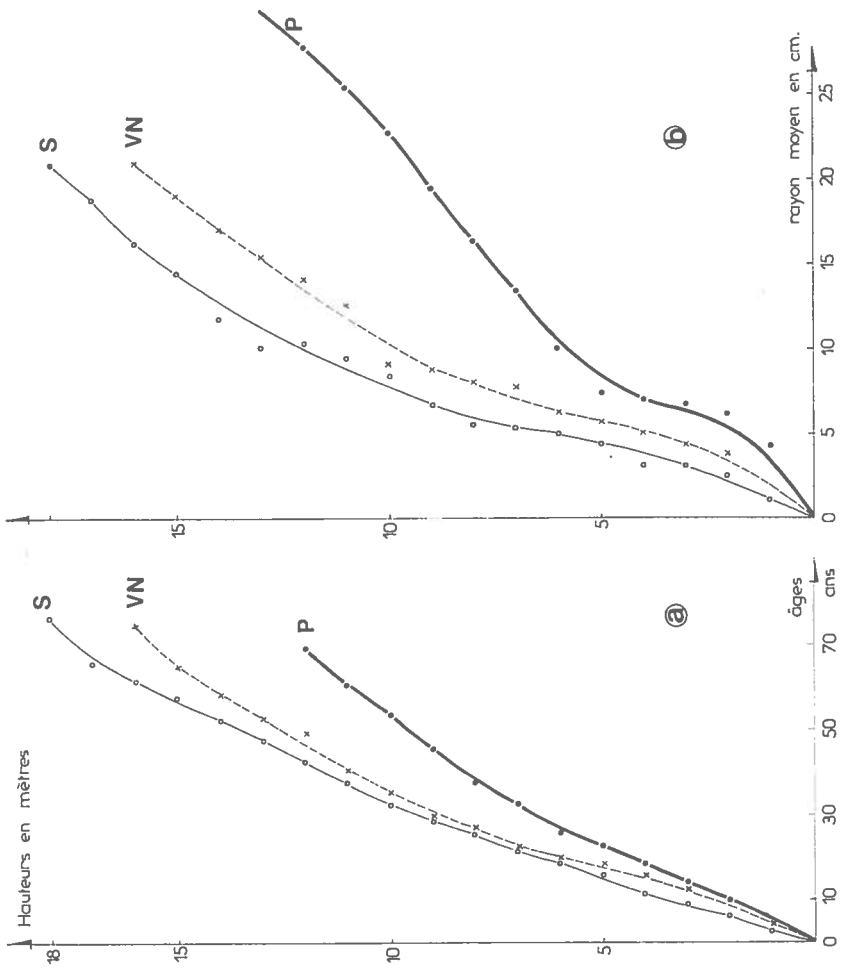


Fig. 9. — Modalités de l'accroissement en hauteur des trois sous-échantillons abattus : a) élongations en fonctions de l'âge ; b) élongations et

Mais aucune des trois courbes ne présente de fléchissements bien marqués ; tout au plus peut-on noter ces dernières années une légère baisse des élongations : *les arbres n'ont atteint leur hauteur définitive dans aucun des trois peuplements* ce qui permet de penser que le déséquilibre de forme va encore augmenter et qu'il risque d'y avoir de nouvelles chutes d'arbres à la Sardinière et au Vallon noir dans les années à venir.

2) La mesure du rayon moyen sous écorce (calculé à partir de deux diamètres perpendiculaires sur chacune des rondelles) a permis de suivre mètre par mètre les vitesses comparées de l'élongation et de l'épaississement de l'arbre (Fig. 9 b). Les trois courbes présentent un point d'inflexion mieux marqué que les précédentes, ce point semble indépendant de la hauteur, mais la rupture de pente s'est produite dans les 3 cas lorsque l'arbre était âgé d'une trentaine d'années.

L'inflexion particulièrement marquée à la Palu explique l'importance plus grande de l'épaississement dans la seconde phase de la croissance, phénomène qui a fait défaut dans les autres sites.

