

RECHERCHES
SUR L'ÉCOLOGIE COMPARÉE
DE QUELQUES RESINEUX DU GENRE *PINUS*
EN FORET DE LA MAMORA

PAR

[**R. ARTIGUES**]

Chef de district principal des Eaux et Forêts

ET

B. LEPOUTRE

Docteur-Ingénieur

Directeur de recherches de pédologie de l'O.R.S.T.O.M.

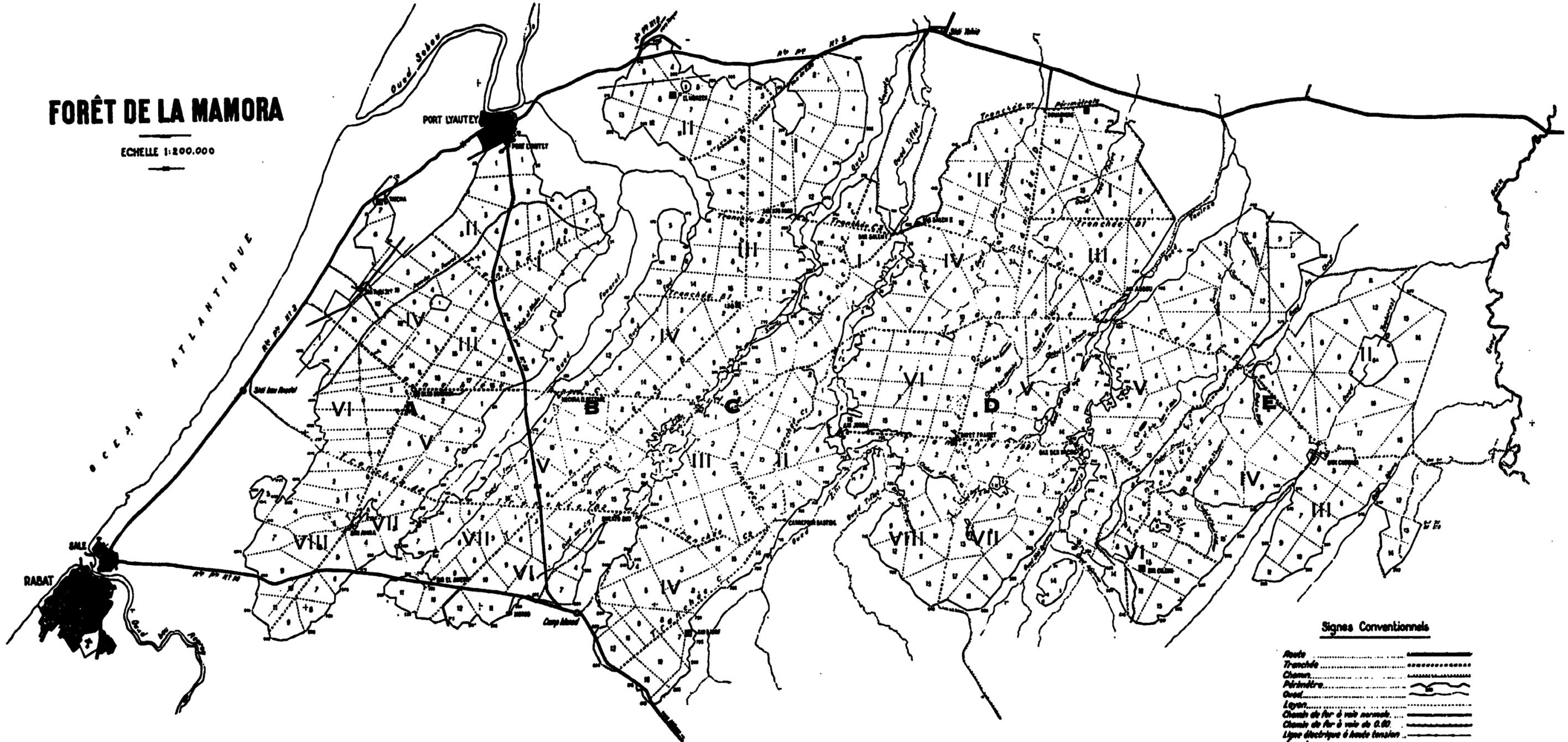
*Annales de la recherche forestière au Maroc ,
t. 10, rapport 1966-67, 1969.*

- 5 MAI 1970

O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence
n°B/4005

FORÊT DE LA MAMORA

ECHELLE 1:200.000



Signes Conventionnels

Road	.....	.....
Tranche	.....	.....
Chem	.....	.....
Périmètre	.....	.....
Oued	.....	.....
Ligne	.....	.....
Chem de fer à voie normale	.....	.....
Chem de fer à voie de 0.60	.....	.....
Ligne électrique à haute tension	.....	.....
Assècle	.....	.....
Station forestière	.....	.....
Pyône	.....	.....
IT de parcelle	.....	.....

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLIJDCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnwxfkhdppqgyjlt 7142385690
 Pour A2A3A4: ABERPFTHLIJDCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnwxfkhdppqgyjlt 7142385690

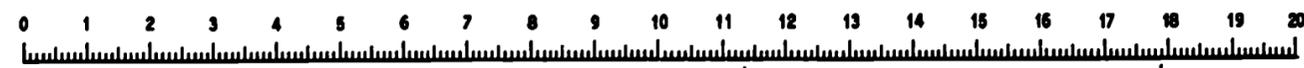


TABLE DES MATIÈRES

Introduction	23
--------------------	----

— I —

Généralités

A. Méthodes de travail	25
1. Méthodes proprement dites	25
2. Programme	26
B. Le milieu écologique	27
1. Conditions géologiques et stratigraphiques	27
2. Les formes du relief	29
3. Le climat	30
4. Les sols	31
a) Les facteurs de la pédogenèse (La roche-mère - La topographie - Le facteur climatique - La végétation)	31
b) Les sols	33

— II —

**Ecologie du Pin maritime
dans les sols de la forêt de la Mamora**

1. Jeunes plantations

A. Mamora occidentale	35
a) Parcelles A.IV.4 et A.IV.5 (La plantation - Le sol - Résultats des inventaires)	35

b) Parcelle A.VI.2a (La plantation - Le sol - Résultats des inventaires - Comparaison avec les autres essences)	38
c) Conclusions	40
B. Mamora centrale	43
Parcelle C.II.13	43

2. Anciennes plantations

A. Mamora occidentale	45
a) Parcelle B.V.3 (Observations générales - Influence du facteur biologique : rôle de l'éclaircie naturelle - Influence du sol sur la croissance - Influence du sol sur l'éclaircie naturelle)	45
b) Parcelles B.V.3, B.IV.14	52
c) Conclusions	53
B. Mamora centrale	54
a) Parcelle C.III.10	54
b) Parcelle B.I.22	56
c) Parcelle C.II.15	57
d) Parcelle D.VI.16	57
e) Conclusions	58
C. Mamora orientale	58

3. Conclusions

a) Caractéristiques écologiques du Pin maritime (L'arbre - Le sol) ..	59
b) Limites d'adaptation du Pin maritime dans les sols de Mamora ..	60
c) La place du Pin maritime en Mamora	63

— III —

Ecologie du Pin d'Alep dans les sols de la forêt de la Mamora

1. Jeunes plantations

A. Mamora occidentale (Parcelle A.IV.5 - Parcelle A.VI.2)	65
B. Mamora centrale	66
C. Mamora orientale	71

2. Anciennes plantations

A. Mamora occidentale (Données générales - Résultats d'inventaires - Parcelle B.V.3 : rôle de la nappe phréatique)	71
B. Mamora centrale (Parcelle C.III.10 - Parcelles C.II.15, C.II.16, D.VI.16 : croissance en hauteur, croissance en circonférence)	75
C. Mamora orientale (Parcelles E.V.12, E.V.13 : croissance en hauteur, croissance en circonférence, influence de la nappe phréatique perchée - Parcelle D.III.1)	79

3. Conclusions

a) Caractéristiques écologiques du Pin d'Alep	82
b) Influence des facteurs biotiques	83
c) Place du Pin d'Alep en Mamora	84

— IV —

Possibilités d'utilisation comparées du Pin maritime et du Pin d'Alep dans les sols de Mamora

1. Adaptation aux types de sols	85
2. Adaptation à l'environnement	89
a) Croissance en hauteur	89
b) Croissance en circonférence : variation des surfaces terrières	89
3. Conclusions	93

— V —

Ecologie du Pin de Monterey dans les sols de la forêt de la Mamora

1. Jeunes plantations

A. Parcelles B.II.5 (1963) : influence d'une nappe phréatique temporaire dans le sol	94
a) Généralités	94
b) Distinction entre les diverses conditions écologiques	95
c) Commentaire des résultats	96
B. Parcelles A.IV.5, C.I.11 : influence de la profondeur de l'argile et de la pente topographique	99
C. Conclusions	100

— VI —

**Ecologie du Pin pignon
dans les sols de la forêt de la Mamora**

1.	Influence de la profondeur des sables	102
2.	Comparaison avec d'autres résineux à l'âge de 14-15 ans	103
3.	Quelques observations en Mamora occidentale (Parcelle D.III.7 - Parcelle E.V.12)	103
4.	Conclusion	105

— VII —

**Ecologie du Pin des Canaries
dans les sols de la forêt de la Mamora**

1.	Généralités	106
2.	Influence de l'épaisseur des couvertures sableuses	106
3.	Comparaison et utilisation du Pin des Canaries	107
4.	Sur le plan pratique	109

Résumé		110
Summary		111
Bibliographie		112

RECHERCHES SUR L'ÉCOLOGIE COMPAREE DE QUELQUES RESINEUX DU GENRE *PINUS* EN FORET DE LA MAMORA

par R. ARTIGUES et B. LEPOUTRE

INTRODUCTION

Dans de précédentes recherches, nous avons pour but de définir les possibilités de reboisement artificiel de la forêt de Mamora à l'aide du Chêne-liège. Ce premier travail qui a déjà fait l'objet d'une publication (B. LEPOUTRE 1967) devait permettre, en marge de l'objectif pratique bien précis qui nous était fixé, de déterminer les conditions d'équilibre de la subéraie avec les sols et le climat de la Mamora.

Dès le début des recherches et au-delà de cet objectif, il avait fallu, aussi, entrevoir la nécessité de trouver d'autres solutions de reboisement pour les secteurs où le Chêne-liège ne conviendrait pas.

Parmi ces solutions on aurait pu envisager l'Eucalyptus si, toutefois, le programme de reboisement de la Mamora avec cette essence n'était pas momentanément arrêté ; il fallait surtout penser aux essences résineuses, d'autant que le Service forestier préconisait et utilisait déjà les méthodes de reboisement mixte (semis de Chênes-lièges en mélange avec des plants de résineux).

Ces raisons font que les recherches sur l'écologie de quelques variétés de Pins, les plus habituellement utilisées au Maroc, furent conduites de front avec celles relatives à l'écologie du Chêne-liège.

Avant de faire part des résultats de cette étude qui vient donc très logiquement compléter les connaissances acquises simultanément sur l'écologie du Chêne-liège, nous devons faire mention, du grand intérêt qu'ont présenté pour nous les anciennes plantations de résineux, faites à titre expérimental par l'Inspecteur général des Eaux et Forêts BOUDY et surtout par le Conservateur J.-P. CHALLOT. Ces initiatives, prises à une époque où la politique de reboisement n'était nullement orientée vers la voie actuelle, n'en sont que plus heureuses. Nous leur devons, en tous cas, les résultats relatifs à l'évolution des plantations dans le temps, jusqu'à quarante ans pour les plus vieux sujets. Ces plantations n'ont malheureusement pas toujours suffi pour permettre de déterminer avec certitude le comportement des essences dans toutes les conditions de milieu de la Mamora. Il en résultera quelques lacunes dans notre travail ; il est bon d'en prévenir le lecteur.

Enfin, de nombreux éléments analytiques, traités ailleurs tels que la description de certaines parcelles, la description des profils pédologiques, les résultats d'analyse de sols et finalement l'interprétation générale de l'alimentation en eau des sols de la Mamora, interprétation qui détermine le comportement de la totalité du couvert végétal, n'ont pas été repris ici.

Nous conseillons de se reporter à ces sujets à notre étude : « Régénération artificielle du Chêne-liège et équilibre climacique de la subéraie en forêt de la Mamora » (Ann. Rech. for. au Maroc, Tome 9).

— I —

GÉNÉRALITÉS

A. MÉTHODES DE TRAVAIL

1. Méthodes proprement dites

Nous ne nous étendrons pas outre mesure sur le choix des méthodes de recherches adoptées en ce qui concerne l'étude des jeunes plantations. Les critères de sol ont été établis, par des sondages à la tarière et grâce à une cartographie détaillée des parcelles.

On pourra à ce sujet se référer à notre précédente publication sur le Chêne-liège (LEPOUTRE 1967).

Il est bon de préciser cependant que l'obligation de rattacher le comportement de l'essence aux conditions des sols nous a amené à choisir à priori un ou plusieurs critères botaniques pouvant traduire le degré de réussite des jeunes pins dans des conditions édaphiques déterminées.

Le critère de hauteur a été utilisé pour les jeunes plantations de moins de six ans, tandis que nous y avons ajouté la circonférence à hauteur de poitrine pour les plantations plus anciennes de 13 à 40 ans.

En même temps que ces critères étaient utilisés il fallait les appliquer à un nombre d'individus suffisant pour obtenir une valeur moyenne représentative et pour pouvoir établir une relation entre cette dernière et les conditions de sols.

Comme pour le Chêne-liège et pour les mêmes raisons, nous sommes trouvés devant la difficulté du choix des dimensions des placettes de comptage.

En effet, si une vaste placette d'inventaire peut fournir une valeur moyenne représentative du critère botanique, elle rend inévitable une large variation du critère édaphique à l'intérieur des limites considérées ; l'inverse se produira sur une placette aux dimensions réduites.

N'ayant pu nous rattacher dans ce domaine à des normes bien définies, nous avons finalement choisi des dimensions qui permettaient de disposer la placette d'inventaire dans un milieu homogène du peuplement artificiel. Cette homogénéité a été évaluée d'après l'aspect général des arbres sur la placette en admettant, à priori, qu'à une croissance régulière des arbres à l'intérieur du placeau, correspondent des conditions de sol sensiblement identiques.

Ces considérations nous ont finalement conduits à étudier des placettes d'inventaires carrées, de 24 m \times 24 m, comportant 25 emplacements de plantation de résineux. Par ailleurs, la carte des sols dressée préalablement a permis dans tous les cas de limiter au minimum la variation des conditions édaphiques à l'intérieur des surfaces inventoriées.

Des vérifications faites dans le cours des recherches ont montré que cette méthode d'échantillonnage était suffisamment précise pour les exigences de l'étude.

En ce qui concerne les mortalités ou plus généralement les manquants, nous avons, le plus souvent, ramené les critères botaniques moyens au nombre d'emplacements de plantation plutôt qu'au nombre de plants existants. Nous avons alors obtenu *des hauteurs théoriques moyennes ou des circonférences théoriques moyennes* qui rendent compte de la disparition de certains plants et traduisent mieux, finalement, la réussite ou l'échec du reboisement, du point de vue pratique et économique.

2. Programme

En ce qui concerne l'ordre chronologique des recherches deux points devaient encore être envisagés pour l'établissement du programme :

- 1° L'étude comparative des différents secteurs climatiques de la Mamora.
- 2° L'étude de l'évolution des peuplements artificiels dans le temps, au-delà des quelques premières années.

En fait nous n'avons pas eu à nous préoccuper spécialement de ces deux points de l'étude, les plantations de résineux étant trop peu étendues dans les différents secteurs climatiques d'une part, et les plantations plus anciennes étant trop rares d'autre part, pour que nous ayons pu négliger l'étude de certaines d'entre elles.

C'est finalement l'étude de la presque totalité des reboisements résineux de la Mamora qui a été faite et on verra que cela n'a pas toujours suffi pour pouvoir tirer toutes les conclusions souhaitées dans les deux derniers domaines de recherche que nous venons de mentionner.

Dans ce cadre général, il faut enfin attirer l'attention sur l'influence des interventions du forestier dans l'évolution des peuplements artificiels. Cette action de l'homme a pu, localement, perturber la croissance des arbres ou provoquer leur disparition. Sur le plan de la recherche, ceci a fortement contribué à modifier les conditions de milieu et, rendant celles-ci plus hétérogènes, a souvent rendu les comparaisons très difficiles voire impossibles.

En ce qui concerne la rédaction nous exposerons nos résultats pour chaque essence résineuse étudiée, d'abord pour les plantations jeunes, puis pour les plantations plus âgées, et pour chacun de ces types en premier lieu dans les secteurs climatiques occidentaux puis dans les secteurs plus typiquement semi-arides de la Mamora centrale et orientale.

B. LE MILIEU ÉCOLOGIQUE

1. Conditions géologiques et stratigraphiques

Sur les formations marneuses miocènes qui constituent le niveau de la nappe phréatique profonde, ou sur des sables et grès pliocènes est venu se superposer un dépôt continental de puissance variable mais pouvant atteindre une vingtaine de mètres, appelé « argile rouge de Mamora ». On s'accorde aujourd'hui pour attribuer cette dernière formation à la période Villafranchienne, et on admet que sa mise en place s'est effectuée sous climat subtropical, au cours de la régression de la mer Moghrébienne (Calabien atlantique).

Cette régression n'a pas été continue, et faisant suite à un certain nombre de pulsations, un relief dunaire s'est imposé constituant des unités topographiques parfaitement orientées du SW vers le NE. Les reliefs dunaires calcaires, qui ont pu être ennoyés par les argiles rouges, constituent les deux grands massifs forestiers les plus occidentaux à partir de Sidi Allal el Bahraoui jusqu'à Rabat et Kénitra. Ils sont séparés par la vallée de l'Oued Fouarat et comportent eux-mêmes un certain nombre de rides parallèles régulièrement orientées.

Les dunes correspondraient donc au faciès marin Moghrébien tandis qu'il faut presque atteindre la zone littorale pour trouver un système de dunes plus récentes (Quaternaire moyen et récent).

Le contact entre le faciès marin et le faciès continental est mal défini et, de fait, il pose le problème de la datation chronologique des dépôts en Mamora. En effet, d'une part plus à l'Est la succession des reliefs orientés SW-NE se poursuit mais la couverture argileuse plio-Villafranchienne reste pratiquement continue quelles que soient les dénivelées topographiques. Il faut donc admettre que les dépôts continentaux d'argile rouge de Mamora n'ont pu se faire que sur une surface topographique ancienne plus plane que la surface actuelle. L'hypothèse semble maintenant vérifiée, et on a admis des mouvements tectoniques, datés du Régréguien, donc fini-Villafranchien, qui ont eu pour conséquence une surélévation du relief et un compartimentage du massif de Mamora orientale en grandes unités orientées SW-NE, comme le souligne le réseau hydrographique. Peut-on admettre que cette tectonique a influencé les massifs plus occidentaux ? La réponse à cette question pourrait lever le doute en ce qui concerne l'origine des dépôts argileux sur les dunes calcaires consolidées de cette partie de la Mamora.

Les avis sont partagés cette fois pour attribuer l'origine de la couverture argileuse à un transport continental antérieur à la tectonique régréguenne, ou à un processus de décalcification de la dune calcaire consolidée.

Quoi qu'il en soit, à la suite de ces dépôts, des formations sableuses qui ont toutes des caractères fluviatiles, se sont répandues sur l'ensemble de la Mamora, trouvant leur origine dans la Meseta centrale, dans l'altération de la formation rouge de Mamora riche en sable ou dans la décalcification de la dune sous jacente.

Il n'a pas encore été possible de dater ces formations sableuses avec précision mais on peut affirmer qu'il en existe au moins deux :

— des sables rouges siliceux riches en oxyde de fer pouvant contenir de l'apatite et un peu d'argile,

— des sables roses à beiges dépourvus d'argile et essentiellement siliceux, peut-être plus récents, et qui recouvrent donc les précédents.

Ces formations constituent un revêtement sableux, généralisé sur tout le massif de la Mamora, mais qui est loin d'être uniforme sur toute son étendue puisque son épaisseur varie de trente centimètres à plus de six mètres.

La difficulté de datation réside essentiellement dans le fait que les dépôts plus récents proviennent du remaniement de ceux qui les ont précédés interdisant pratiquement toute différenciation morphologique des sables. Néanmoins, on peut affirmer que la position des sables rouges est toujours reliée aux reliefs, occupant les parties les plus hautes de celui-ci, et voisinant souvent avec les affleurements de la dune calcaire moghrébienne. Cette liaison pourrait faire penser à une origine en place des sables rouges sommitaux.

2. Les formes du relief

Elles sont déterminées à la fois par le système dunaire récent et ancien, par la tectonique, et par l'importance des recouvrements sableux.