3) Nous avons enfin voulu préciser l'importance relative de la couche ligneuse annuelle déposée actuellement tout au long du tronc. A cette fin l'épaisseur moyenne du cerne le plus externe (soit celui de 1973) a été calculée sur chacune des sections distantes de 1 m, à raison de 8 mesures par rondelle, ce afin d'approcher au maximum l'épaisseur moyenne. Les résultats obtenus à Port-Cros (Fig. 10) confirment les conclusions d'ONAKA (in FARRAR 1961) :

L'anneau ligneux d'abord étroit au niveau de l'apex atteint un maximum d'épaisseur à la hauteur des branches portant le plus de matériel chlorophyllien. De plus l'importance de ce maximum est proportionnelle à la biomasse de la couronne :

à la Palu l'épaisseur maximale du niveau de la couronne se maintient tout au long du tronc ; mais il se produit par ailleurs un nouveau renflement à partir de la découpe de 2 m jusqu'au sol, ce qui donne à l'anneau ligneux un profil longitudinal sensiblement conique ;

par contre au Vallon noir et à la Sardinière l'épaisseur du cerne décroît assez régulièrement depuis le houppier jusqu'à la souche ; le renflement basal restant très limité en amplitude. Le profil longitudinal du cerne au-dessous de la couronne peut donc être considéré comme cylindrique.

Cette différence morphologique est selon FARRAR (1961) le fait des fortes densités de peuplements ; le même auteur note même que chez un arbre à houppier très réduit l'anneau ligneux peut ne pas parvenir jusqu'à la base du tronc.

En résumé la croissance actuelle observée dans les trois sites tend, du fait de l'importance très inégale des couronnes, à encore accentuer les différences morphologiques déjà reconnues. En particulier l'absence presque complète d'épaississement basal à la Sardinière et au Vallon noir peut favoriser une éventuelle rupture des fûts à ce niveau, habituellement bien protégé par des couches ligneuses plus importantes.