Comme il a été dit, la Mamora peut se diviser en plusieurs compartiments qui sont au nombre de cinq, tous orientés du Sud-Ouest vers le Nord-Est et séparés les uns des autres par un réseau hydrographique disposé suivant la même orientation. Chacun de ces compartiments, qu'il soit d'origine dunaire ou tectonique est constitué par une série de rides plus ou moins parallèles qui culminent à une cinquantaine de mètres au-dessus des dépressions interdunaires ou inter-rides.

L'ensemble du massif est relevé vers sa partie Sud orientale où l'altitude atteint au maximum 300 mètres, contre 130 dans la partie Sud occidentale, et il s'abaisse progressivement vers le Nord jusqu'à la plaine du Rharb.

Ces grandes lignes du relief, la Mamora les doit à son ossature et à la tectonique villafranchienne.

Le reste des formes du relief est dû à l'importance des dépôts sableux et à l'action d'un système hydrographique de surface dont l'action érosive est plus ou moins marquée suivant le cadre général où elle s'exerce. La partie Sud orientale et centrale, qui a sans doute subi le maximum des effets tectoniques, et qui est la plus relevée facilite l'érosion ; on y constate une topographie de surface assez tourmentée. La partie Nord au contraire s'abaisse doucement vers le Rharb, c'est une région relativement plane.

Enfin, la moitié occidentale est celle où les reliefs dunaires sont les plus accentués, peut-être parce que les moins anciens. C'est aussi avec la

partie Nord la région où les revêtements sableux sont les plus importants, et où l'érosion est la moins forte, amortie par un coefficient de ruissellement très réduit.

On distingue donc finalement une Mamora haute, centrale et orientale Sud, une basse Mamora Nord et une Mamora dunaire occidentale.

Cette distinction se traduit essentiellement par des variations de pentes, respectivement fortes, faibles à nulles et moyennes.

Enfin, on peut mentionner certains phénomènes karstiques anciens qui vraisemblablement sont à l'origine de quelques dolines très faiblement creusées sur les crêtes ou sur les flancs des massifs dunaires calcaires. Ces dolines sont occupées par des eaux temporaires l'hiver ; elles portent le nom de daya. Elles ne doivent pas être confondues avec un autre système de dayas qui, celui-là, occupe le fond des sillons interdunaires ou interrides.

3. Le climat

Le climat de la Mamora est celui de l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais défini par L. EMBERGER et C. SAUVAGE, bien que sur sa partie littorale le massif bénéficie sur une largeur d'une dizaine de kilomètres des conditions de l'étage bioclimatique subhumide.

Les caractéristiques de ce climat, dont l'aridité s'accroît au fur et à mesure que l'on avance vers l'Ouest, sont indiquées dans les tableaux suivants qui donnent les valeurs principales pour les deux extrémités orientales et occidentales de la Mamora :

	Kénitra	Tiflet
Températures mensuelles moyennes :		
— minimales	11° 6	11° 1
— maximales	24° 3	26° 4
Températures extrêmes :		
— minimales	1°	1° 2
— maximales	40° 7	43° 9

Pluviométrie mensuelle moyenne en mm

	Kénitra	Tiflet
Total	596	528
Août	1	2
Septembre	12	9
Octobre	66	50
Novembre	111	83
Décembre	116	92
Janvier	67	61
Février	66	67
Mars	66	72
Avril	49	52
Mai	32	30
Juin	9	9
Juillet	1	1

Il importe de noter la diminution de la pluviosité, d'Ouest en Est, mais aussi, que cette diminution est davantage due à un déficit relatif des précipitations hivernales qu'à un raccourcissement de la saison humide. En ce qui concerne la pluviométrie, l'accroissement de l'aridité vers la Mamora orientale est donc une variation globale annuelle.

Par contre, en ce qui concerne le régime thermique, l'établissement des hautes températures maximales est toujours plus précoce et plus durable en Mamora orientale. Il en découle une longueur de la saison chaude plus grande d'un mois environ dans ce secteur par rapport aux secteurs occidentaux.

Enfin, il faut signaler que la Mamora comme tout le Maroc est souvent sujette aux vents chauds et secs du type chergui, durant l'été.

4. Les sols

a) Les facteurs de la pédogenèse.

La roche mère.

C'est elle qui a toujours été à l'origine des principaux caractères du sol durant tout le Quaternaire et sans doute encore actuellement.

Il est vraisemblable que l'on a partout des sols complexes comportant au moins la superposition de deux dépôts (parfois plus) : le sable sur l'argile rouge de Mamora. Il en résulte des horizons à très grande perméabilité sur plusieurs mètres parfois, reposants sur des horizons profonds très imperméables avec, souvent, passage brutal des uns aux autres.

Les facteurs de la pédogenèse sont donc essentiellement le lessivage dans les sables, et l'hydromorphie en profondeur, à la surface des horizons imperméables argileux. Ces phénomènes ont nécessairement débuté dès le dépôt des matériaux, c'est-à-dire qu'ils ont joué tout le long du Quaternaire ; aussi, est-il toujours difficile de faire la part de leurs influences actuelles et anciennes.

Dans beaucoup de cas, ils ont abouti à laisser en place des masses de sables siliceux presque purs et il est évident que le lessivage actuel ne peut plus se manifester par des caractères morphologiques visibles.

De même, très souvent, l'hydromorphie, dans les sables au-dessus du plancher imperméable d'argile rouge de Mamora, ne laisse aucune trace, bien que sa manifestation soit constante et régulière tous les ans.

Il est donc vraisemblable que les caractères visibles du sol sont souvent fossiles.

Parmi ces caractères fossiles il faut distinguer, en tous cas, une période de rubéfaction ancienne qui se place à la fin de la période de dépôt des sables rouges, et une période, peut-être moins rubéfiante, qui lui a succédé et qui pourrait correspondre à une sorte de steppisation dans les sables plus récents (sables clairs). Encore ceci n'est-il pas certain, car la rubéfaction nécessite la présence de fer dans le sol ; or ces sables ont pu en être dépourvus depuis le stade originel de leur dépôt.

En ce qui concerne les caractères morphologiques des argiles de profondeur, ils sont certainement fossiles et, seuls, certains caractères hydromorphes ont pu se surimposer sous l'action d'une nappe temporaire perchée quand les conditions de drainage latéral sont insuffisantes.

La topographie.

Bien qu'ayant joué son rôle depuis fort longtemps, car les reliefs de la Mamora sont sans doute parmi les plus stables du fait des revêtements sableux de surface qui amortissent le ruissellement, la topographie, et particulièrement celle du plancher argileux de l'argile rouge de Mamora, est le facteur dont l'influence actuelle est probablement la plus forte.

C'est elle qui commande le régime hydrique du sol chaque fois que la couverture sableuse n'est pas trop puissante et que la végétation est insuffisante pour absorber toutes les précipitations.

L'hydromorphie de profondeur est donc étroitement tributaire de la pente et du drainage latéral.

Le facteur climatique.

En ce qui concerne le climat, deux facteurs dominent les processus de la pédogenèse :

- les précipitations hivernales qui comportent la presque totalité de la pluviosité, groupée en six à sept mois et qui, dans ces conditions, ont, d'une part une puissance de lessivage très importante, d'autre part la possibilité très courante d'engorger les sols peu épais ;
- les fortes températures estivales jointes à une très grande sécheresse des sables. Ce régime thermique contribue à l'oxydation rapide de toute matière organique à la surface du sol dès que celui-ci est dénudé. Il en résulte toujours des taux très bas de matière organique dans les sols.

La végétation.

Son rôle est peu important tant que le boisement est clair. Par contre, lorsque celui-ci est dense, ou constitué par des essences très avides d'eau (Eucalyptus) il contribue à régulariser le régime hydrique du sol, en supprimant toute possibilité d'engorgement en profondeur et en interdisant même la réhumectation du profil dans sa totalité, lorsque celui-ci est assez profond.

Les systèmes radiculaires profonds s'installent souvent à la surface ou dans les horizons argileux et contribuent parfois à une micropodzolisation latérale de ceux-ci en même temps qu'à une augmentation de leurs taux en carbone et en azote.

b) Les sols.

Il est très difficile de classer certains sols de Mamora en raison de la complexité des dépôts sableux superposés ou des caractères reliques de la pédogenèse.

Le problème fondamental réside dans la détermination de l'origine pédogénétique ou géologique des horizons plus argileux. On pourra alors

avoir de simples sols lessivés ou des sols à tendance bruns forestiers, dans le cas d'un lessivage certain des éléments fins et d'une couverture végétale dense.

Il réside aussi dans la détermination des caractères hydromorphes dans les sables et cette détermination n'est pas toujours possible.

Enfin lorsque les sables rouges sont proches de la surface on pourra avoir des sols rouges et si on peut admettre l'unité géologique de la couverture sableuse de la surface jusqu'aux sables rouges on pourra avoir des sols rouges lessivés.

Il faut finalement admettre que la systématique pédologique permet difficilement d'introduire les caractères génétiques dans la classification des sols de la Mamora, au stade de nos connaissances actuelles.

— II —

**ÉCOLOGIE DU PIN MARITIME (*Pinus pinaster* var. *maritima*)
DANS LES SOLS DE LA FORÊT DE LA MAMORA**

1. JEUNES PLANTATIONS

A. Mamora occidentale

On se reportera au plan de la Mamora qui situe les parcelles de reboisement que nous avons étudiées dans les cantons forestiers A et B.

a) *Parcelles A.IV.4 et A.IV.5* (80 hectares et 100 hectares respectivement).

— *La Plantation.*

Le Pin maritime a été planté en mélange avec des semis de Chêne-liège en 1959 et 1960, à raison de un plant de pin tous les six mètres sur les lignes, celles-ci étant distantes de trois mètres l'une de l'autre. La plantation est en quinconce et deux semis de Chêne-liège séparent les plants de pins maritimes sur la ligne.

— *Le Sol.*

Les deux parcelles, situées à 8 km de l'océan, sont disposées sur le flanc Nord-Ouest du grand massif dunaire qui constitue le canton forestier A. Les sols sont du type classique de Mamora, c'est-à-dire recouvrement de sables siliceux plus ou moins épais (0,80 m à plus de six mètres), reposant sur un plancher argileux imperméable ou en tous cas beaucoup moins perméable. Ce dernier est formé soit par l'argile rouge de Mamora, soit par une argile qui pourrait être de l'argile de décalcarification très ancienne provenant du calcaire dunaire sous-jacent (cf. généralités).

— *Résultats des inventaires.*

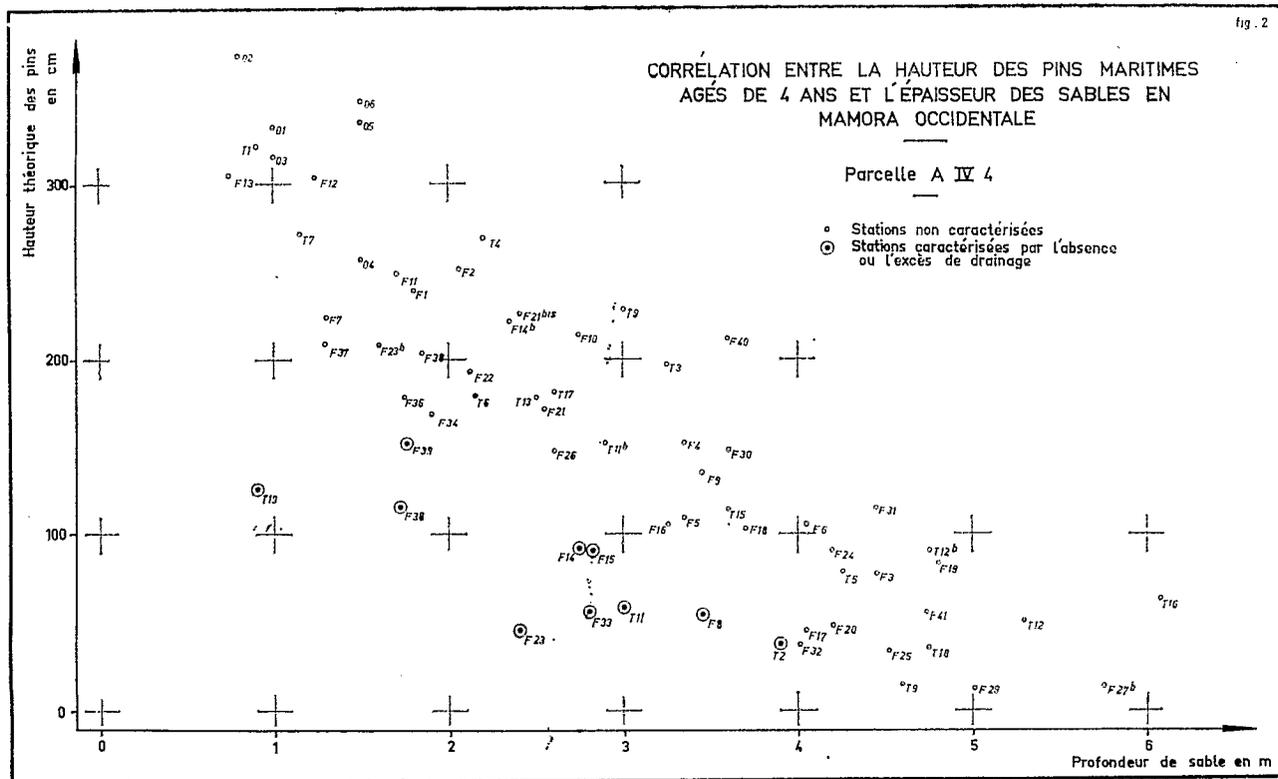
Les deux parcelles ont été cartographiées du point de vue de l'épaisseur et de la nature des sables de recouvrement — sables beiges ou sables rouges — et une carte topographique au 1/2 500 a été dressée, permettant, avec la connaissance de l'épaisseur des sables d'établir, parallèlement, une carte topographique du plancher argileux de profondeur.

Les critères édaphiques ainsi définis et mis en confrontation avec les critères forestiers, ont finalement permis de détecter une corrélation négative entre l'épaisseur des sables d'une part, et la réussite du boisement de pins maritimes, exprimée par la hauteur théorique des pins à quatre ans d'autre part. On trouvera cette corrélation sur la figure n° 2.

Quelques points abérents sont mis en évidence dans la partie basse du graphique. Ils ne représentent que 13 % des sondages et nous les avons figurés par un signe particulier. On remarquera que ces dernières stations sont toutes caractérisées par un effet dépressif des facteurs du milieu sur la croissance des pins.

Un examen plus attentif de ces stations sur le terrain montre qu'elles sont situées soit sur une crête de la topographie argileuse de profondeur soit à proximité d'un grand relief sableux. Dans les deux cas le bassin versant qui alimente les stations reçoit peu d'eau. Dans le premier cas la crête argileuse ne reçoit en effet que la tranche d'eau de pluviosité, dans le deuxième cas, il est normal que l'énorme masse sableuse voisine, qui atteint souvent plusieurs mètres d'épaisseur, absorbe une grande quantité d'eau et minimise l'alimentation latérale de la station, alimentation qui se fait par ruissellement sur la surface du plancher argileux de profondeur.

En ce qui concerne la majorité des points d'inventaire on constate une très belle corrélation. Toutefois, il faut noter à l'inverse du comportement du Chêne-liège dans les mêmes conditions (voir Ann. Rech. for., Maroc, T. 9) qu'il n'existe pas de seuil véritablement limite de la réussite. Celle-ci va en effet en décroissant régulièrement au fur et à mesure que les sables s'approfondissent. On ne peut donc pas affirmer qu'il y ait des conditions de sol absolument incompatibles avec l'installation du Pin maritime, sauf véritablement pour des épaisseurs de sable voisines de 5 m. Toutefois, il faut attirer l'attention sur le fait que cette relation a été établie à l'aide de la « hauteur théorique » c'est-à-dire en tenant compte des manquants. Il en résulte que la décroissance des hauteurs théoriques est aussi le reflet de la disparition d'un certain nombre d'individus. En fait, ceci apparaît dans



l'aspect souvent très hétérogène de la plantation dès que les conditions de sol ne sont plus favorables à la croissance. Cette hétérogénéité apparaît quand le plancher argileux se situe au-delà de 3 m de profondeur. La plantation représente alors en hauteur théorique 50 % environ de la réussite maximum enregistrée sur la parcelle.

Enfin, on peut dire que l'étroitesse de la corrélation semble exclure l'influence prépondérante de tout autre facteur pédologique hormis la profondeur des sables. En particulier, nous ne constatons pas de facteurs véritablement améliorant dans le contexte sableux de la Mamora. On verra plus loin qu'il en existe cependant dont l'influence est moins courante.

Il faut enfin signaler que certaines stations particulièrement basses, où l'inondation est fréquente (dayas) sont défavorables au Pin maritime. C'est ainsi que nous avons assisté à la disparition d'arbres faisant déjà 2 à 3 mètres de haut et qui avaient subi une inondation temporaire hivernale prolongée.

b) *Parcelle de A.VI.2a.*

— *La plantation.*

Elle couvre une centaine d'hectares et a été faite sur le même principe que la précédente, elle avait cette fois cinq ans, au moment de la mensuration.

— *Le sol.*

Il s'agit encore d'une couverture sableuse épaisse recouvrant l'argile rouge de Mamora. La pente est inférieure à 3 %.

— *Résultats des inventaires.*

La plantation a été cartographiée en totalité (45 hectares), tous les arbres mesurés en hauteur, tandis qu'une carte des profondeurs des sables était dressée parallèlement.

On se reportera utilement à la carte qui a été publiée à l'occasion de l'étude sur le Chêne-liège (voir Ann. Rech. for. Maroc., T. 9, doc. annexes, et page ci-avant).

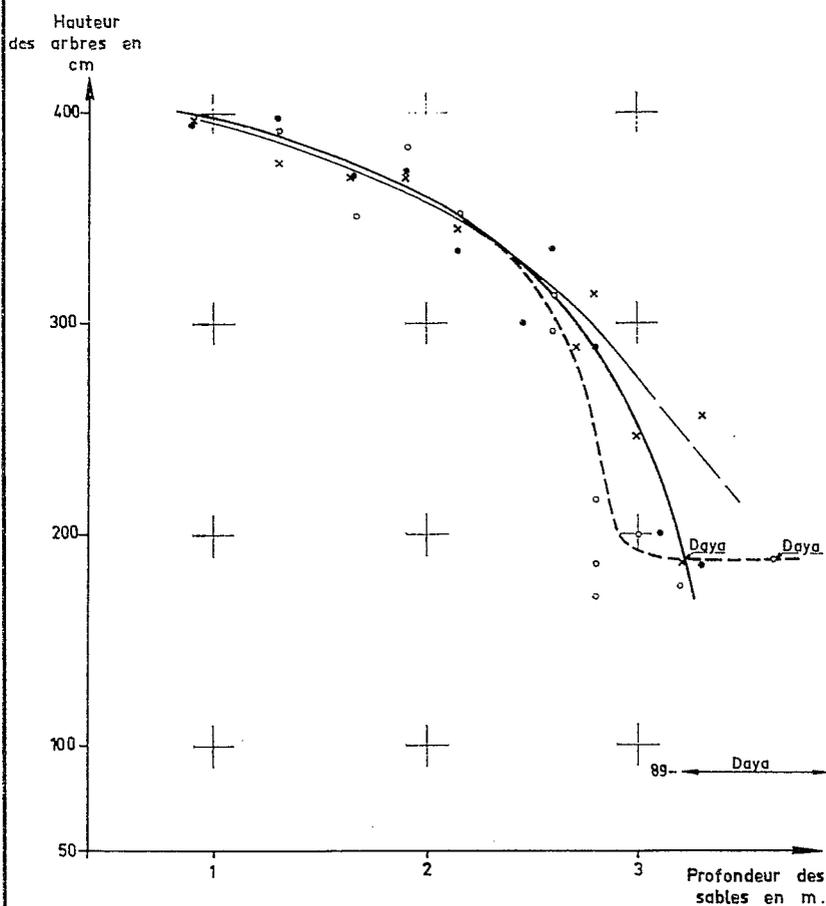
La figure 3 donne également une idée précise de la croissance des arbres en relation avec les conditions édaphiques.

fig. 3

RELATION ENTRE LA HAUTEUR DES PINS ET LA PROFONDEUR DES SABLES EN MAMORA OCCIDENTALE

(Plantation de 6 ans) - Parcelle A VII 2a

- Pinus Pinea
- x— Pinus Pinaster
- - - o - Pinus Halepensis



On y a porté la hauteur moyenne théorique des arbres pour chaque classe d'épaisseur des sables. Le nombre de mensurations porte sur la totalité des arbres de la plantation.

On y constate pour le Pin maritime une croissance d'autant plus forte que l'épaisseur du recouvrement sableux est réduite au-dessus de l'argile.

Une station tout à fait particulière indique l'influence dépressive de la nappe phréatique profonde avec battement important.

— *Comparaison avec les autres essences.*

On peut constater qu'il n'existe pas de différence importante entre le comportement de *Pinus pinaster* et de *Pinus pinea* sur la parcelle A.VI.2a (fig. 3). Par contre, pour cette même parcelle, on observera que la croissance de *Pinus halepensis* est fortement diminuée dès que les sables dépassent une épaisseur de 2,60 m ou que la station se situe sur nappe phréatique profonde. On verra que ce résultat a pu être confirmé en d'autres stations.

En ce qui concerne le comportement de *Pinus pinaster* comparativement à celui du Chêne-liège on remarquera que le Pin maritime croît encore très bien dans des conditions où le Chêne-Liège ne peut plus le faire c'est-à-dire entre 2 et 3 mètres d'épaisseur de sables (LEPOUTRE 1967). Le résultat est important sur le plan de l'utilisation du sol pour les reboisements artificiels puisqu'il fournit justement une solution au remplacement du Chêne-liège, là où celui-ci est en voie d'extinction, ou au reboisement des vides de la subéraie.

c) *Conclusions.*

Il ressort de ces observations que le Pin maritime montre une grande facilité d'installation dans les sables de Mamora pourvu que ceux-ci ne soient pas très profonds et n'excèdent pas trois mètres d'épaisseur.

Lorsque cette épaisseur est atteinte la croissance peut encore être satisfaisante, pourvu que le bassin versant soit suffisamment alimenté en eau (position topographique basse ou éloignement des reliefs sableux dunaires). Dans le cas contraire, l'hétérogénéité de la plantation s'accroît rapidement au fur et à mesure que les sables s'approfondissent.

Enfin, le Pin maritime est sensible à l'excès d'eau dans le sol, mais, en Mamora occidentale, cet excès d'eau est le plus souvent localisé aux alentours des dayas. Il ne s'agit d'ailleurs que d'engorgements temporaires du sol en hiver. Dans de telles stations l'échec de la plantation peut donc être



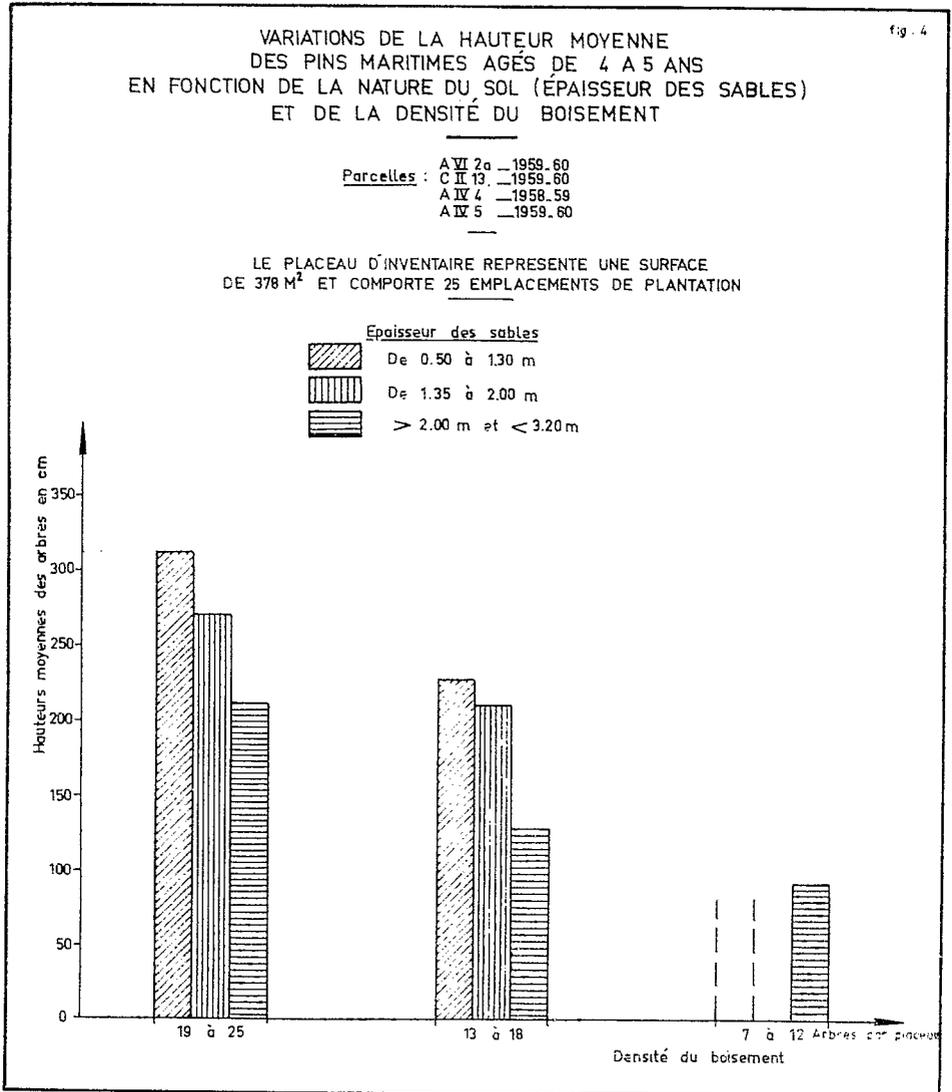
CLICHÉ N° 1 - S.R.F.

Pins maritimes (*Pinus pinaster*) de deux ans,
sur sables de Mamora.



CLICHÉ N° 2 - S.R.F.

Pins maritimes (*Pinus pinaster*) de quatorze ans
sur sables de 2,80 m d'épaisseur
en Mamora occidentale.



occasionné par une saison plus humide que la normale sans qu'il soit possible de pronostiquer les chances de réussites.

Les résultats sont illustrés par la figure 4, où l'on pourra constater, par ailleurs, que l'absence de vigueur ou, au contraire, la croissance rapide, sont étroitement dépendantes de la nature du sol (proximité de l'argile). En particulier, et pour ce type de plantation à 3 m × 6 m on ne constate aucune influence de la concurrence réciproque des arbres, et les plus fortes croissances sont celles des placeaux d'inventaire les plus denses sur argile proche.

B. Mamora centrale

Parcelle C.II.13.

La rareté des jeunes plantations de Pins maritimes en Mamora centrale n'a permis qu'une seule étude dans la parcelle C.II.13 plantée en octobre 1959 à 3 m × 6 m. L'installation du Pin sur labour profond s'y est faite très facilement sur des sols dont l'épaisseur des horizons sableux varie entre 65 et 355 cm.

Nous donnons ci-dessous les résultats de quelques comptages effectués quatre ans et demi après la plantation :

Numéro de sondage	Profondeur des sables	% de réussite	Hauteur réelle moyenne (cm)	Hauteur théorique moyenne (cm)
33	67	60	308	185
34	141	84	348	292
35	69	88	302	266
36	171	76	401	304
37	461	84	325	273
38	67	80	324	260
39	91	76	398	302
40	69	72	248	171
41	72	96	310	298
42	83	92	310	286
43	65	68	353	250
44	266	84	334	281
45	284	80	329	263
46	134	100	347	347
47	94	92	358	329

Ces résultats très encourageants n'avaient cependant pas de caractère définitif car six ans après la plantation, la mortalité subite commença à décimer une partie des pins. Les vérifications ont montré que cette mortalité se localise sur les sols de faible épaisseur qu'ils soient en position plane ou en pente. Au-delà de 1,30 m et jusqu'à 3 m d'épaisseur des sables la plantation ne donnait encore aucun signe de défaillance.

Enfin, huit ans après la plantation, et à l'occasion d'une année climatique très défavorable (il n'est tombé en 1966-67 que 80 % de la hauteur d'eau de l'année météorologique normale, et plus de la moitié des précipitations est tombée avant le 10 novembre) la mortalité s'est accentuée faisant disparaître tous les pins maritimes installés sur des sables dont l'épaisseur est inférieure à 1,40 m au-dessus de la formation rouge argileuse de Mamora.

On découvre ici un exemple des risques encourus chaque fois qu'une essence est installée à la limite des conditions écologiques qui lui conviennent d'une part, et un exemple, d'autre part, de *l'influence déterminante des valeurs extrêmes du facteur écologique limitatif de la croissance*. En l'occurrence, la hauteur d'eau de l'année météorologique s'écarte peu de la moyenne mais la répartition saisonnière des pluies devient essentielle et déterminante de l'avenir de la plantation, en liaison avec la nature du sol.

Comparativement, il faut enfin attirer l'attention sur l'excellent comportement du Chêne-liège dans toutes les zones de mortalité du Pin maritime, sur sols peu épais, et rappeler sa disparition, depuis le début de la plantation, exactement dans les limites où le Pin maritime subsiste aujourd'hui.

On peut donc affirmer que *les surfaces utilisables pour le Pin maritime sont exactement complémentaires de celles utilisables pour le Chêne-liège*.

Il s'ensuit sur le plan pratique que la plantation mixte *Pinus pinaster-Quercus-suber* en Mamora centrale et orientale, est inutile sauf sur des limites de réussite imprécises pour l'une ou l'autre des deux essences.

Sur le plan biologique, ceci fait penser que le système racinaire de *Pinus pinaster*, contrairement à celui du Chêne-liège, ne pénètre pas ou pénètre peu dans les horizons argileux de profondeur ; au contraire, il doit se localiser de préférence dans les sables. Cette hypothèse sera confirmée plus loin dans l'étude des anciennes plantations faites à titre expérimental, il y a une vingtaine d'années.

2. ANCIENNES PLANTATIONS

Il s'agit de plantations faites principalement à Mechra El Kettane, c'est-à-dire dans le canton forestier B, et donc encore dans ce que l'on peut appeler la Mamora occidentale.

A. Mamora occidentale

— a) Parcelles B V.3.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES

Cette parcelle a été plantée en 1946-47-48 en diverses essences mais surtout en *Pinus pinaster var. maritima*. Les surfaces plantées avec ce pin couvrent en effet 167 hectares environ.

La plantation est faite à 3 m × 3 m et aucune intervention n'y a jamais été faite jusqu'à 1966. Les épaisseurs des sables varient entre un mètre et trois mètres, mais les pentes ne dépassent jamais 6 %, se situant en moyenne entre 0 et 3 %.

On peut dire que la réussite est à peu près totale sur l'ensemble de la plantation sauf quelques échecs très localisés que nous avons tenté d'analyser.

Les échecs sur sable moyennement épais au-dessus de l'argile sont exclusivement localisés à des stations où des indices morphologiques dans le sol témoignent de l'existence ancienne d'une nappe temporaire au-dessus de l'argile de Mamora. Les indices sont la présence d'un lit de concrétions ferrugineuses noirâtres et friables dans les sables, ou la présence d'un horizon sableux lessivé, très clair ou presque blanc juste au-dessus de l'argile. Il est à noter que l'emplacement de ces échecs n'est pas en liaison avec l'épaisseur des sables et que l'on passe très généralement d'une façon très brutale de l'échec à la réussite, ou inversement. Cette dernière remarque confirme bien l'hypothèse de l'action d'une nappe, bien que celle-ci ait pu disparaître, à présent que le bassin versant est complètement boisé.

Les échecs sur faible couverture sableuse au-dessus de l'argile (inférieure à 1,25). Cette sorte d'échec est parfaitement localisé sur des emplacements où la nappe de doum (*Chamaerops humilis*) est assez dense. Bien que cette nappe contribue sans aucun doute à détériorer le bilan hydrique

du sol il ne semble pas possible de la rendre entièrement responsable de l'échec de la plantation. Il arrive en effet, que la nappe de doum étant absente les pins ont disparu néanmoins.

Entre ces deux cas d'échec, il existe d'ailleurs une différence fondamentale : dans le premier cas, il n'y a pas de souches de Pins, dans le second les Pins sont morts sur pieds. Ceci prouve que sur sable épais avec nappe la mortalité s'est manifestée rapidement dès les premières années, dans le second cas au contraire les Pins ont bien démarré mais n'ont pas pu subsister au-delà de huit à dix ans. Le délai est confirmé par l'échec qui apparaît maintenant dans la parcelle C.II.13 de carrefour Bastide (voir p. 44).

Nous croyons pouvoir expliquer ce comportement du Pin maritime de la façon suivante : il ne fait pas de doute que si l'enracinement du pin était semblable à celui du Chêne-liège, l'essence subsisterait sur argile proche, encore que les réserves hydriques de cette argile sont sans doute faibles et rapidement épuisées par suite d'une dessiccation rapide et intensive en été. Ceci nous amène à supposer que l'enracinement du Pin maritime prospecte très peu d'argile. Dans ces conditions, le faible volume de sol mis à la disposition de l'arbre, avec une capacité de rétention très réduite (4 à 5 % environ) doit entraîner un déséquilibre entre les besoins en eau de la plante et son alimentation hydrique à un certain stade de son développement. Il faut bien concevoir, en effet, que l'hiver méditerranéen relativement pluvieux « habitue » l'arbre à une croissance normale, tandis que l'été le sèvre subitement sans qu'il y ait de processus physiologique de compensation.

Nous avons pu vérifier plusieurs points de cette hypothèse. L'examen direct du système racinaire du Pin a montré en particulier une disposition essentiellement fasciculée, dans les sables.

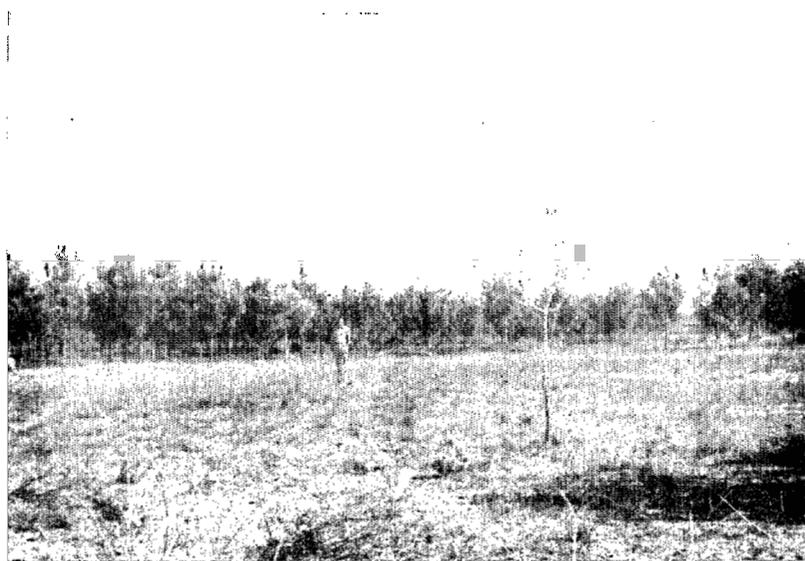
Par ailleurs, l'étude des photographies aériennes prises dans le courant des premières années qui ont suivi la plantation a permis de constater un démarrage très rapide des plants sur les sols où l'argile est proche et, au contraire, une croissance beaucoup plus lente sur sables profonds ou moyennement épais. C'est ce comportement qui a été mis en évidence dans les figures n^{os} 2 et 4. Après 15 ans, on se rend compte que la situation est généralement renversée.

On verra plus loin qu'il en est tout autrement pour les plantations de Pins d'Alep, et ceci nous amène à l'étude d'un facteur très important pour l'avenir du peuplement de Pin maritime : le facteur biotique.



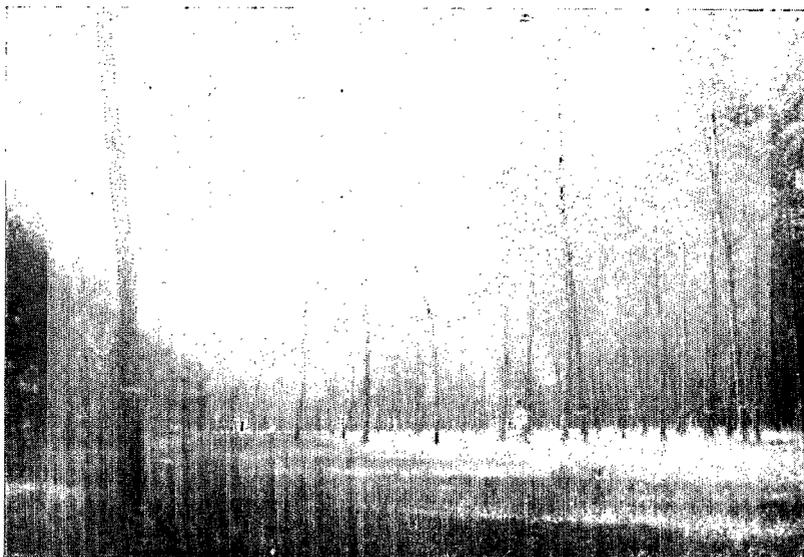
CLICHÉ N° 3 - S.R.F.

Disparition des Pins maritimes sur une poche d'hydromorphie. Seuls quelques chênes-lièges ont subsisté, visible au centre de la clairière.



CLICHÉ N° 4 - S.R.F.

Echec de la plantation de *Pinus pinaster* sur sables de plus de 3 mètres au premier plan. Au deuxième plan, la réussite réapparaît sur sables moins épais.



CLICHÉ N° 5 - S.R.F.

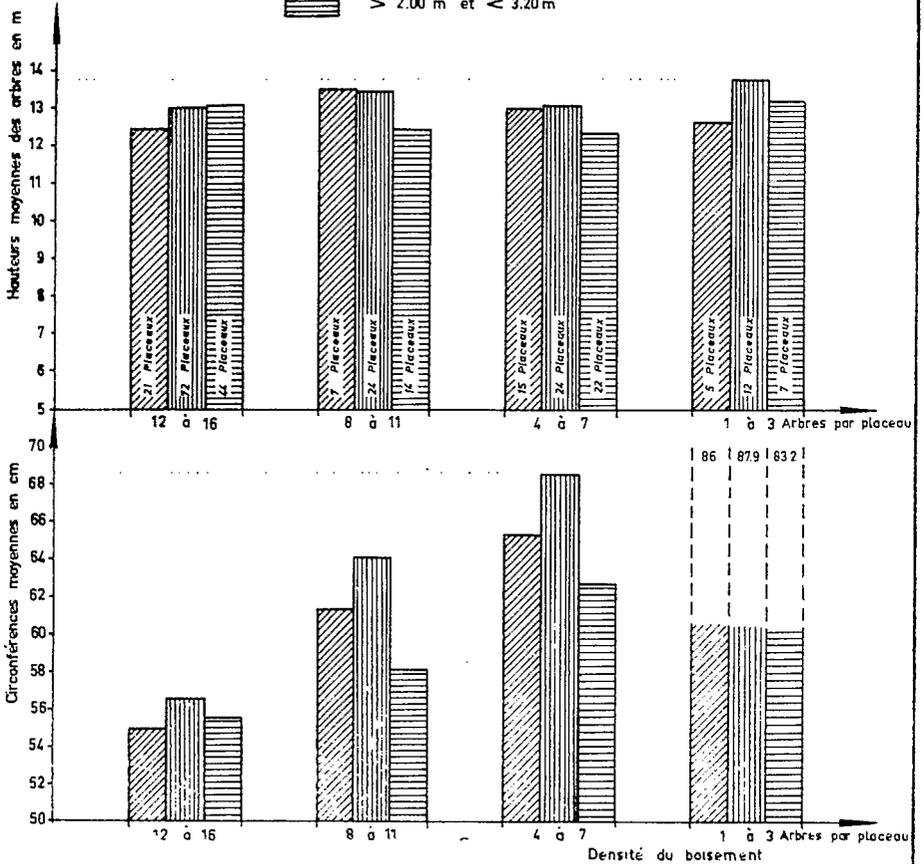
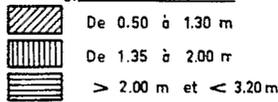
Eclaircie naturelle et mortalité des Pins maritimes initialement plantés côte à côte avec une plantation d'Eucalyptus recépée, mais visible à gauche du cliché.

VARIATIONS DES HAUTEURS ET DES CIRCONFÉRENCES MOYENNES
DES PINS MARITIMES AGÉS DE 18-19 ET 20 ANS,
EN FONCTION DE LA NATURE DU SOL (ÉPAISSEUR DES SABLES)
ET DE LA DENSITÉ DU ROISEMENT

Parcelle B 3 _1945_46_47

LE PLACEAU D'INVENTAIRE REPRÉSENTE UNE SURFACE
DE 144 M² ET COMPORTE 16 EMPLACEMENTS DE PLANTATION

Épaisseur des sables



— *Influence du facteur biotique : rôle de l'éclaircie naturelle.*

L'alimentation en eau de la plantation passant par une période critique pendant laquelle elle diminue considérablement, il faut s'attendre à ce que le sol ne puisse subvenir qu'aux besoins d'un boisement de densité bien déterminée.

Dans bien des cas, en effet, nous avons pu constater une concurrence manifeste entre individus, les arbres les plus vigoureux portant progressivement préjudice à leurs voisins et les faisant disparaître peu à peu. Rappelons qu'il s'agit de plantations faites à $3\text{ m} \times 3\text{ m}$.