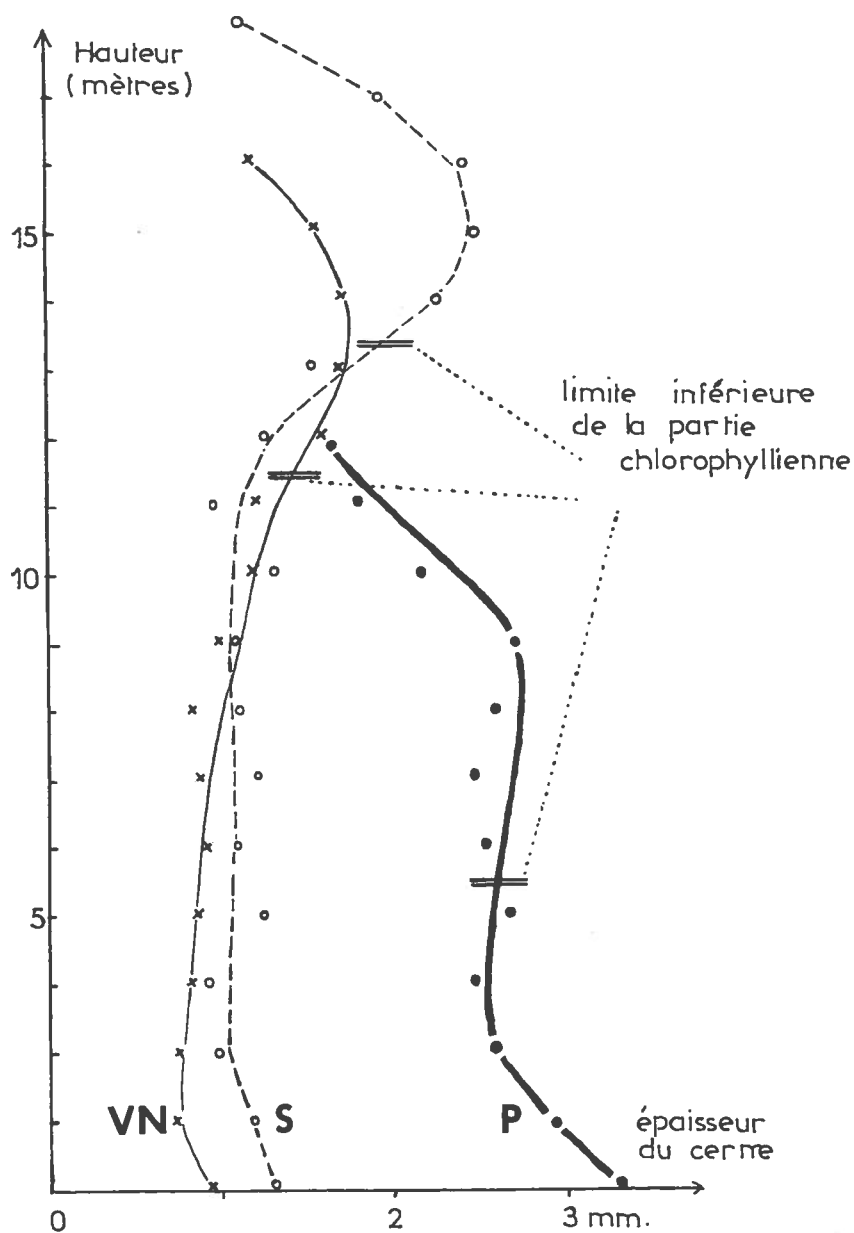


Fig. 10. — Variations d'épaisseur du cerne annuel le plus externe en fonction de sa hauteur sur le tronc.

CONCLUSION

FINALITE DE LA FORET DANS LE PARC NATIONAL DE PORT-CROS

Les analyses dendrométriques ont permis de distinguer deux types principaux de peuplements et de mettre en évidence un déséquilibre de forme à la Sardinière et au Vallon noir, donnant une explication possible aux chutes d'arbres. La seconde partie a montré dans ces deux placettes une hiérarchie sociale bien marquée provenant d'une densité excessive ; la croissance en épaisseur s'en trouve gênée. Comme par ailleurs les hauteurs sont caractéristiques du peuplement et qu'elles sont considérables dans les deux placettes concernées, l'élongation s'est faite au détriment de l'épaississement. Les courbes obtenues au moyen de sous-échantillons abattus confirment les différences avec la station de la Palu où le déséquilibre de forme n'existe pas.

Etant donnés les âges des populations ainsi que le rythme actuel de l'élongation qui ne manifeste jusqu'à présent aucun ralentissement dû à la senescence, il est probable que le déséquilibre s'accroît encore et qu'il risque de se produire de nouveaux chablis dans les années à venir. Les chutes pourraient, comme en 1973, avoir lieu après des précipitations importantes qui affaiblissent l'ancrage, permettant ainsi le déracinement des arbres. Mais il n'est pas exclu non plus qu'une tempête de vent, survenant en période sèche, ne brise les fûts trop déséquilibrés. On en vient donc à envisager un mode de traitement des forêts. Malheureusement, pour le problème des chutes d'arbres il apparaît qu'il n'existe pas de solution simple et immédiate. En effet celle-ci ne pourrait consister qu'en une coupe. Or un peuplement régulier dense qu'on éclaircit brutalement conduit au stade le plus vulnérable qui soit aux coups de chablis par les trouées ainsi provoquées (COCHET 1971).

Par contre avant d'envisager tout aménagement à long terme, il est nécessaire au préalable de définir le rôle que l'on veut faire jouer à la forêt du Parc National de Port-Cros. Deux finalités peuvent être retenues : forêt sanctuaire et forêt délassement.

1 — Il est permis de considérer la forêt de Port-Cros comme une réserve biologique en équilibre, peut-être instable, mais auquel il ne faut toucher qu'avec beaucoup de circonspection sous peine de provoquer une réaction en chaîne. Il serait par exemple particulièrement malvenu de vouloir remodeler le paysage et détruire une nature existante sous prétexte de la reconstituer artificiellement.

On peut même estimer que l'Ile a été érigée en Parc National pour observer passivement le devenir des ensembles naturels quel qu'il soit... Une chute de pins même importante, si inesthétique soit-elle, sera le point de départ d'une évolution : régénération de pins d'Alep, ou au contraire le premier stade de leur élimination par les chênes-verts, qui est inéluctable selon René MOLINIER (1952). Quant aux chablis, la durée de leur pourrissement et la liste des xylophages y participant justifieraient également une étude ainsi même que le problème des relations entre hauteur des arbres, densité des peuplements et fertilité

des stations pour une espèce héliophile comme le pin d'Alep. En bref, la forêt étant considérée comme une société où existent de nombreuses interactions entre arbres morts, végétaux herbacés et animaux, un Parc National semble un lieu privilégié pour entreprendre des études biocénologiques, en aménageant des réserves intégrales.