Cette concurrence se manifeste sur le calibre des arbres plus que sur la hauteur comme le montre la figure 5.

Dans la figure 5 en particulier, on pourra noter que les variations des calibres, dues à l'éclaircie, sont moins importantes sur sable profond, et ceci fait bien apparaître la meilleure alimentation en eau dans ces conditions.

Par ailleurs, et bien qu'un tiers des précipitations annuelles soit tombé à la date de nos inventaires, il faut signaler que *les sables sont absolument secs sous boisement dense*, (sauf, vraiment en profondeur, à la surface de l'argile), alors qu'ils sont complètement humidifiés sur toute leur épaisseur et jusqu'à 2,80 m au moins, dans les vides du boisement. *Les besoins en eau de la plantation sont donc tels qu'au milieu de l'hiver toutes les réserves hydriques des sables sont utilisées instantanément ou presque.*

Ceci apporte une preuve nouvelle de l'exploration complète des sables par le système racinaire du Pin maritime.

Dans le but de définir quantitativement l'influence de l'éclaircie naturelle sur les calibres des arbres, nous avons récapitulé les résultats dans le tableau suivant.

Influence de l'éclaircie naturelle sur les calibres
(circonférence en cm de l'arbre moyen de chaque placeau)

% d'éclaircie naturelle	Epaisseur des sols en cm					
	inférieure à 125 ①	de 126 à 184		de 185 à 310		
			①	③	①	②	③
0	56,5	56,5	56,7	57,5	53,5	54,6
6	55	53	55	53	53,5	56,2
12,5	56	54		59		62
19	95	57,5	62		55	
25	46	58,5	59		50	66
31	58				51	59,5
37		60	58			
44	59	62	70,5	63		
50	61	66,5	59			70
56		65	63			71
62	67	64				
69			64			
94				97	107	121

Chaque chiffre de circonférence correspond à la moyenne de tous les placeaux dénombrés, dans cette catégorie de sol et d'éclaircie.

① = plantation 1945

② = plantation 1946

③ = plantation 1947.

L'analyse statistique a permis de sélectionner les valeurs qui ne sont pas significativement différentes.

Pour les sols d'épaisseur inférieure à 125 cm il s'agit des circonférences qui correspondent à une éclaircie inférieure à 31 %, pour les sols d'épaisseur comprise entre 126 et 185 cm il s'agit des éclaircies naturelles inférieures à 37 %, et pour les sols d'épaisseur comprise entre 186 et 310 cm et pour la seule année 1946, il s'agit également des éclaircies naturelles inférieures à 37 %.

On peut donc dire que pour des plantations de 20 ans environ et à 3 m × 3 m l'éclaircie naturelle ne modifie pas significativement l'état du peuplement lorsqu'elle est inférieure à 37 % de l'effectif initial sur sol moyennement épais et qu'elle peut jouer un rôle à partir de 30 % sur sol mince :

Cette conclusion est intéressante en ce qui concerne l'éventualité du choix de l'écartement des plantations en vue de l'obtention de plus gros calibres dans les mêmes délais. Dans ce cas il faudrait adopter une densité

à l'hectare de $\frac{1\ 111 \times 60}{400} = 666$ arbres environ.

Il est vraisemblable que si on conduisait l'éclaircie, cette densité pourrait sans doute être légèrement augmentée au départ.

— *Influence du sol sur la croissance.*

La figure 5 montre que cette influence est particulièrement importante sur les calibres mais beaucoup moins sur les hauteurs. Pour ces dernières, il semble qu'un nivellement se soit opéré et que tous les individus aient atteint une taille standard.

Par contre, il apparaît que pour chaque type de densité de boisement, les sols d'épaisseur moyenne (135 à 200 cm) permettent d'obtenir les calibres maximum.

Cette constatation ne doit pas surprendre car elle traduit des conditions édaphiques optimales pour la croissance, entre celles des sols minces très secs en été et mouilleux en hiver et celles des sols épais à faible capacité de rétention et particulièrement drainés.

— *Influence du sol sur l'éclaircie naturelle.*

Il n'est malheureusement pas possible d'affirmer cette influence avec la certitude requise, car l'échantillonnage des inventaires n'a pas été fait dans ce sens et ne permet pas d'avancer des chiffres. On peut cependant souligner que les mortalités les plus fréquentes ont été constatées *sur argiles proches* où le boisement peut être localement décimé ou en cours de disparition. Cette observation doit mettre en garde contre l'utilisation inconsidérée de ce type de sol (1). Par ailleurs il faut également constater que le

(1) Les observations faites en 1968 sur la parcelle C II 13 confirment bien ce point de vue.

boisement est beaucoup plus clairié sur sables épais (3 m environ). Dans ce cas, il n'y a pas de trace de souche et les individus restant sur pied sont en pleine vigueur ce qui laisse penser qu'il n'y a pas dépérissement prématuré mais difficulté d'installation. Cette constatation est en accord avec les observations faites sur plantations jeunes (voir fig. 2 et 4).

b) *Parcelles B V.3 et B IV.14 (1952-53).*

L'étude de ces parcelles apporte peu de données nouvelles au problème, sinon qu'elle fournit des valeurs de calibres et de hauteurs pour des arbres plus jeunes. Les inventaires ont été faits ici à 13 ans. Ils donnent les résultats suivants comparativement aux plantations de 1945-46-47 précédentes.

Hauteurs et calibres des arbres en fonction de l'âge, sur différents types de sols
(Dans chaque plateau de comptage comportant 16 emplacements de plantation, la hauteur moyenne est celle de l'arbre qui possède le calibre moyen.)

Inventaires de 1965

Eclaircie naturelle %	Profondeur des sols en cm →	Hauteurs en mètres			Circonférences en cm		
		0-130	130-220	> 220	0-130	130-220	> 220
0 à 25	Année de plantation						
	1946	12,40	12,99	13,06	54,9	56,6	55,4
	1952	11,37	11,85	12,57	53,9	54,9	58,3 ⁽¹⁾
25 à 50	1946	13,45	13,36	12,42	61,2	64,2	58,2
	1952	11,48	11,81	12,20	61,5	58,2	62,1 ⁽¹⁾
50 à 75	1946	12,62	13,73	13,20	65,8	68,0	62,7
	1952	12,03 ⁽²⁾	12,28		58,3	62,2	

(1) L'incohérence de ce résultat résulte sans doute de ce que les plantations de 1952 sont souvent sur sables rouges et que ceux-ci ont des épaisseurs importantes.

(2) L'éclaircie correspond ici à un dépérissement prématuré et accéléré des arbres.

On constatera que les croissances en circonférence sont pratiquement nulles entre 1952 et 1946 sauf si l'éclaircie naturelle est forte, ou les sables plus profonds.

En ce qui concerne les croissances en hauteur il apparaît qu'à partir de l'âge de 13 ans (plantation 1952) au moins, les accroissements sont très réduits ; ils sont plus importants dans les stations où l'éclaircie naturelle a laissé moins d'arbres sur pied.

On pourra remarquer également que la croissance en hauteur est ralentie beaucoup plus fortement sur sables épais. Cette conclusion n'est cependant pas certaine car c'est précisément dans ces conditions que nous avons les comptages les moins nombreux en particulier pour la plantation de 1952.

c) Conclusions.

En conclusion : pourvu qu'ils aient une épaisseur moyenne et en tous cas inférieure à 3 mètres, il ressort que *les sols ont beaucoup moins d'influence sur le développement des arbres que ne peut en avoir l'environnement, c'est-à-dire la densité du peuplement.*

Il faut donc prévoir que les reboisements artificiels de Pins maritimes en Mamora demanderont à être conduits avec le plus grand soin en fonction des produits qu'on attend, mais aussi, sans doute, pour obtenir ces produits dans les délais les meilleurs. Il est d'ailleurs intéressant de noter que l'éclaircie naturelle, dont il est question dans les plantations de 20 ans, se poursuit au-delà de cet âge pour finalement aboutir à des boisements d'une densité de 140 souches à l'hectare à l'âge de 50 ans. Cette éclaircie n'est pas fiable aux conditions de sol dans la parcelle (B IV.15) car celui-ci est trop homogène, mais elle montre, en tous cas, que les ressources du sol et particulièrement en eau, sont effectivement limitées comme l'examen des profils pédologiques nous l'a montré (voir page 49). Le sol ne peut finalement supporter que des boisements d'une certaine densité ; celle-ci dépend de l'âge des arbres et sans doute aussi de l'alimentation hydrique du sol, sinon du sol lui-même.

On peut donc conclure qu'à moins d'exploiter à courte révolution (pour l'obtention de poteaux de mine par exemple) l'éclaircie sera nécessaire dans tous les boisements artificiels de pins maritimes de Mamora occidentale, si ceux-ci sont faits à l'espacement de 3 m × 3 m. Faute de cette intervention la loi du plus fort sélectionnera les individus les mieux venants ou les plus favorisés sur le plan de leur alimentation en eau, au détriment des autres individus qui sont appelés à disparaître.

B. Mamora centrale

Il est très difficile d'interpréter les résultats obtenus en Mamora centrale. En effet, les parcelles ont été éclaircies sans que l'on sache, souvent, s'il ne s'agissait pas de coupes de nettoyage ; par ailleurs, les surfaces boisées sont toujours très réduites et ne permettent pas les recoupements d'observation en nombre suffisant ; finalement, les comparaisons entre différentes parcelles ne peuvent pas toujours avoir la rigueur requise.

a) Parcelle C.III 10 : sous-parcelle 1 (1944-45) : gradient climatique.

Cette sous-parcelle a été éclaircie anciennement et, de ce fait, nous ignorons si l'état actuel du peuplement est le reflet des conditions naturelles d'autant que dans la sous-parcelle 2, où les Pins ont été exploités, nous avons eu l'occasion de voir l'éclaircie naturelle s'accroître progressivement et les arbres mourir sur pied.

Quoi qu'il en soit, et à l'âge de 21 et 22 ans, les Pins ont une hauteur comprise entre 15 m et 12,50 m avec une moyenne de 14,15 m tandis que les circonférences varient entre 55,5 cm et 75,5 cm avec une moyenne de 62 cm.

La densité actuelle est voisine de 666 arbres à l'hectare. Le sol est peu épais à moyennement épais puisque l'épaisseur de la couverture sableuse est toujours supérieure à 110 cm et n'excède pas 1,75 m.

Les pentes sont elles-mêmes comprises entre 3,5 et 5 %.

En tenant compte du nombre de souches dénombrées dans les placeaux d'inventaire, et en supposant qu'il s'agissait d'arbres sains, le classement des hauteurs et circonférences en fonction du sol et de la densité du boisement a permis d'établir le tableau comparatif suivant où les résultats obtenus dans la parcelle B V.3 de Mamora occidentale ont été portés.

Ce tableau qui ne tient pas compte de la date d'éclaircie en C.III 10 ou même de la mortalité éventuelle des arbres enlevés, montre, en tous cas, qu'il ne peut sans doute pas encore y avoir d'effet climatique dépressif à Smento Sud c'est-à-dire à 26 km à vol d'oiseau de l'océan.

**Hauteurs (m) et circonférences (cm) comparées des Pins maritimes
à Mechra El Kettane (BV3), à Smento-Sud (CIII 10) et à Aïn Johra (DVI 16)**

Plantation à 3 m × 3 m

Année de plantation	Epaisseur des sables en cm →	50 à 130				135 à 200				200 à 320					
	Eclaircie en % .	0 à 25		25 à 50		0 à 25		25 à 50		0 à 25		25 à 50		50 à 75	
	Haut. et circonf.	H	C	H	C	H	C	H	C	H	C	H	C	H	C
1943-44	Parcelle BV 3 . .	12,4	54,9	13,45	61,2	13,0	56,6	13,4	64,1	13,0	55,4	12,4	58,6	12,8	62,6
1945-46-47	Parcelle CIII 10 .	14,4	61,1	—	—	13,5	59,7	15,0	67,8	—	—	—	—	—	—
1941-42	Parcelle DVI 16 .	11,7	56,5	11,3	62	12,6	55,0	—	—	11,75	59,5	—	—	15,25	86,0

— *Sous-parcelle 2 (1939-42).*

Les résultats de quelques observations seulement peuvent être donnés pour cette sous-parcelle qui a été exploitée peu de temps avant notre étude et qui n'a donc pas fait l'objet d'inventaires.

On a pu cependant noter de 1960 à 1965 que la mortalité des arbres continuait à éclaircir le peuplement *en particulier là où les sols sont peu épais* (40 à 80 cm d'épaisseur). Le boisement était analogue à celui de la sous-parcelle 1 sur des sols de profondeurs allant jusqu'à 140 cm.

Cette constatation est intéressante car elle recoupe les indices d'une longévité abrégée, que nous avons déjà soupçonnés sur sol peu épais, en Mamora occidentale, à Mechra El Kettane (1).

En ce qui concerne les causes de ce comportement du Pin maritime, il paraît difficile de l'attribuer à la seule sécheresse estivale et à la dessiccation rapide des sols, car on peut aussi observer les marques très nettes d'une hydromorphie actuelle des sables et de la surface de l'argile dans les profils pédologiques. Ces marques sont, essentiellement, la présence de concrétions ferrugineuses noirâtres et friables dans l'horizon sableux qui surmonte l'argile ; il s'agit également de la marmorisation de l'argile et de la couleur ocre caractéristique d'une plus forte hydratation du fer. Il n'est donc pas impossible que l'engorgement hivernal du sol contribue au vieillissement prématuré des arbres comme pour le Chêne-liège.

Cette observation bien que succincte est très importante et elle doit inciter à la prudence dans l'utilisation de ces sols peu épais. Rappelons que la mortalité des Pins est encore plus précoce lorsque la position topographique est drainante sur pente forte ou sur croupe.

b) *Parcelle BI.12.*

Cette parcelle a été étudiée suivant la même méthode d'inventaire par placeaux et par sondages pédologiques. On a pu vérifier que pour des sables dont les épaisseurs variaient de 185 à 320 cm, le Pin maritime continuait à se comporter normalement. Le manque d'archives correspondant à cette parcelle ne permet malheureusement pas d'établir des comparaisons.

(1) et qui se sont confirmés en 1968 dans la parcelle C II 13.

On est encore à 25 km de la mer et il est donc possible d'affirmer que le gradient climatique correspondant à l'accentuation de l'aridité ne semble pas produire d'effet manifeste sur la croissance du Pin maritime dans les sols de Mamora, tout au moins avec les épaisseurs de sables n'excédant pas 3 mètres et des pentes inférieures à 10 %.

c) *Parcelle CII.15* (1941-42).

La parcelle se situe à vol d'oiseau à 32 km, de la côte atlantique ; l'influence océanique est donc très amortie, dans un climat nettement semi-aride. Cette vieille plantation, comme les autres, a été abandonnée et l'éclaircie naturelle l'a sérieusement malmenée dans certaines conditions topographiques qu'il est intéressant de souligner.

La mortalité et la disparition des Pins sur sol peu épais de 90 à 100 cm d'épaisseur et sur croupes sont en effet totales. Nous ignorons dans le cas présent le moment précis de ces disparitions mais nous y avons assisté dans le cas de la parcelle C.II.13 (voir page 44). Il est intéressant de noter aussi que les placeaux d'inventaires les plus satisfaisants sont ceux pour lesquels l'épaisseur de la couverture sableuse atteint 1,20 m-1,30 m bien que la mortalité s'y manifeste à présent d'une façon progressive (soit à l'âge de 24 ans).

Ces résultats montrent qu'en dessous de cette limite d'épaisseur de sol la longévité du Pin maritime est très abrégée. C'est une nouvelle confirmation de la conclusion qui avait été pressentie depuis la Mamora occidentale. Les inventaires qu'il a été possible de faire sur les quelques hectares boisés ont donné les hauteurs voisines de 14 mètres et des circonférences comprises entre 63,5 et 67,5 cm à 24 ans. Ces valeurs voisines de celles de Smento-Sud (Parcelle CIII.10) représentent sans doute le maximum de ce qui peut être obtenu dans de telles conditions de sol et de climat puisque de toute évidence il ne paraît pas possible de conserver ces boisements plus longtemps sur pied (1).

d) *Parcelle D.VI.16* (1941-42).

Cette parcelle est située dans le canton D, à côté du poste forestier d'Aïn Johra, et à 33 km de l'océan. Les conditions de climat sont donc sensiblement les mêmes que pour la parcelle précédente. Les conditions

(1) Les derniers survivants de cette parcelle n'ont pas résisté à la sécheresse de 1967 et sont morts en totalité.

de sol sont différentes, car les sables sont plus profonds cette fois-ci (1,20 m à plus de 3,20) et ils sont rouges, c'est-à-dire que leur capacité de rétention est très légèrement supérieure.

Les résultats d'inventaires sont donnés dans le tableau de la page 55.

Comme nous l'avons déjà dit il ne s'agit là que de chiffres indicatifs qui donnent une idée du comportement du pin maritime dans les diverses conditions de sol et d'éclaircie.

A l'exception des boisements très clairs sur sables profonds, on constate cette fois-ci une diminution de croissance des arbres qui se manifeste surtout sur la hauteur, compte tenu que la parcelle D.VI.16 a trois ans de plus que la parcelle B.V.3.

e) *Conclusions.*

Malgré l'hétérogénéité du matériel d'étude aussi bien que les faibles surfaces boisées, il est possible de mettre en évidence un certain gradient climatique et une accentuation de l'aridité à partir d'une distance qui se chiffrerait à une trentaine de kilomètres de l'océan.

A partir de cette distance il faudra sans doute compter sur des révolutions un peu plus longues pour atteindre un âge d'exploitation déterminé. Il n'est pas possible d'évaluer ce décalage avec les éléments de comptage que nous avons réunis, mais une étude des accroissements devrait permettre de préciser la durée de la révolution pour l'obtention des bois de qualité déterminée.

En tous cas, il ne faut pas compter mener les boisements au-delà d'une vingtaine d'années, et peut-être moins sur sols peu profonds où les couvertures sableuses n'excèdent pas 1,30 m.

Sur les sols, qui deviennent trop secs s'ils sont en pente, ou qui sont gorgés d'eau en hiver s'ils sont plats, il est impossible d'assurer que le pin maritime pourra toujours atteindre un âge d'exploitation, car il semble bien que les arbres puissent disparaître rapidement vers l'âge de sept à huit ans si les années sèches se présentent, comme ce fut le cas en 1967.

C. *Mamora orientale*

La présence du pin maritime en Mamora orientale ne peut être citée que pour mémoire car il s'agit le plus souvent d'éléments isolés, comme c'est le cas autour de la maison forestière de Sidi Youssef, ou de toutes



CLICHÉ N° 6 - S.R.F.

Pins maritimes (*Pinus pinaster*) de cinquante ans
sur sables moyennement épais (2 m) en Mamora occidentale.



CLICHÉ N° 7 - S.R.F.

Croissance comparée des différents Pins sur sables de Mamora de trois mètres d'épaisseur avec nappe phréatique profonde hivernale. Tous les Pins sont âgés de huit ans.

De gauche à droite on distingue : un rang de *Pinus pinea*, deux rangs de *Pinus halepensis* qui peuvent à peine être distingués, deux rangs de *Pinus pinea*, deux rangs de *Pinus radiata* en train de dépérir, deux rangs de *Pinus pinaster*.

On peut signaler ici que dans les premières années de croissance les *Pinus radiata* étaient les plus grands.

petites parcelles comme on en trouve une à côté du poste forestier d'Aïn Assou dans la parcelle D.III.7. Là, la faible surface plantée et les dégâts causés par le troupeau ne permettent aucune conclusion sérieuse.

Il existe enfin un boisement adulte de Pin maritime sur une petite pente au lieu dit « Aïn Assou ». On ignore tout de l'origine de ce boisement qui couvre encore 0,5 hectare environ, et qui doit avoir une quarantaine d'années. On a pu vérifier cependant, que les arbres se maintenaient à des espacements de $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ là où l'humidité du sol doit sans doute être permanente, au pied du versant, et qu'ils disparaissaient progressivement au sommet de celui-ci.

3. CONCLUSIONS

a) *Caractéristiques écologiques du Pin maritime.*

L'arbre.

Le Pin maritime possède un système racinaire qui se répartit profondément dans le sable, et ne semble pas pénétrer l'argile au-delà de quelques centimètres. Il en résulte que l'arbre vit sur l'humidité profonde des sables et c'est son caractère xérophile qui lui permet de traverser la saison sèche malgré des réserves relativement réduites d'eau dans le sol. Par ailleurs, il supporte difficilement l'engorgement du sol en hiver, si celui-ci doit noyer une trop grande proportion (indéterminée) de son système racinaire.

Il est possible que l'arbre puisse résister à un engorgement temporaire de faible épaisseur, mais nous n'en avons pas la certitude. Tout ce qui peut être dit à ce sujet revient à évaluer les chances d'engorgement du sol qui seront d'autant plus grandes que la pente est faible et que l'épaisseur des sables est mince au-dessus de l'argile de profondeur.

Si la nappe phréatique est profonde et plus ou moins permanente le Pin peut s'installer. C'est le cas du petit essai mis en place par l'ingénieur en chef A. CHALLOT dans la parcelle B.II.1 (voir cliché n° 7).

C'est finalement ce comportement à l'égard de l'eau qui, avec les variations du régime hydrique du sol, déterminent les possibilités d'installation et de croissance du Pin maritime en Mamora.

Le sol.

Le schéma n'est pas tout à fait le même que celui qui a été établi pour le Chêne-liège (LEPOUTRE 1967) car l'essence et ses exigences sont différentes, mais le principe d'adaptation reste identique car le régime hydrique du sol ne peut changer qu'en fonction de l'épaisseur des sables et de la pente.

En effet, la faible capacité de rétention des sables, qui varie peu autour de 5 %, ne peut créer de variations suffisantes pour déterminer l'échec ou la réussite.

Pendant la saison hivernale l'arbre va subvenir facilement, à ses besoins ; sa croissance ne sera réellement compromise que s'il y a excès d'eau, c'est-à-dire si le sol est gorgé et cela peut être le cas des sols sur argiles proches.

Pendant la saison estivale les réserves d'eau disparaissent dans les horizons supérieurs et moyens du sol soit par évaporation, soit simplement par suite de la consommation de la couverture végétale. Il ne reste que l'humidité profonde et celle-là :

1. ne doit pas être trop éloignée de la surface du sol, sinon le système racinaire n'aura pas la possibilité d'aller l'y chercher.

On touche ici le problème de l'adaptation des essences à croissance rapide aux sols de Mamora et on conçoit qu'une essence dont la croissance est très rapide sera capable de s'accommoder de sables profonds.

2. doit être pérenne. Une pente forte accentuera le drainage de l'eau profonde à travers les sables qui ne peuvent la retenir.

Ce schéma explique que l'adaptation écologique des essences forestières en Mamora soit relativement simple sur le principe, tout en aboutissant à une mosaïque de répartition des vocations des sols dans l'espace. Il ne faut pas s'étonner, en tous cas, que ces adaptations ne dépendent en aucune façon des caractères chimiques du sol dont la marge de variation est beaucoup trop faible en regard de celle du régime hydrique.

b) Limites d'adaptation du Pin maritime dans les sols de Mamora.

1. Dans la gamme des pentes topographiques couramment rencontrées, c'est-à-dire inférieures à 6 %, le Pin maritime vient bien dans tous les sols dont la couverture sableuse est comprise entre 1,40 et trois mètres d'épaisseur.

2. Le Pin maritime est plus particulièrement adapté aux recouvrements de sables rouges où il donne les meilleurs résultats. Quand ces sables titrent 7 à 10 pour cent d'argile, leur présence à moins de trois mètres de profondeur supplée à l'absence d'argile pour assurer le succès de la plantation grâce à une meilleure rétention du sol.

Au voisinage de la norme de profondeur critique de trois mètres pour l'argile ou le sable argileux, il existe une certaine marge de variations qui permet de planter le Pin maritime sur des sols dont la couverture sableuse atteint 3,20 m pourvu que leur situation topographique leur assure une alimentation hydrique plus favorable : il s'agit de stations dominées par un bassin versant important. (Il paraît difficile de les détecter sans études précises). Au contraire, dans des positions topographiques très drainantes, il faut s'attendre à avoir de moins beaux arbres, même sur sables moins épais que trois mètres.

3. Les sols à nappe phréatique temporaire hivernale sont à déconseiller, en particulier si le plancher argileux est à moins de 1,30 m de profondeur et si les risques d'engorgement sont grands (absence de pente). Ces sols sont difficilement détectables. On peut les localiser :

— dans certains bas-fonds ou dans certaines zones de faible pente, inférieure à 3 %.

— grâce à quelques espèces botaniques indicatrices :

Pirus mamorensis

Scirpus holoschenus

Imperata cylindrica

Panicum repens

Aristida tunetana

— avec plus de sécurité, *par des sondages effectués dans les zones douteuses, en février de l'année qui précède la plantation.*

4. Dans les sables dont l'épaisseur atteint 2,50 m, la nappe semblerait moins dangereuse et pourrait même devenir un facteur favorable, dans la mesure où elle persiste l'été et où son battement est faible.

5. Les sols peu épais, dans lesquels la couverture sableuse n'excède pas 1,40 m d'épaisseur, ne conviennent sans doute *que si la plantation est faite à écartement plus large ou, en tous cas, si un rythme poussé d'éclaircie y est pratiqué.* En Mamora centrale ces sols sont à rejeter.

En effet, très souvent dans ces conditions, l'éclaircie naturelle sévère, peut aller jusqu'à la disparition totale des arbres parvenus à 7 ans, dans des plantations à 3 m × 3 m *malgré une croissance très rapide dans les premières années après la plantation.*

6. *Dans tous les cas*, et en particulier dans les sols peu épais — comme il vient d'être dit — la croissance des arbres, plantés à 3 m × 3 m, diminue fortement, semble-t-il, à partir de la huitième ou neuvième année, tandis que l'éclaircie naturelle s'accroît au profit des arbres les plus vigoureux.

Il est donc certain que *l'avenir du matériel restant sur pied dépendra de la conduite des peuplements, et donc exclusivement du régime des éclaircies.*

L'éclaircie artificielle doit être d'autant plus forte, voire même plus précoce, que l'on se trouve :

- sur sables peu épais ;
- en position fortement drainée (haut de bassins versants).

Seule la pratique pourra permettre de définir l'intensité et le rythme de l'éclaircie en fonction :

- des conditions édaphiques ci-dessus,
- de l'écartement initial,
- des produits escomptés en quantité et en qualité.

Il faudrait donc prévoir, dès maintenant, dans les plantations futures, des surfaces et des types d'écartements qui permettront d'expérimenter les méthodes d'éclaircie, en particulier si on désire du bois de sciage.

On peut prévoir des plantations allant de 750 à 1 111 arbres à l'hectare, les plantations de 550 arbres à l'hectare existant déjà à Daya Zader (espacement 3 m × 6 m avec intercalation de Chênes-lièges).

7. Les entretiens ne demandent pas à être poursuivis au-delà de deux à trois ans, et doivent avoir lieu en fin de saison des pluies (mars-avril).

Les entretiens en été sont inutiles.

En effet, dans tous les cas étudiés la réussite était inscrite à l'avance dans le cadre édaphique préexistant ; la concurrence herbacée ne peut en conséquence jouer que dans la mesure où le système racinaire profond du pin n'est pas encore installé.

Le terrain doit donc être *entièrement débarrassé de toutes espèces ligneuses* avant la plantation.

8. Le Pin maritime ne doit pas être planté à moins de vingt mètres de plantations d'Eucalyptus. Ainsi, l'utilisation de cette dernière essence en mélange, en brise-vent, ou clôture de parcelle, est à proscrire. Les pare-feux nécessaires tiendront compte de ce qui précède. Cette règle découle des observations faites dans les boisements mixtes Eucalyptus, Pins maritimes, ou plus simplement dans les boisements purs, à leur lisière commune. Dans ces cas la concurrence de l'Eucalyptus se fait sentir jusqu'à une vingtaine de mètres et finit par faire disparaître le Pin (voir cliché n° 5).

Dans la pratique, il faut insister sur la nécessité d'une étude préalable des sols avant toutes plantations ; le moment le plus opportun pour l'exécuter se situe certainement dans le courant de l'hiver de l'année qui précède :

- pour détecter facilement la présence de nappes importantes,
- pour éviter l'éboulement du sable sec dans les sondages, et permettre de faire ceux-ci jusqu'à trois mètres dans les sables épais.

c) *La place du Pin maritime en Mamora.*

On constatera que le pin maritime est une essence complémentaire du Chêne-liège en ce qui concerne l'utilisation des sols de Mamora dont l'épaisseur est comprise entre 2 et 3 m (cf. LEPOUTRE 1967). C'est dire qu'il peut déjà occuper une bonne partie des vides naturels de la subéraie quand ceux-ci correspondent à des sables profonds. Il pourra également remplacer le Chêne-liège là où la subéraie existe encore mais où nous savons, (cf. LEPOUTRE 1967) qu'il sera impossible de l'y réinstaller. Ainsi, des subéraies de Mamora occidentale, dont l'ensouchement est compris entre 100 et 200 souches/hectare, sont en général vouées à disparaître car les coupes successives provoquent un appauvrissement progressif de l'ensouchement et aucun moyen artificiel ne permet de pallier l'absence de régénération naturelle. Ce type de boisement naturel est donc appelé à être remplacé par du Pin maritime lorsqu'il n'atteindra plus le seuil de rentabilité suffisante.

En Mamora centrale et orientale la place du Pin maritime risque d'être aussi vaste sur tous les sables profonds de la basse Mamora ou sur les terrasses sableuses qui longent les oueds en haute Mamora.

On remarquera que l'extension de ce résineux ne risque pas de se faire au détriment du Chêne-liège car il va, dans la majorité des cas, occuper des sols qui, non seulement ne conviennent pas au Chêne-liège, mais encore, des sols où celui-ci est en voie de disparaître.

Dans la pratique, il faut insister sur la nécessité d'une étude préalable des sols pour déterminer *exactement* les chances de succès. Ce sera le premier stade de l'application. En fait, ce premier stade a déjà été abordé et la méthode de cartographie des vocations forestières est dès à présent mise au point grâce à l'interprétation de la couverture photographique aérienne et à l'observation du milieu végétal complet, y compris la subé-
raie. Cette méthode cartographique fera l'objet d'une note ultérieure.

Ayant déterminé ainsi les limites à l'intérieur desquelles il est possible de reboiser à l'aide du Pin maritime, il deviendra rapidement indispensable, à un deuxième stade, de rechercher une amélioration des rendements. On a vu que les méthodes de sylviculture peuvent y parvenir mais il n'est pas impossible non plus que l'utilisation d'engrais ne puisse être envisagée avec profit.

Trois caractères fondamentaux du milieu détermineront les possibilités d'utilisation des engrais :

— *La pauvreté du sol* qui, à priori, doit, permettre facilement d'obtenir des effets significatifs à partir d'engrais simples ou complets.

— *Le drainage excessif du sol*, soit vertical dans les sables, soit latéral suivant la pente. Cet inconvénient nécessitera des mises au point précises de méthodes d'épandage. Il est même possible que certains sols ne puissent recevoir d'engrais (solubles en particulier).

Enfin *le régime des pluies* peut transformer considérablement, annuler ou rendre néfaste l'effet d'une fumure minérale si celle-ci est appliquée à contre-temps, ou si la pluviométrie est insuffisante.

On voit que cette mise au point est délicate dans des sols qui s'opposent aussi peu aux mouvements de l'eau. Il faut donc prévoir une longue mise au point et aborder le problème dès à présent, en fonction du sol, de l'âge des plantations, et du rythme saisonnier des précipitations.

A plus longue échéance, il faudra encore envisager l'étude du contrôle de la fertilité, car les pins, puisant l'essentiel des éléments fertilisants dans les sables et à la surface de l'argile, il serait logique de prévoir une baisse de la fertilité du sol après une ou plusieurs rotations.



CLICHÉ N° 8 - S.R.F.

L'épaisseur critique de 2 m de sable est parfaitement accusée par les Pins d'Alep. A droite très bonne venue ; à gauche du personnage échec ou Pins rabougris.
Au premier plan le Chêne-Liège reste rabougris lui aussi malgré ses huit années.

— III —

ÉCOLOGIE DU PIN D'ALEP (*Pinus halepensis*)
DANS LES SOLS DE LA FORÊT DE LA MAMORA

1. JEUNES PLANTATIONS

A. Mamora occidentale

Les jeunes plantations de Pins d'Alep couvrent peu de surface en Mamora occidentale et les résultats que nous pouvons donner ici ont trait à des observations éparses qui ont rarement pu être exploitées sur un plan statistique.

En passant successivement en revue les divers essais récents de plantation de Pins d'Alep en Mamora occidentale nous pouvons énumérer les observations suivantes :

- a) *Dans la parcelle A.IV.5* quelques Pins d'Alep ont été plantés dans des sables profonds de 3,70 m d'épaisseur. Ces pins à l'âge de 3 ans et demi (inventaire 1963) mesurent 1,29 à 1,34 m de hauteur contre 2,50 m pour le Pin maritime placé dans les mêmes conditions.
- b) *Dans la parcelle A.VI.2* sous-parcelle a, on peut se rendre compte sur la figure 3 que les conditions de croissance du Pin d'Alep, tout au moins dans son jeune âge (jusqu'à 6 ans dans le cas présent) sont sensiblement analogues à celles du Pin maritime et celles du Pin pignon, *pourvu que l'épaisseur des sables au-dessus de l'argile de Mamora ne dépasse pas deux mètres quarante*. A partir de cette épaisseur on assiste à une chute brutale de la courbe de croissance. On verra plus loin que dans d'autres cas ce rachitisme peut apparaître dès que l'argile de Mamora est à plus de *deux mètres* au-dessous de la surface du sol.

Sur le même graphique de la figure 3 on constatera (voir aussi la carte publiée dans notre étude sur le Chêne-liège cf. LÉPOUTRE 1967), que le *Pin d'Alep* ne tolère pas la présence d'une nappe phréatique en profondeur. C'est un point qui se confirme également dans la parcelle B.II.1 (voir cliché n° 7) où la nappe se situe pourtant à trois mètres de profondeur mais où le pin a pratiquement disparu.

Les résultats des parcelles A.IV.5 et A.VI.2 a, se confirment également sur la parcelle B.V.3 près du poste de Mechra El Kettane le long de l'Oued Foui.

B. Mamora centrale

En Mamora centrale, le Pin d'Alep a été étudié dans les parcelles C.II.9, C.II.13, C.II.15, au lieu dit Carrefour Bastide.

Dans ces trois parcelles, il nous a servi de guide dans la recherche des conditions écologiques de réussite du semis de Chêne-liège (LÉPOUTRE 1967)). C'est dire, déjà, que les exigences de leurs essences paraissent très voisines.

La figure 6 met bien en évidence cette première constatation. Nous y avons comparé des Pins et des Chênes de quatre ans, chaque couple d'essence étant au même emplacement donc *exactement* dans les mêmes conditions de sols et de topographie (à 1 m près).

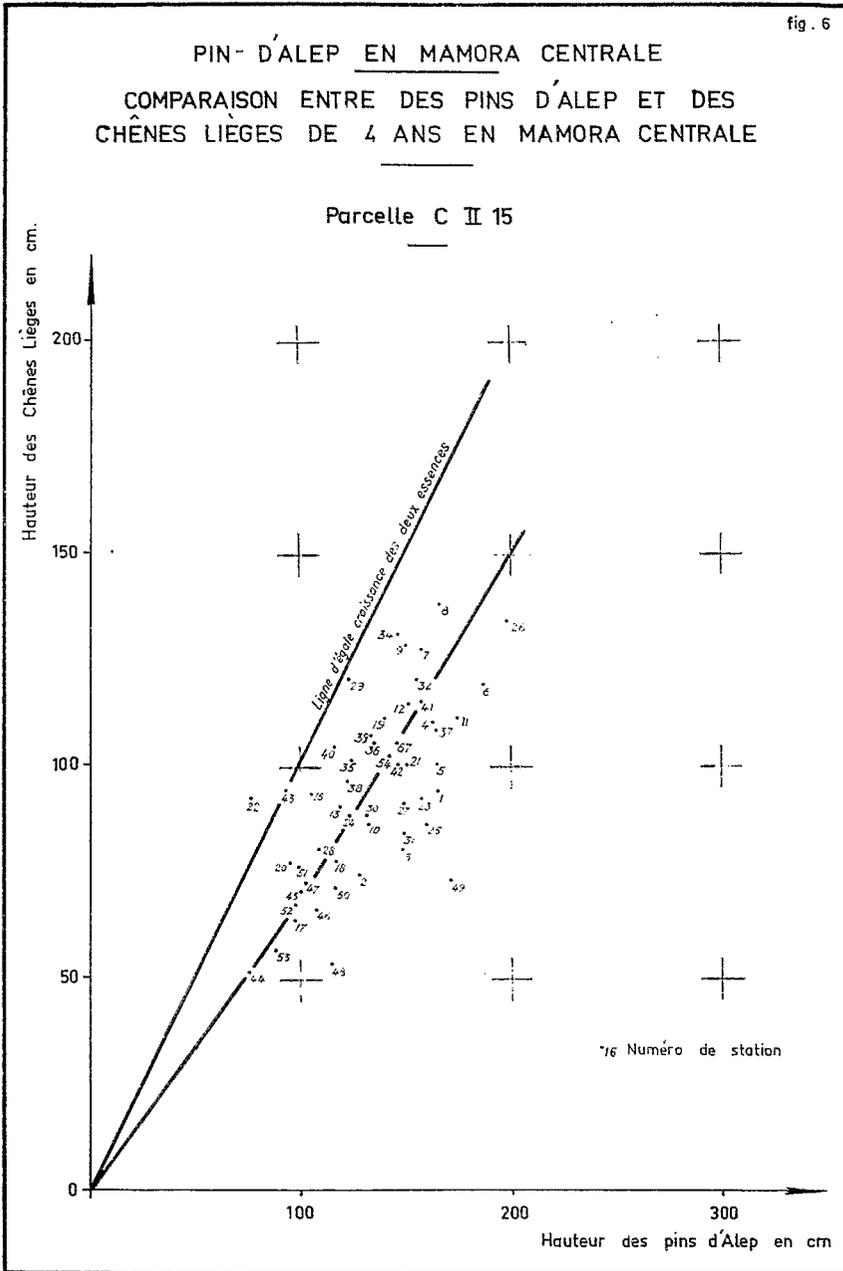
On remarquera que, tout en se comportant d'une façon analogue, le *Pin d'Alep* a cependant une croissance légèrement supérieure à celle du *Chêne-liège*.

Au vu de cette relation, il est alors très facile de prévoir que le Pin d'Alep aura en Mamora une écologie très voisine de celle du Chêne-liège. Entre autres règles, on peut avancer que *là où le Chêne-liège disparaît le Pin reste rachitique et, inversement, là où le Chêne-liège est vigoureux, le Pin l'est aussi*. Dans la réalité, cette règle se confirme parfaitement sur le terrain.

L'identité de comportement des deux essences nous a incité à tenter la réalisation d'une abaque analogue à celle qui avait été établie pour le Chêne-liège, en fonction de la pente et de l'épaisseur des sables.

Soit que les mesures sont trop imparfaites, soit que le Pin d'Alep puisse présenter certaine plasticité, les limites d'une telle abaque sont imprécises

fig. 6



et il ne s'en dégage finalement que des données essentielles (voir figure 7) qui sont les suivantes :

- a) Lorsque les sables ont plus de 2 mètres d'épaisseur les échecs sont le cas général.
- b) Entre 1,50 m et 2 m de sables les croissances sont nettement plus fortes mais encore médiocres.
- c) Quand les sables ont moins de 1,50 m d'épaisseur, les croissances sont bonnes et comprises entre 2 m et 2,50 m à l'âge de quatre ans.

Dans cette catégorie de sols, ceux qui ont les pentes les plus fortes portent généralement les arbres les plus vigoureux.

- d) Enfin, le Pin d'Alep paraît très sensible à l'absence de pente susceptible de provoquer des engorgements du sol.

Ce dernier comportement se vérifie dans le fond des vallons d'écoulement des eaux, où tous les arbres disparaissent et sur les replats où il est possible de contrôler l'existence d'une nappe phréatique temporairement perchée sur l'argile (voir fig. 8).

Il s'est vérifié d'une façon encore plus nette dans le courant de l'été 1967 après une année météorologique particulièrement défavorable.

En effet, dans le courant de cet été, nous avons vu disparaître tous les Pins d'Alep installés sur les sols de faible pente et dans lesquels nous avons constaté un certain engorgement en profondeur. La carte de cet engorgement avait été dressée au 1/2 000 et, aujourd'hui, elle fournit très exactement les limites entre zones de mortalité et de réussite du Pin d'Alep.