2 — Mais il est également honorable de penser qu'il s'agit d'une forêt récréative destinée à être parcourue par les visiteurs, qu'on doit donc l'adapter davantage à son rôle touristique, au moyen d'interventions prudentes et contrôlées. De ce point de vue il est de fait que les chablis offrent un paysage de cataclysme, fort peu agréable à l'œil avec les arbres arrachés ou mutilés, les branches déchiquetées. Ces chablis représentent de plus, un danger d'incendie accru et permettent la prolifération d'insectes parasites dans les bois morts pouvant précéder l'attaque des bois sains. Pour pallier à ces risques il paraît nécessaire de pratiquer périodiquement des éclaircies sanitaires en enlevant au moins les arbres qui viennent de mourir ou qui ont toutes les chances de mourir dans les 10 ans à venir.

On peut également se poser le problème du devenir de ces pinèdes : la longévité du pin d'Alep est de 120 ans en moyenne (NAHAL, 1962) ; or les peuplements réguliers que nous avons étudiés, sont âgés de 80 ans à la souche et ne permettent aucune régénération. Qu'advient-il de ces peuplements dans une quarantaine d'années... ?

Enfin le climax de l'Ile est une forêt de chênes-verts. Mais les taillis d'yeuses qu'on rencontre au Vallon noir en particulier sont les rejets d'arbres incendiés ou abattus. Ces rejets trop nombreux pour chaque souche, végètent plus ou moins sous l'effet de la concurrence des pins et ne représentent pas la forêt climacique idéale. Il serait possible d'accélérer le passage systématique à la futaie en ne laissant qu'un ou deux rejets par souche, et en maintenant les pins d'Alep en peuplements clairs ; les touristes pourraient ainsi contempler dans un avenir proche la futaie climacique de chênes-verts qu'accompagnerait la véritable biocénose liée au *Quercetum illicis*.

BIBLIOGRAPHIE

- BADOUX E., 1946. — Relations entre le développement de la cime et l'accroissement chez le pin sylvestre ; *Mitteilungen der Schweizerischen anstalt für das forstliche versuchswesen*. XXIV. Band, 2. Heft Zurich.
- BOURGENOT L., 1966. — Influence des conditions météorologiques sur la production forestière. *Bull. Soc. Forest. Franche-Comté et Provinces de l'Est*. Mars. N° 1.
- CARLE P., 1974. — Le dépérissement du pin mésogéen en Provence. Rôle des insectes dans les modifications d'équilibre biologique des forêts envahies par *Matsucoccus feydauti*. *Ann. Sc. Forest.* Vol. 31, n° 1.
- COCHET P., 1971. — Etude et culture de la forêt. Ed. *E. Nat. Génie Rural des E. et F.* 3^e éd.