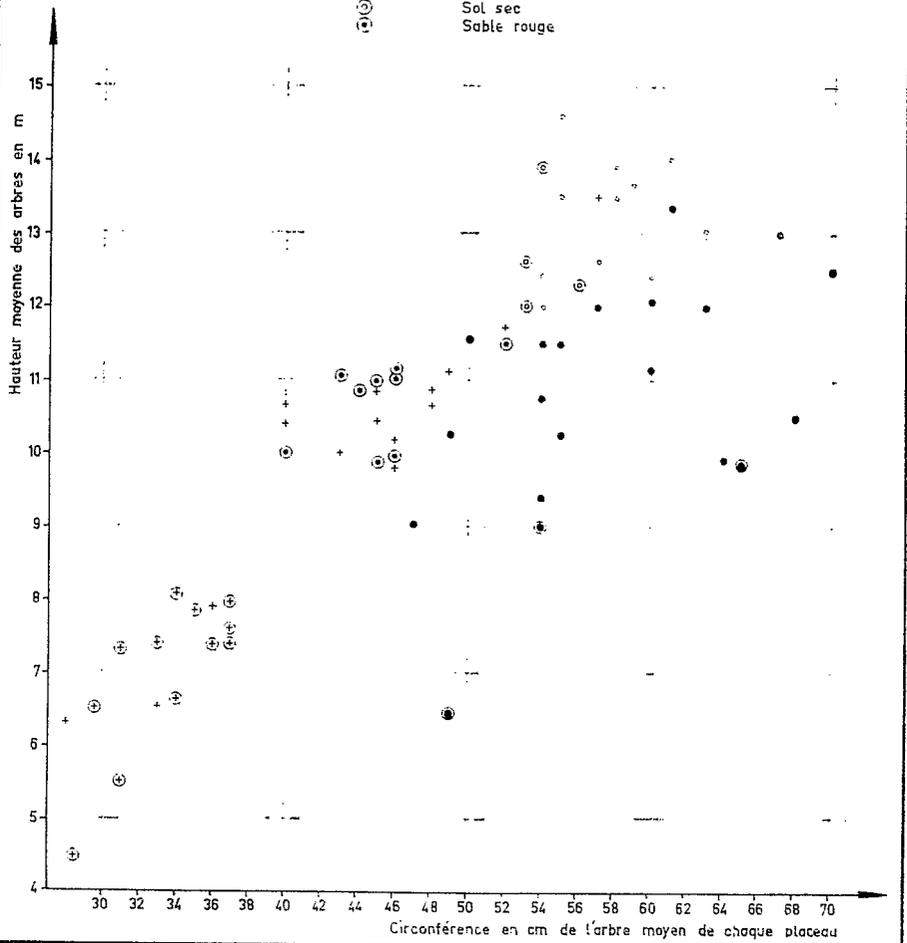
Par ailleurs, il est aussi très significatif, en octobre et avant toutes précipitations nouvelles, de trouver la surface de l'argile de Mamora humide là où les Pins sont morts, et sèche, au contraire, là où les Pins sont vivants. Ceci prouve bien que l'enracinement dans l'argile n'a sans doute pas été suffisant dans les sols où l'engorgement hivernal y fait obstacle. C'est l'explication maintenant certaine qu'il faut aussi donner à l'élargissement des taches de mortalité autour des sols où l'hydromorphie avait, dès le début, interdit toute installation du Pin d'Alep. Il se confirme ainsi la notion qui avait été pressentie dès le début de nos recherches en Marora et suivant laquelle le Pin d'Alep réussit d'autant mieux que le sol est drainé, voire sec.

Le Chêne-liège se comporte de la même façon et, finalement, il n'est plus étonnant de voir les deux essences subsister sur tous les sols en pente et disparaître au contraire sur les replats. Cette existence des deux essences

INFLUENCE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE SUR LA
CROISSANCE DU PIN D'ALEP
COMPARAISON AVEC LE PIN MARITIME ET LE
PIN DES CANARIES

Parcelles : B53 plantée en 1947
B52 plantée en 1948
Inventaire de 1966

- Pinus Pinaster
- + Pinus Halepensis
- Pinus Canariensis
- ⊕ Nappe
- ⊙ Sol sec
- ⊗ Sable rouge



n'est d'ailleurs pas exempte d'inconvénients, et il n'est pas rare de voir des Chênes-lièges morts lorsque les Pins d'Alep prennent trop de développement. Contrairement au Pin maritime, on constate donc, dès maintenant, que le Pin d'Alep n'est absolument pas complémentaire du Chêne-liège pour l'utilisation des sols de la Mamora.

C. Mamora orientale

Dans la parcelle D.II.7 d'Aïn Assou, un petit essai de Pin d'Alep sur terrain plat avec 1,80 m de sables et nappe perchée hivernale vient confirmer les résultats précédents puisque *Pinus halepensis* y a complètement disparu.

Enfin, dans la parcelle D.II.5 il est intéressant de constater que les plantations de Pin d'Alep faites en 1951-52 ont totalement disparu sur des sols constitués par un recouvrement d'un mètre de sables sur l'argile, mais avec une pente inférieure à 3 %. Seule une station de quelques ares, la seule de la parcelle où la pente atteint 5 %, porte de très beaux Pins !

Sans disposer de nombreuses observations les recouvrements que nous pouvons faire montrent donc que le jeune Pin d'Alep est extrêmement sensible à l'engorgement du sol ; par voie de conséquence il fuit les sols plats et vient d'autant mieux que la pente est plus forte. Enfin sa croissance laisse à désirer, ou son maintien devient difficile sur sables profonds de plus de deux mètres, surtout si ceux-ci sont en pente.

Il faut noter ici qu'un essai de Pin Brutia a été fait en Mamora occidentale dans la parcelle A.IV.5. Il s'est trouvé que la plantation a été assise sur sables très profonds (plus de 4 m). De ce fait sans doute, il s'est soldé par un échec complet.

2. ANCIENNES PLANTATIONS

A. Mamora occidentale

a) Données générales.

Les plantations de Pins d'Alep ont été faites essentiellement dans le canton B, autour du poste de Mechra El Kettane dans les parcelles :

B.IV.14	en 1952-53
B.V.3	en 1947-48
B.V.2	en 1948-49

Ces trois parcelles sont plantées à 3 m × 3 m.

Dans toutes les parcelles, les sols sont constitués par des sables d'épaisseur variable recouvrant l'argile, dite de Mamora, en profondeur (voir généralités, p. 33). En certains endroits la pente étant nulle ou la topographie étant dépressionnaire, une nappe phréatique perchée peut se constituer temporairement.

Les surfaces plantées sont trop peu importantes pour que l'on puisse exploiter les relations sol-plantation d'un point de vue statistique. Par contre, la proximité des plantations de Pins maritimes (voir page 52) permet de comparer la réussite des deux essences dans les mêmes conditions de sol.

b) *Résultats d'inventaires.*

Nous donnons ci-dessous quelques chiffres d'inventaires :

On pourra comparer les résultats de ces tableaux avec ceux concernant le Pin maritime (voir page 52) et on constatera que le Pin d'Alep ne peut être compétitif avec le Pin maritime en Mamora occidental (1).

Les résultats montrent en tous cas que le *plus mauvais comportement du Pin d'Alep se situe dans les sables profonds*, et que l'éclaircie naturelle ne modifie en rien ce comportement. C'est une confirmation de ce que nous avons constaté dans l'étude des jeunes peuplements.

Enfin, à titre de comparaison on peut encore donner quelques résultats concernant l'adaptation du Pin d'Alep et du Pin maritime dans des conditions de sol sensiblement identiques, les mesures ayant été faites à 6 m de distance l'une de l'autre sur pente inférieure à 3 %.

(1) Nos récents travaux de cartographie ont cependant montré que certains secteurs où l'argile de Mamora est proche peuvent être à vocation de Pin d'Alep. Les sols sont peu nombreux et se situent en Mamora centrale ou orientale.

Caractéristiques des Pins d'Alep en Mamora occidentale

Epaisseur des sables en mètres	0,50 à 1,20			1,25 à 1,70			1,75 à 2,30											
	0 à 25	25 à 50	50 à 75	0 à 25	25 à 50	50 à 75	0 à 25	25 à 50	50 à 75									
Hauteur en m	H	C	H	C	H	C	H	C	H	C								
Circonférence en cm ..	H	C	H	C	H	C	H	C	H	C								
B.V.2 : 19 ans	9,5	44,1	—	—	—	—	7,6	33,5	10,4	45,0	4,4	27,5	8,6	38,0	7,0	33,7	5,5	32,5
B.V.3 : 18 ans	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,5	42,7	7,8	36,5	6,5	30,0
B.IV.14 : 13 ans	—	—	—	—	—	—	9,5	40,8	6,7	32,0	6,1	34,0	—	—	—	—	—	—

NOTA. - L'éclaircie est naturelle.
- Ces moyennes proviennent d'échantillonnage dont l'importance varie entre 16 et 144 arbres, ce qui explique en partie les incohérences.

Plantation de 18 ans et demi — Parcelle B.V.3., carreau 47-05-6

Description des profils de sol

0	0	0	0
Sable beige	Sable beige	Sable beige	Sable beige
	225		180
	Sable rouge	230	Sable rouge
	245	Sable rouge	250
260		260	
Sable rouge		Sable rouge très argileux	Sable rouge très argileux
270	Sable rouge très argileux		Sable rouge très argileux
Sable rouge très argileux			
Réussite du <i>P. pinaster</i>	Réussite du <i>P. halepensis</i>	Réussite du <i>P. halepensis</i>	Réussite du <i>P. pinaster</i>
H = 13,60 m	H = 10,65 m	H = 10,05 m	H = 12,40 m
C = 63 cm	C = 40 cm	C = 40 cm	C = 60 cm

Dans ces mêmes parcelles et carreaux de plantation, on notera que des Pins maritimes isolés au milieu des Pins d'Alep ont le développement et ont gardé le port d'arbres isolés. Ceci nous démontre qu'il n'existe pas, ou qu'il existe peu, de concurrence entre les deux essences ; pour ce faire il faut conclure que les systèmes radiculaires sont eux-mêmes très différemment localisés.

Nous avons pu constater que l'enracinement du Pin maritime est essentiellement localisé dans les sables tandis que celui du pin d'Alep descend en profondeur dans la formation argileuse rouge de Mamora.

c) Parcelle B.V.3 (1947) : rôle de la nappe phréatique perchée.

Dans cette parcelle, la pente peut atteindre 5,5 à 6 % mais elle est dans la plupart des cas inférieure à 4 %. Dans cette gamme de variation de la déclivité du terrain, il n'y a pas corrélation entre la réussite des arbres à 19 ans et la pente, mais, par contre, il est possible de mettre en évidence le rôle dépressif de la nappe phréatique hivernale quand celle-ci existe. Chaque fois que nous avons trouvé des sables gorgés d'eau au-dessus de l'argile de Mamora en hiver nous avons donné un signe particulier au

point d'inventaire. Les résultats sont consignés dans la figure 11 où on constatera aussi et à l'inverse, que les sols particulièrement secs à l'époque des mesures donnent des résultats parmi les meilleurs.

B. Mamora centrale

a) Parcelle C.III.10 (1941-42).

Cette parcelle est mentionnée pour mémoire car une éclaircie y a été faite dans le boisement de Pin d'Alep et les arbres ne peuvent en conséquence être comparés à ceux des autres parcelles. Il est intéressant d'y noter cependant le format des Pins sur des sols dans lesquels l'argile de Mamora n'est jamais à plus de 1,40 m et toujours à moins de 2 m.

Age des arbres	Hauteur (m)	Circonférence (cm)
24 ans	10,00	48
	10,60	39

Comme pour le Pin maritime, il y a peu de différences de croissance entre les parcelles du canton B (Mechra El Kettane) et celle-ci. Il ne semble donc pas y avoir encore d'influence du gradient climatique.

b) Parcelles C. II. 15 (s/p. 29) C. II. 16 (s/p. 12) D. VI. 16

Toutes ces parcelles sont à la même distance de l'océan (32 km). Elles ont été plantées entre 1941 et 1943 à 3 m × 3 m. Leur âge est donc compris entre 24 et 26 ans.

La figure 9 donne un aperçu des croissances en hauteur et en circonférence en fonction de la densité du boisement et des types de sols.

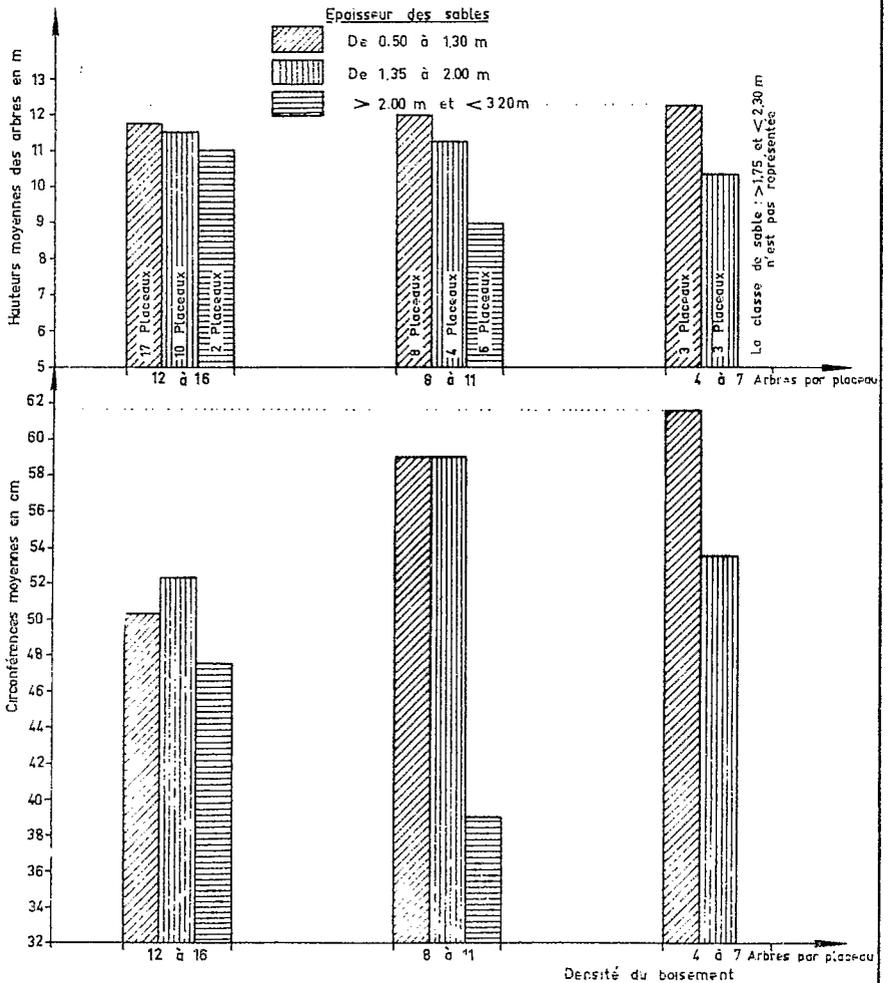
— Croissance en hauteur.

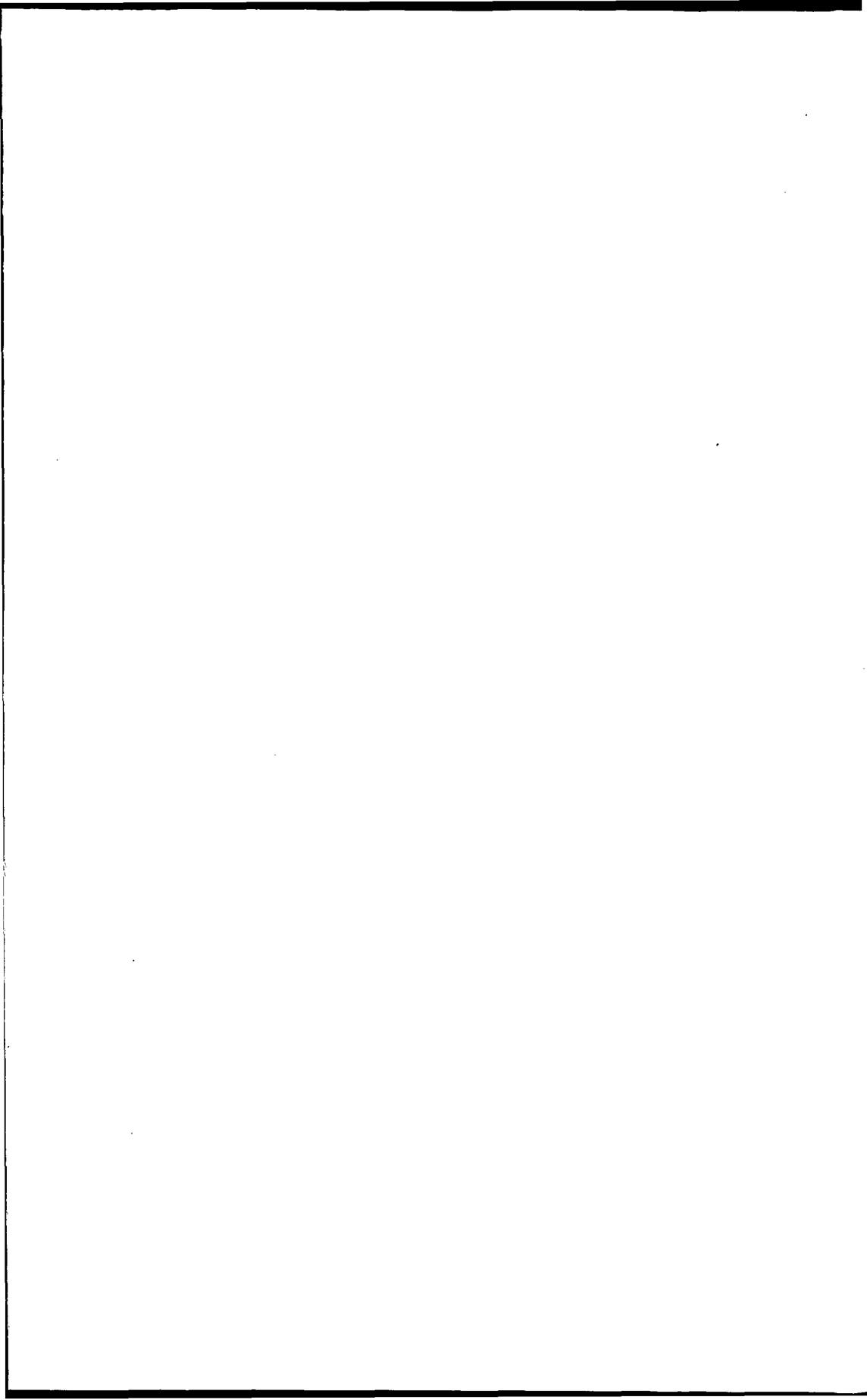
On constate que les hauteurs sont d'autant plus grandes que les argiles sont proches, et ceci, quelle que soit la densité du boisement ; il s'agit toujours ici de densité résultant de l'éclaircie naturelle. En même temps,

VARIATIONS DES HAUTEURS ET DES CIRCONFÉRENCES MOYENNES
DES PINS D'ALEP ÂGÉS DE 25 ANS,
EN FONCTION DE LA NATURE DU SOL (ÉPAISSEUR DES SABLES)
ET DE LA DENSITÉ DU BOISEMENT

Parcelles : C II 15 — 1943-44 ?
C II 16 — 1942-43 ?
C II 16 — 1941-42 ?
D VI 16 — 1941-42 ?

LE PLACEAU D'INVENTAIRE REPRÉSENTE UNE SURFACE
DE 144 M² ET COMPORTE 16 EMPLACEMENTS DE PLANTATION



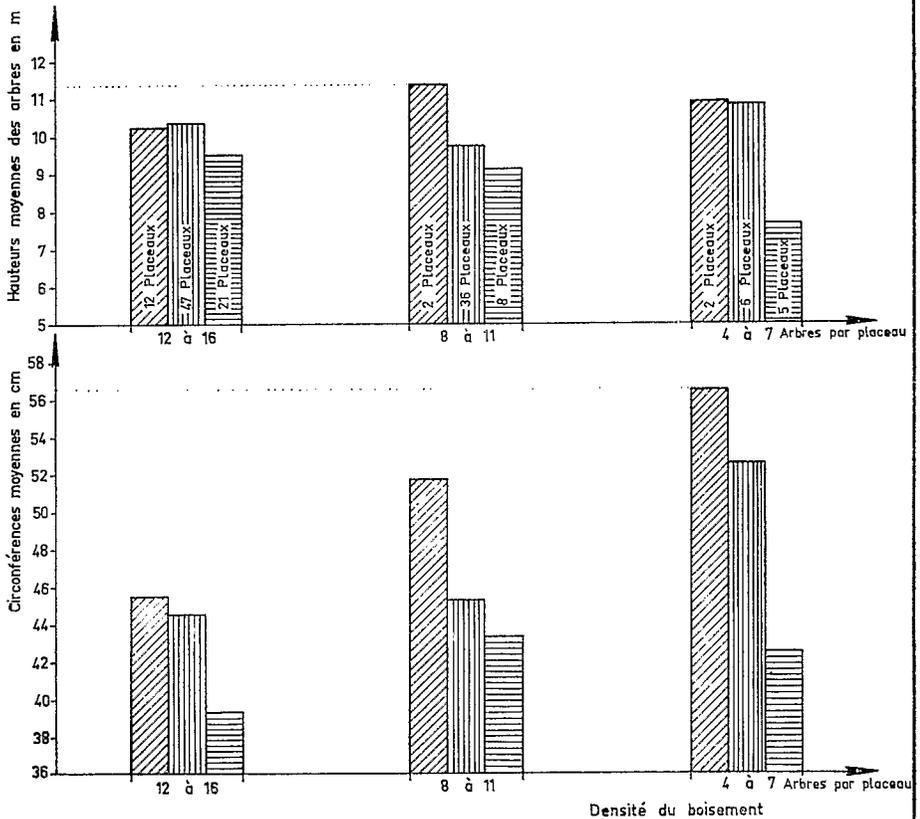


VARIATIONS DES HAUTEURS ET DES CIRCONFÉRENCES MOYENNES
DES PINS D'ALEP AGÉS DE 20, 21 ET 22 ANS
EN FONCTION DE LA NATURE DU SOL (ÉPAISSEUR DES SABLES)
ET DE LA DENSITÉ DU BOISEMENT

Parcelles :
E.V. 12 - 1945-46
E.V. 12 - 1945-46
E.V. 12 - 1946-47
E.V. 13 - 1947-48

LE PLACEAU D'INVENTAIRE REPRÉSENTE UNE SURFACE
DE 144 M² ET COMPORTE 16 EMPLACEMENTS DE PLANTATION

Épaisseur des sables
 De 0.50 à 1.30 m
 De 1.35 à 2.00 m
 > 2.00 m et < 3.20 m



on observera que la concurrence ne semble pas influencer beaucoup la croissance, contrairement à ce qui a été observé pour le pin maritime (voir p. 49).