- DAGNELIE P., 1956. — Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne. Utilisation d'un critère de station. *Bull. Inst. Agron. Stat. Rech. Gembloux*, n° 24.
- DECOURT N., 1969. — Quelques aspects des structures démographiques des peuplements forestiers. *IV^e Coll. d'Ecologie*, Paris.
- DECOURT N., 1973. — Production primaire. Production utile : méthodes d'évaluation, indices de productivité. *Ann. Sc. Forest.*, 30 (3).
- DELVAUX J., 1964. — Contribution à l'étude de l'éducation des peuplements. I. Acquisition de la position dominante dans les jeunes plantations équiennes d'Epicea. *Stat. Rech. des E. et F. de Groenendaal. Hoeilaart Belgique*. Trav. Sér. B, n° 29.
- DELVAUX J., 1966. — III. Essais préliminaires à l'étude du facteur compétition. IV. La compétition au niveau des classes sociales. *Stat. Rech. des E. et F. de Groenendaal-Hoeilaart*. Belgique. Trav. Sér. B, n° 32.
- DEVILLEZ F., JAIN T.-C., MARYNEN T., ISERENTANT R., JOURET M.-F., LEBRUN J., RENARD Ch., 1973. — Structure d'une biomasse d'une hêtraie en Haute Ardenne. *Bull. Acad. Roy. de Belgique*, cl. Sc.
- FARRAR J.-L., 19 . — Longitudinal variation in the thickness of the annual ring. *The forestry chronicle*, vol. 37, n° 4.
- GLOCK W.-S., 1937. — Principles and methods of tree ring analysis. Carnegie Inst. Washington.
- HAASIS F.-W., 1934. — Diametral changes in tree trunks. Carnegie Inst. Washington.
- ILLY G., LEMOINE B., 1970. — Densité de peuplement, concurrence et coopération chez le pin maritime. *Ann. Sc. Forest.*, n° 2.
- JACCARD P., 1917. — Observations critiques concernant la théorie mécanique de l'accroissement en épaisseur des arbres. *Bull. Soc. Vaudoise de Sc. Nat.*, Vol. 51.
- LAVAGNE A., MOUTTE P., 1972. — La végétation de l'île de Port-Cros. Carte phytosociologique au 1/5 000^e du Parc National. *Parc National de Port-Cros*.
- LEFEVRE R., 1957. — Notes forestières et botaniques sur l'île Ste-Marguerite *Ann. de l'U. N. des E. et F.*, T. XV, Fasc. 2.
- LEMEÉ G., 1966. — Sur l'intérêt écologique des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. *Bull. Soc. Bot. Fr.* T. 113, n° 5-6.
- LORNE R., 1959. — Etude quantitative sur les éclaircies dans les peuplements de chêne de qualité. *Rev. Forest. Fr.*, n° 11.
- MARTIN P. de, 1954. — Analyse des cernes. Dendrochronologie et dendroclimatologie. *Masson*.
- MICHAÏLOV René, 1949. — La formulation mathématique de loi de la croissance des arbres forestiers et des peuplements. *Ann. Fac. Agron. et Sylv. Un. de Skopje Goce Golcev*.

- MOLINIER René, 1952. — Carte des groupements végétaux de l'île de Port-Cros.
Rev. Forest. Fr. Mai.
- MULLER J., 1963. — Les sols bruns méditerranéens et leur évolution. Premiers résultats d'une étude dans l'île de Port-Cros (Var). *Sciences du Sol*, n° 1.
- MUNAUT A.-V., 1966. — Recherches dendrochronologiques sur *Pinus silvestris*.
I. Etude de 45 pins sylvestres récents originaires de Belgique. *Agricultura*,
vol. n° 2, Louvain.
- NAHAL I. — 1962. — Le pin d'Alep. Etude taxonomique phytogéographique,
écologique et sylvicole. *Ann. Ec. Nat. E. et F.*, T. XIX, Fasc. 4.
- PARDE J., 1957. — La productivité des forêts de pins d'Alep en France. *Ann.
Ec. Nat. E. et F. B.*
- PARDE J., 1961. — Dendrométrie. Ed. de l'*Ec. Nat. E. et F.*
- PERRIN H., 1963. — Sylviculture. T. 1. Bases scientifiques de la sylviculture.
Ec. Nat. E. et F. Ed.
- POLGE H., 1969. — Densité de plantation et élagage de branches vivantes.
Rev. Forest. Fr. N° spécial.
- PRIVAILLON P., 1964. — Le tourisme et la forêt ou à "la recherche d'un équilibre
sylvo-touristique". *Rev. Forest. Fr.*, n° 4.
- RAPP M., 1971. — Cycle de la matière organique et des éléments minéraux
dans quelques écosystèmes méditerranéens. Programme biologique intern
Ed. C.N.R.S.
- ROUGETET E., 1957. — Le froid de février 1956 dans le Var. *La météorologie*,
T. IV.
- SCHUBERT G.-H., 1971. — Growth response of even-aged ponderosa pines
Related to stand Density levels. *Journ. of Forestry*. Vol. 69, n° 12.
- TX, 1973. — Résumé du temps observé dans le département du Var en 1973.
Bull. Et. climatologique du Var.