Enfin les sables profonds semblent avoir un effet dépressif à partir de 1,70 m ; effet d'autant plus certain d'ailleurs, qu'il n'est pas modifié par la densité du peuplement.

c) *Croissance en circonférence.*

Les circonférences sont visiblement plus fortes lorsque l'argile de Mamora est proche, et plus faible quand celle-ci est recouverte de fortes épaisseurs de sables. La densité semble influencer la croissance elle aussi, dans le sens d'un accroissement des circonférences avec l'éclaircie du boisement.

C. Mamora orientale

<i>Parcelles E.V.12 s/p.</i>	EU.SE 1 a	(1945-46)
	EU.SE 1 b	(1945-46)
	Carreau 32	(1946-47)
<i>E.V.13</i>	Carreau 47-12	(1947-48)

Ces parcelles sont situées à 50 km de l'océan dans les cantons les plus orientaux de la Mamora.

La figure 10 montre les résultats de l'inventaire des arbres et des sols.

a) *Croissance en hauteur.*

On constate d'abord que les croissances sont souvent plus fortes sur argiles proches mais surtout que les sables épais ont un effet nettement dépressif quelle que soit la densité du boisement. En particulier on pourra constater que les arbres sont les plus courts là où les couvertures sableuses sont les plus épaisses, et ceci, même dans le cas où les densités sont faibles. Il y a donc ici une nouvelle confirmation de l'effet dépressif des sables profonds sur la croissance du Pin d'Alep en Mamora.

b) *Croissance en circonférence.*

Les résultats de la figure 7 sont très explicites à ce sujet. On constate qu'à densité égale, ce sont toujours les argiles proches qui portent les arbres dont la croissance est la meilleure.

Néanmoins, cette croissance va en s'accroissant au fur et à mesure que la densité des arbres diminue, tout au moins pour les classes de sols à couverture sableuse moyennement ou faiblement épaisse.

En résumé, les rendements sont de toutes façons plus forts pour les placeaux qui portent le plus d'arbres.

Enfin, pour les sols profonds il est certain que la faible densité naturelle du peuplement n'est que la conséquence des mauvaises conditions de sol et de l'effet dépressif des sables épais.

c) *Influence de la nappe phréatique perchée hivernale.*

La parcelle E.V.12 nous donne l'occasion de vérifier une fois encore les conclusions déjà tirées en Mamora occidentale concernant l'influence de l'engorgement du sol au niveau des horizons sableux qui surmontent l'argile de Mamora.

La figure 11 donne une répartition frappante du format des arbres à l'âge de 20 ans et en fonction de l'humidité du sol à la sortie de l'hiver.

On constate l'effet dépressif de la nappe et, au contraire, l'effet favorable des sols drainés. On notera que les sols sont très semblables sur toute la parcelle : l'épaisseur de la couverture sableuse varie entre 130 cm et 170 cm tandis que les pentes sont toujours inférieures à 3 % et le plus souvent à 2 %. De ce fait il faut donc souligner l'impossibilité de détecter, à priori, les sols où la stagnation temporaire se produit en profondeur. Cette stagnation est la résultante de la microtopographie souterraine de la surface de l'argile de Mamora, mais, sans doute aussi, de sa perméabilité. Des recherches dans ce sens seraient sans doute inutiles car elles ne trouveraient de toutes façons aucune application pratique. Seule la végétation naturelle peut nous orienter sur la plus ou moins grande permanence des conditions d'humidité du sol en hiver (cf. LÉPOUTRE 1967).

d) *Parcelle D.III.1.*

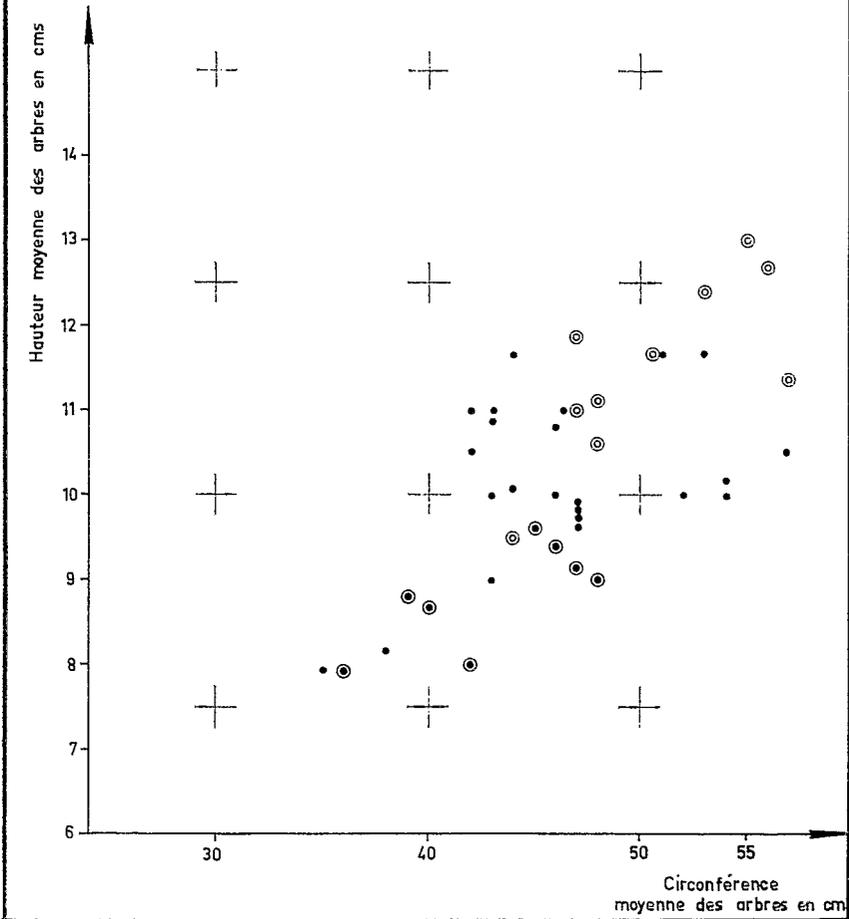
Dans cette parcelle, située à côté du poste forestier d'Aïn Assou, nous assistons à l'échec du Pin d'Alep sur les pentes sableuses qui longent l'oued Tourza. C'est cet échec qu'il est intéressant d'étudier, car nous savons déjà que pour des pentes faibles à nulles le Pin d'Alep accuse fortement l'effet dépressif des épaisseurs de sables de l'ordre de 2 mètres.

fig. 11

INFLUENCE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE SUR LA
CROISSANCE DU PIN D'ALEP EN MAMORA ORIENTALE

(Plantation de 9 ans) Parcelle E V 12

- ⊙ Légère nappe (les 3 et 4 - II - 1966)
- ⊗ Argile plus ou moins sèche
- Sol humide



La limite critique de réussite est donnée par les valeurs suivantes d'épaisseurs des sables :

Pentes %	3,5	5	10,5	11	14	16,5	17	20
Réussite	180	160	—	155	—	130	—	—
Echec	—	—	160	190	170	—	140	130

Ces valeurs montrent une adaptation du Pin d'Alep aux fortes épaisseurs de sable, légèrement meilleure que celle du Chêne-liège. Il n'a pas été possible de vérifier cette limite avec plus de précision faute de matériel d'étude.

3. CONCLUSIONS

a) *Caractéristiques écologiques du Pin d'Alep.*

Le Pin d'Alep éprouve, avant tout, des difficultés d'installation sur des sols dont l'épaisseur du recouvrement sableux approche ou dépasse 2 m avec une pente faible, ou 1,70 m à partir de 7 à 8 pour cent de pente. Dans ce comportement il faut voir vraisemblablement une inadaptation aux milieux sableux et sans doute aussi une vitesse de croissance du système racinaire relativement lente.

Le Pin d'Alep montre également une grande sensibilité à l'excès d'eau dans le sol dans le courant de l'hiver. L'engorgement du sol le fait disparaître partout où une nappe perchée se maintient à la surface de l'argile, et également sur les voies d'écoulement de l'eau le long des pentes. *Le Pin d'Alep sera donc à exclure de tous les thalwegs et de toutes les surfaces planes mal drainées.* Il ne nous est pas possible de chiffrer la durée critique d'engorgement, mais cette durée est sans aucun doute en liaison avec l'intensité ou la longueur de la saison sèche estivale. Les observations faites dans le courant de l'année 1967 ont bien montré cette étroite liaison qui existe entre les deux facteurs, puisque les Pins d'Alep achèvent de disparaître en bordure des zones de fort engorgement du sol. Il faut donc conclure dans ce domaine que *l'influence de l'engorgement du sol en hiver est d'autant plus néfaste que la pluviométrie sera anormalement basse ou la saison sèche anormalement longue.*

La raison de cette sensibilité du Pin d'Alep réside dans l'impérieuse nécessité pour l'arbre, d'accéder par ses racines à la formation rouge argileuse de Mamora pour y puiser, durant l'été, les dernières réserves hydriques en eau du sol.

Faute de cette possibilité, l'arbre peut croître en année normale jusqu'à un certain stade de développement qui s'harmonise avec l'importance de l'enracinement dans la formation argileuse rouge de Mamora. Tôt ou tard cependant, à un stade plus avancé de développement ou à l'occasion d'une année particulièrement sèche (ou un peu plus sèche) les parties aériennes de l'arbre se trouveront déséquilibrées en importance par rapport à l'enracinement et donc par rapport aux possibilités d'alimentation en eau : ce déséquilibre entraînera la mort.

b) *Influence des facteurs biotiques.*

Si les conditions d'installation sont bonnes, couverture sableuse d'épaisseur moyenne et sol drainant, le Pin d'Alep croît normalement, semble-t-il, et peut atteindre jusqu'à 15 mètres à 24 ans dans les meilleures stations. Le caractère essentiel des boisements artificiels du Pin d'Alep dans ces conditions, réside dans leur homogénéité qui exclut une forte influence de l'environnement.

Contrairement à ce que nous avons constaté pour le Pin maritime, on n'assiste *jamais* à une éclaircie naturelle progressive au fur et à mesure du vieillissement ; les inventaires montrent cependant une nette augmentation des calibres lorsque le boisement est plus clair. La croissance est donc limitée par la densité du boisement tout au moins pour les sols peu épais ou moyennement épais (le cas des fortes couvertures sableuses est exclu du fait de son influence directe néfaste sur la croissance). On peut alors conclure que le *Pin d'Alep* manifeste une parfaite adaptation de croissance aux ressources en eau dont il dispose. C'est là une conclusion très importante qui explique à notre avis la large adaptation du Pin d'Alep aux bioclimats semi-arides et son comportement parfois meilleur que celui de certains Eucalyptus à croissance rapide au voisinage de l'isohyète annuel $P = 300$ mm.

Sur le plan pratique ce caractère simplifiera considérablement la conduite des boisements. Celui-ci pourra être calqué sur une sylviculture de climats tempérés avec pratique d'éclaircies artificielles, contrairement au Chêne-liège par exemple.

c) *Place du Pin d'Alep en Mamora.*

Des données précédentes, on peut facilement déduire que le Pin d'Alep a un enracinement profond qui s'établit dans l'argile, et c'est ce que montre l'étude directe. Dès lors, on ne peut s'étonner d'un comportement qui se rapproche beaucoup de celui du Chêne-liège, mais qui en diffère par un caractère beaucoup plus xérophile.

Il faut conclure en ce qui concerne le point de vue pratique du reboiseur que le Pin d'Alep n'est absolument pas une essence complémentaire du Chêne-liège en Mamora car, dans la plupart des cas, il ne peut que remplacer cette dernière essence là où celle-ci est en équilibre climacique. Il sera préférable d'utiliser le Pin d'Alep en Mamora orientale et centrale, là où les argiles sont trop proches pour espérer dans l'avenir des reboisements artificiels de Chênes-lièges et, aussi, pour convenir au Pin maritime.

— IV —

**POSSIBILITÉS D'UTILISATION COMPARÉES
DU PIN MARITIME ET DU PIN D'ALEP
DANS LES SOLS DE MAMORA**

Après avoir étudié le comportement des deux essences résineuses principales dans les reboisements artificiels de la forêt de la Mamora, il nous paraît intéressant de faire une récapitulation des résultats sous forme de comparaison, en ne tenant compte que de leurs caractères essentiels et dans le cadre écologique général.

I. Adaptation aux types de sols

En ce qui concerne les sols de la Mamora on peut avancer à présent que les deux Pins ont un comportement nettement différent.

a) *Le Pin maritime*, mieux adapté aux sables grâce à un système racinaire essentiellement fasciculé, est susceptible de croître sur des sols dans lesquels les horizons sableux dépourvus d'argile sont très épais, et peuvent atteindre 3,20. Il manifeste donc une certaine rusticité qui se traduit par des besoins en eau relativement modiques. Sur les sols dont la couverture sableuse est réduite à moins de 1,40 il croît très rapidement, mais le volume de sable exploré par les racines est trop faible et, très tôt, l'arbre ne peut plus satisfaire les besoins en eau qui correspondent à son minimum vital. Dès lors, la concurrence réciproque intervient pour réaliser un équilibre entre le couvert végétal et les réserves hydriques, en faisant disparaître progressivement les individus les plus faibles puis la totalité des arbres.

En ce qui concerne l'engorgement du sol, il semble que le Pin maritime y soit sensible lorsque le battement de la nappe est important ou dans le cas d'engorgement total.

b) *Le Pin d'Alep*, au contraire du Pin maritime, a un système racinaire profond qui pénètre dans l'argile. De ce fait il peut se contenter de sols beaucoup plus superficiels pourvu que ceux-ci ne soient pas engorgés

en hiver. Les réserves hydriques des argiles profondes étant par ailleurs beaucoup mieux protégées contre l'évaporation estivale, il apparaît que le Pin d'Alep arrive à trouver en toutes saisons les quantités d'eau qui correspondent à son minimum vital. Il faut cependant ajouter qu'à ces conditions édaphiques plus favorables à l'alimentation hydrique de l'arbre, celui-ci manifeste des caractères d'adaptation qui lui sont propres, et qu'on ne trouve pas chez le Pin maritime. Il est certain, en effet, que le *Pin d'Alep régularise son développement aérien en liaison étroite avec les réserves hydriques dont il dispose*. Il ne s'agit sans doute pas là d'une finalité proprement dite, mais sans doute, à notre avis, d'une limitation naturelle de la croissance des parties aériennes de l'arbre à des périodes de végétation, soit plus courtes dans l'année, soit moins intenses. Il est possible en particulier que l'humidité hivernale printanière du sol soit l'un de ces facteurs limitants puisque, de toute évidence, les *Pins d'Alep, en Mamora, sont d'autant plus vigoureux que la station sur laquelle ils croissent est plus sèche*. C'est le cas des stations sur pente forte en particulier.

En même temps, et toujours à l'inverse du Pin maritime on peut affirmer que le Pin d'Alep *n'est pas du tout adapté aux sables épais dépourvus d'argile*. C'est à notre avis l'une des raisons pour laquelle il est à déconseiller dans les sables profonds de Mamora occidentale sans qu'il soit nécessaire d'invoquer une action néfaste des influences climatiques océaniques.

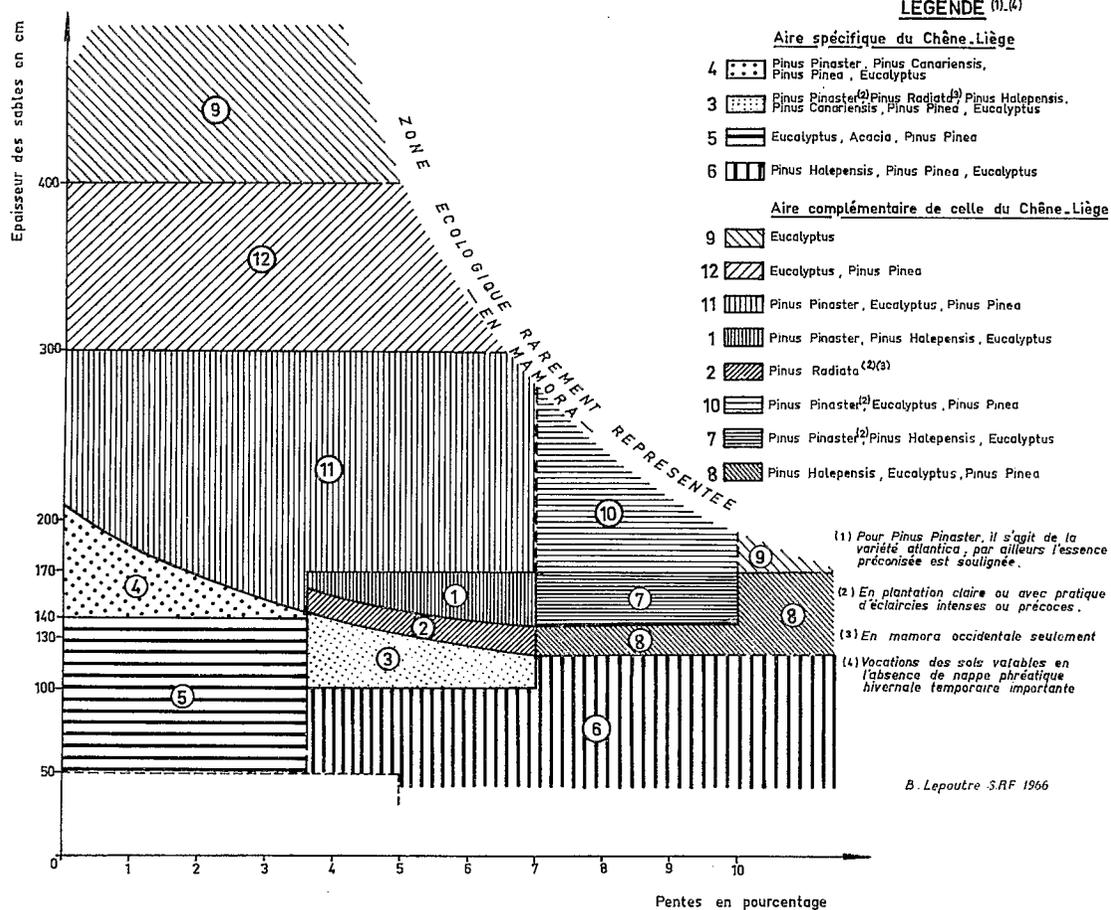
La répartition schématique, en Mamora, des zones susceptibles de présenter des vocations certaines pour les deux Pins vont donc se calquer en gros sur la répartition géographique des types de sols : le Pin maritime présentera sans doute davantage de possibilités pour les reboisements en Mamora occidentale dunaire et dans le nord de la Mamora centrale où les sols sableux épais sont plus largement répartis, tandis que le Pin d'Alep sera l'essence de reboisement des sols peu épais de Mamora orientale et centrale sud.

On remarquera que cette répartition schématique, déterminée par le milieu édaphique, concorde avec la place présumée des deux essences dans les étages bioclimatiques de Mamora : le Pin maritime dans l'étage subhumide et le Pin d'Alep vers l'étage semi-aride. Cette concordance ne sera pas sans faciliter le travail du reboiseur.

Les normes de vocation des sols sont données dans l'abaque ci-contre (voir fig. 12).

ABAQUE SCHEMATIQUE D'UTILISATION DES SOLS POUR LE REBOISEMENT EN MAMORA

fig 12

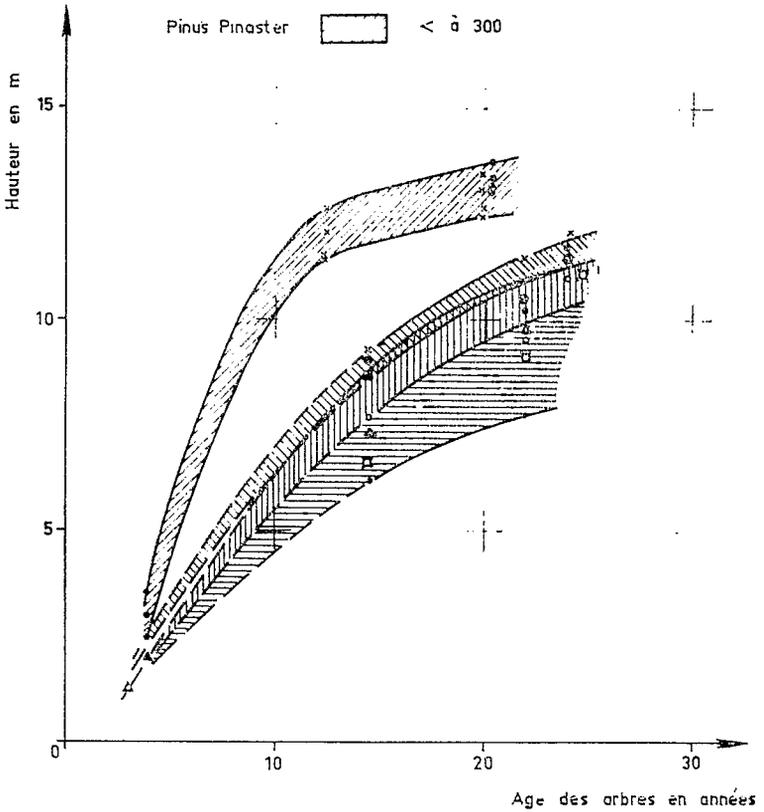


CROISSANCE EN HAUTEUR DES PINS MARITIMES
ET DES PINS D'ALEP, EN FONCTION DE L'AGE ET POUR
UN MÊME ECARTEMENT DE PLANTATION, EN MAMORA

Ecartement 3 x 3

Epaisseur des sables en cm

Pinus Halepensis		50 - 120
		120 - 170
		170 - 230
Pinus Pinaster		< à 300



2. Adaptation à l'environnement

Il est entendu que l'influence de l'environnement, c'est-à-dire avant tout, de la densité du peuplement artificiel, doit s'étudier en fonction du sol car c'est le sol qui conditionne l'alimentation hydrique des arbres.

a) *Croissance en hauteur.*

Cette croissance est beaucoup plus rapide pour le Pin maritime que pour le Pin d'Alep toutes conditions de sols étant égales par ailleurs ou étant optimales pour chacune des essences (sables moyennement profonds pour le Pin maritime et argiles proches pour le Pin d'Alep).

La figure 13 concrétise les résultats de l'étude en comparant la croissance en hauteur des Pins maritimes de Mamora occidentale aux Pins d'Alep de toutes nos stations d'étude. Chaque faisceau de croissance tient compte de la variabilité des croissances en fonction de l'éclaircie naturelle qui s'est produite, sauf pour le Pin maritime où cette variation est trop faible pour pouvoir être représentée.

On constate la croissance rapide des Pins maritimes mais également l'écrasement aussi rapide du faisceau de courbes entre 10 et 14 ans.

A partir de cet âge il est certain que l'obtention de bois plus longs sera subordonnée à l'éclaircie artificielle, qui assurera une alimentation hydrique meilleure aux arbres restant sur pied.

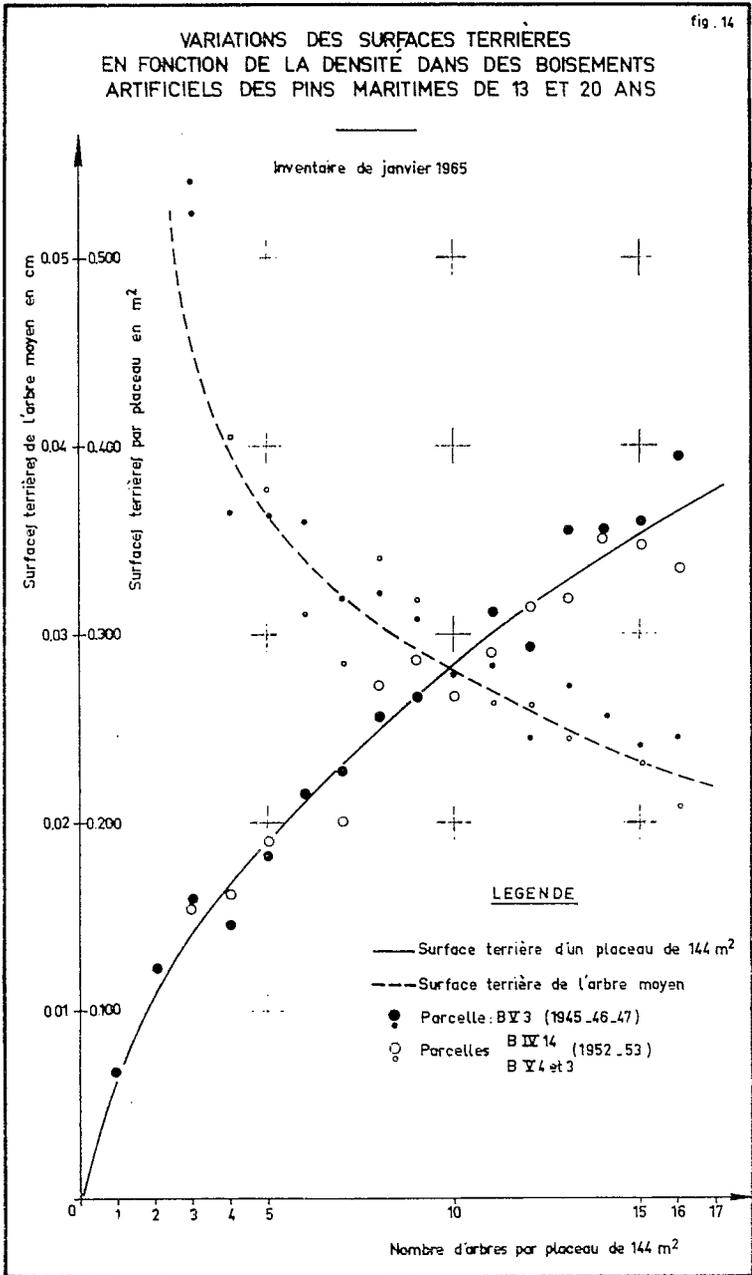
On remarquera également que pour obtenir des Pins d'Alep d'une hauteur moyenne de 12 mètres et dans les meilleures conditions de sol il faudra attendre une trentaine d'années contre 12 à 13 ans pour le Pin maritime.

Le choix entre le Pin maritime et le Pin d'Alep sur sables moyennement épais (1,40 m à 1,70 m) est donc immédiatement en faveur du Pin maritime.

b) *Croissance en circonférence : variation des surfaces terrières.*

Le Pin maritime.

Nous avons montré dans les chapitres précédents comment les boisements de Pins maritimes plantés à 3 m × 3 m s'éclaircissaient naturellement tandis que les calibres des arbres s'accroissaient. Il semble que cet accroissement en calibre ne puisse se faire que dans la mesure où, précisément, le boisement s'éclaircit. Cette conclusion n'est pas certaine parce que nous



n'avons pu faire la comparaison qu'entre parcelles d'âges différents et n'avons pas pu suivre une parcelle au cours de son développement. Quoi qu'il en soit il est tout au moins troublant de constater que les courbes représentatives des surfaces terrières à l'unité de surface (un plateau = 144 m²) ou d'un arbre moyen, sont identiques pour des parcelles plantées en 1952-53 ou 1945-46-47 comme le montre la figure 14. Ceci peut traduire :

- une modification du calibre des arbres, avec diminution ou stabilisation de la surface terrière globale au fur et à mesure de l'éclaircie naturelle ;
- un accroissement très faible à nulle des calibres, s'il n'y a pas d'éclaircie naturelle. Les arbres ne croissent alors que très peu en hauteur ;
- une différence de fertilité des deux parcelles.

On notera que la dernière hypothèse, sans être impossible, paraît peu probable ; il faudrait en effet pour cela que la variation de fertilité se reproduise identique à elle-même, quelle que soit la densité des arbres, donc quel que soit le type de sol.

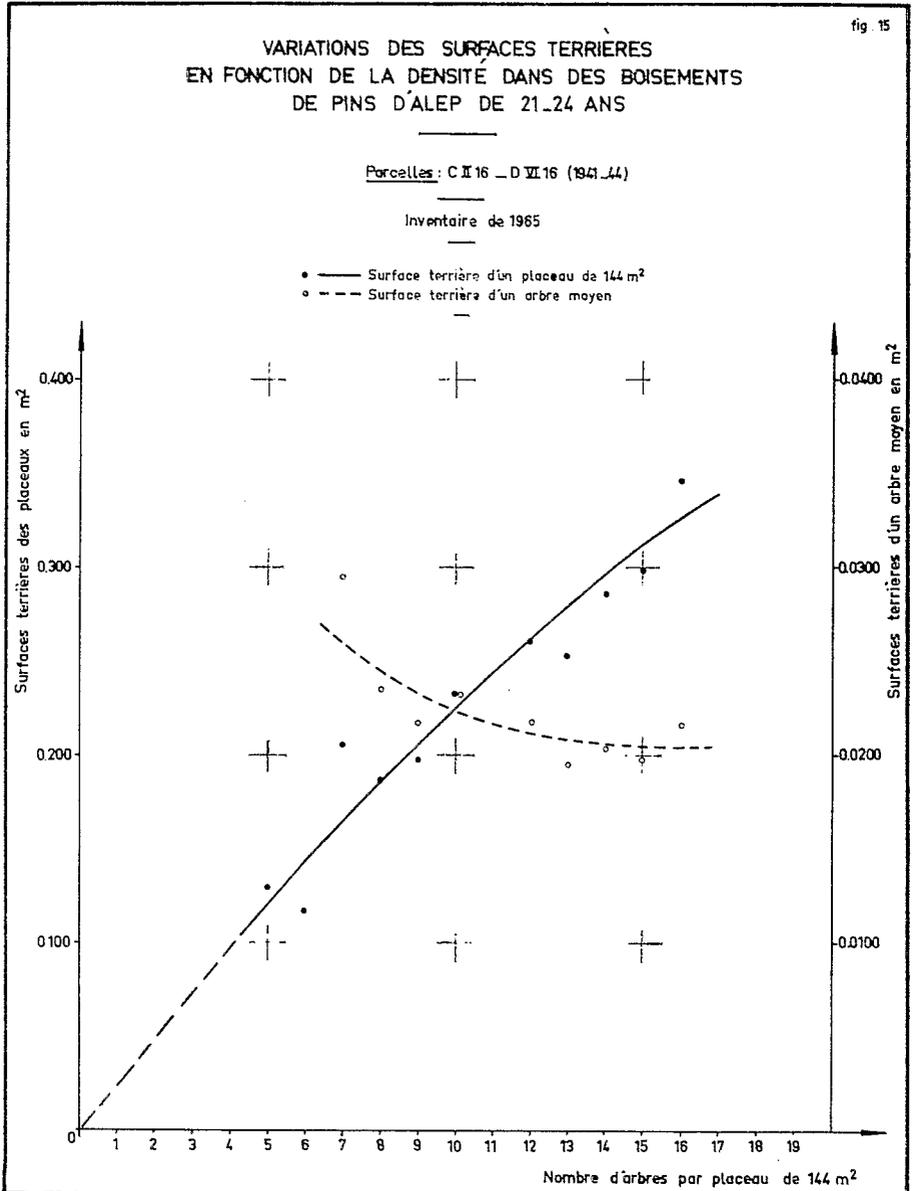
Les deux premières hypothèses montrent par contre l'étroitesse de la liaison qui existe entre les calibres et la densité du boisement et ceci indépendamment des types de sol.

Cette observation est très intéressante car elle permet alors au reboiseur d'exploiter directement les résultats de la figure 23 dans le sens où ceux-ci fournissent la valeur limite des calibres moyens et des surfaces terrières globales, en fonction de la densité de bois maximum que le sol est capable de porter. *On peu finalement avancer que l'éclaircie sera toujours nécessaire dans le Pin maritime pour l'obtention de calibres plus gros. Cette éclaircie doit avoir lieu vers l'âge de 10 à 11 ans comme l'indique la figure 13.*

On notera que les résultats des inventaires, dépouillés en tenant compte des types de sols, ne montrent aucune influence de l'épaisseur des recouvrements sableux pourvu que ceux-ci soient inférieurs à 3,20 m. Ceci confirme le rôle essentiel de l'environnement et le rôle secondaire des facteurs édaphiques dans la conduite des peuplements artificiels de Pins maritimes en Mamora.

Le Pin d'Alep.

La figure 15 donne, pour le Pin d'Alep, les résultats des inventaires présentés sous la même forme que dans la figure 14 pour le Pin maritime. La comparaison des deux figures est très instructive, d'abord parce qu'elle montre la plus grande production de bois de Pins maritimes comparative-



ment au Pin d'Alep et dans des délais plus courts, mais aussi, parce que nous y constatons la plus grande sensibilité du Pin maritime à l'éclaircie.

A l'inverse, il semble bien que pour des densités supérieures à 9-10 arbres par placeau de comptage (soit 625-714 arbres/hectare) le Pin d'Alep soit peu sensible à l'éclaircie, quel que soit le terrain. *On aura donc toujours intérêt à planter le Pin d'Alep serré, d'autant que la densité influence très peu la croissance en hauteur du moins tant que l'espacement reste inférieur à 3 m × 3 m.*

Enfin, contrairement au Pin maritime, la recherche de l'influence du sol sur la surface terrière de l'arbre moyen ou sur la surface terrière globale à l'unité de surface (1 placeau = 144 m²) a permis de conclure à l'influence très favorable des sables peu épais (inférieurs à 120) et favorable des sables moyennement épais (inférieurs à 170) dans les deux cas.

Les sols à faible recouvrement sableux sont donc incontestablement à vocation de Pin d'Alep en favorisant à la fois la croissance en hauteur et la croissance en diamètre de cette essence et en supportant de fortes densités d'arbres à l'hectare sans risque de dépérissement prématuré.

3. Conclusions

Nous ne voudrions pas conclure ce chapitre sans attirer l'attention sur les objectifs que s'était fixés cette étude, et qui consistaient à déterminer *les normes écologiques d'utilisation des essences de reboisement*, comparativement au Chêne-liège en forêt de la Mamora.

C'est un stade qu'il était indispensable de franchir préalablement à toute mise en valeur, et qui va permettre, à présent, de planifier le reboisement ; il ne faut cependant pas perdre de vue qu'un deuxième stade de recherches et d'études devra être abordé maintenant : celui de *la détermination des règles de sylviculture* susceptibles de permettre l'amélioration des rendements à l'intérieur de la gamme des conditions écologiques qui conviennent aux deux essences résineuses.

Il s'agit là d'une sylviculture intensive qui pose, dès à présent et très logiquement, de nouveaux problèmes tels que celui de la conservation de la fertilité des sols sous boisements ou, plus généralement, celui de l'accélération des vitesses de croissance déterminantes des rendements.

C'est un éventail de nouvelles recherches et expérimentations qui s'ouvre à nous, et dans lequel celles qui concernent l'utilisation des fumures minérales prendront sans doute une large place.

ÉCOLOGIE DU PIN DE MONTEREY (*Pinus radiata*) DANS LES SOLS DE LA FORÊT DE LA MAMORA

1. JEUNES PLANTATIONS

Les jeunes plantations de *Pinus radiata* sont beaucoup plus rares en Mamora que celles de *Pinus maritima* ou *Pinus halepensis*. Au moment où l'étude a été faite, nous en connaissions seulement trois dont le développement était suffisant pour pouvoir en tirer des enseignements valables. Deux se situent en Mamora occidentale et une en Mamora centrale. Nous allons les examiner successivement.

A. Parcelle B.II.5 (1963) : influence d'une nappe phréatique temporaire dans le sol.

a) Généralités.

Cette parcelle se trouve à une vingtaine de kilomètres de la mer à vol d'oiseau à la limite entre les étages bioclimatiques subhumides et semi-arides à hiver frais d'EMBERGER.

Les sols y sont, comme dans toute la Mamora, constitués par des horizons sableux d'épaisseurs variables recouvrant l'argile rouge (cf. généralités p. 3). Par contre, et comme il est plus rare de l'observer il y a en profondeur, sur l'argile, une nappe phréatique temporaire qui semble même pouvoir être permanente dans la majorité des sols de la parcelle. Cette nappe a été repérée à des profondeurs variant de zéro (dayas) à 3 mètres de profondeur. Il faut signaler à cette occasion que la même nappe se retrouve plus au Nord dans la parcelle B.II.1 entre la route de Kénitra à Tanger (R.P. n° 2) et celle de Kénitra à Sidi Yahia (R.N. n° 3), l'un des rares endroits où on peut précisément signaler la présence de *Pteris aquilinum* (SAUVAGE 1960).

Une première carte de la parcelle au 1/2 000 a été dressée pour établir la topographie de surface, et une deuxième carte à la même échelle a permis de définir, exactement, soit la profondeur de la nappe phréatique temporaire, soit celle de l'argile de Mamora. Ce travail a nécessité 203 forages pour les 50 hectares de plantation.

En même temps, et suivant la technique habituelle, la hauteur des Pins a été mesurée sur des placeaux d'inventaire à l'emplacement de chaque forage. Quelques essais très localisés de Pins maritimes (*Pinus pinaster var maritima*) et de Pins pignons (*Pinus pinea*) ont été englobés dans ces mesures.

La figure 16 réunit les résultats de l'inventaire en montrant la liaison qui existe entre la hauteur des arbres et les diverses conditions de sol.

b) *Distinction entre les diverses conditions écologiques.*

On notera que la distinction entre les diverses conditions écologiques n'a pas été faite immédiatement pour toutes les conditions de sol mais qu'elle a pu être établie progressivement.

- *A un premier stade* on a pu distinguer une corrélation négative entre la hauteur des arbres et la profondeur de la nappe phréatique pourvu que celle-ci ne soit pas trop près de la surface du sol.
- *A un deuxième stade* on a distingué les zones d'échec facilement caractérisables par les témoins de l'inondation hivernale (végétation de marais, marques du niveau de l'eau, topographie) ; voir points : 165, 186, 80, 160, 185, 147, 59, 155, 159, 161, 170, 180, 181, 61, 151, 54, 68, 140, 63, 51, 47, 10 et 58.
- *A un troisième stade* on a distingué un grand axe central de l'ellipse de corrélation où se regroupent la majorité des points, et deux zones extérieures regroupant, en dessous du grand axe de l'ellipse, des points pour lesquels des facteurs dépressifs sont intervenus et au-dessus, au contraire, des points pour lesquels des facteurs améliorants ont joué un rôle.

A ce stade de l'interprétation nous avons recherché les facteurs en question dans le cadre de l'alimentation en eau des sols, sachant combien celle-ci est importante dans l'écologie des arbres en Mamora (LEPOUTRE 1967).

C'est ainsi que nous avons pu caractériser tout d'abord les stations proches des zones d'inondation temporaire et pour lesquelles le battement de la nappe réalise des conditions de croissance intermédiaires entre l'échec (zones inondées) et la croissance normale. On peut d'ailleurs avancer qu'il s'agit bien du *battement* de la nappe car à la date des inventaires la profondeur de l'eau libre dans le sol était la même aux mois de juillet et août. Ce sont les points 167, 152, 190, 191, 52, 138, 162, 172, 60, 171, 79, 69, 48, 147, 143.

Connaissant le facteur dépressif de la croissance des Pins, il restait à trouver un ou des facteurs favorables, au contraire, pour expliquer la présence, en position nettement plus élevée que la norme, de certains points de la corrélation. Ce facteur pouvait être une stabilité de la nappe phréatique, une présence plus longue de l'eau dans le sol ou une fertilité supérieure du sol.

Le dernier facteur a pu être éliminé facilement par la comparaison des profils et nous avons vérifié indirectement le premier en constatant que toutes les stations considérées se situaient, sur le terrain, dans de très légers ensemlements topographiques qui peuvent ainsi assurer une alimentation en eau prolongée dans le courant de la saison.

Pour confirmer graphiquement les rôles effectivement dépressifs du battement de la nappe d'une part et favorable de l'alimentation hydrique prolongée en zone légèrement dépressionnaire d'autre part, on pourra constater que le premier se manifeste surtout lorsque la nappe est proche, et le second, au contraire se manifeste davantage lorsque la nappe est profonde, toutes choses qui sont parfaitement logiques.

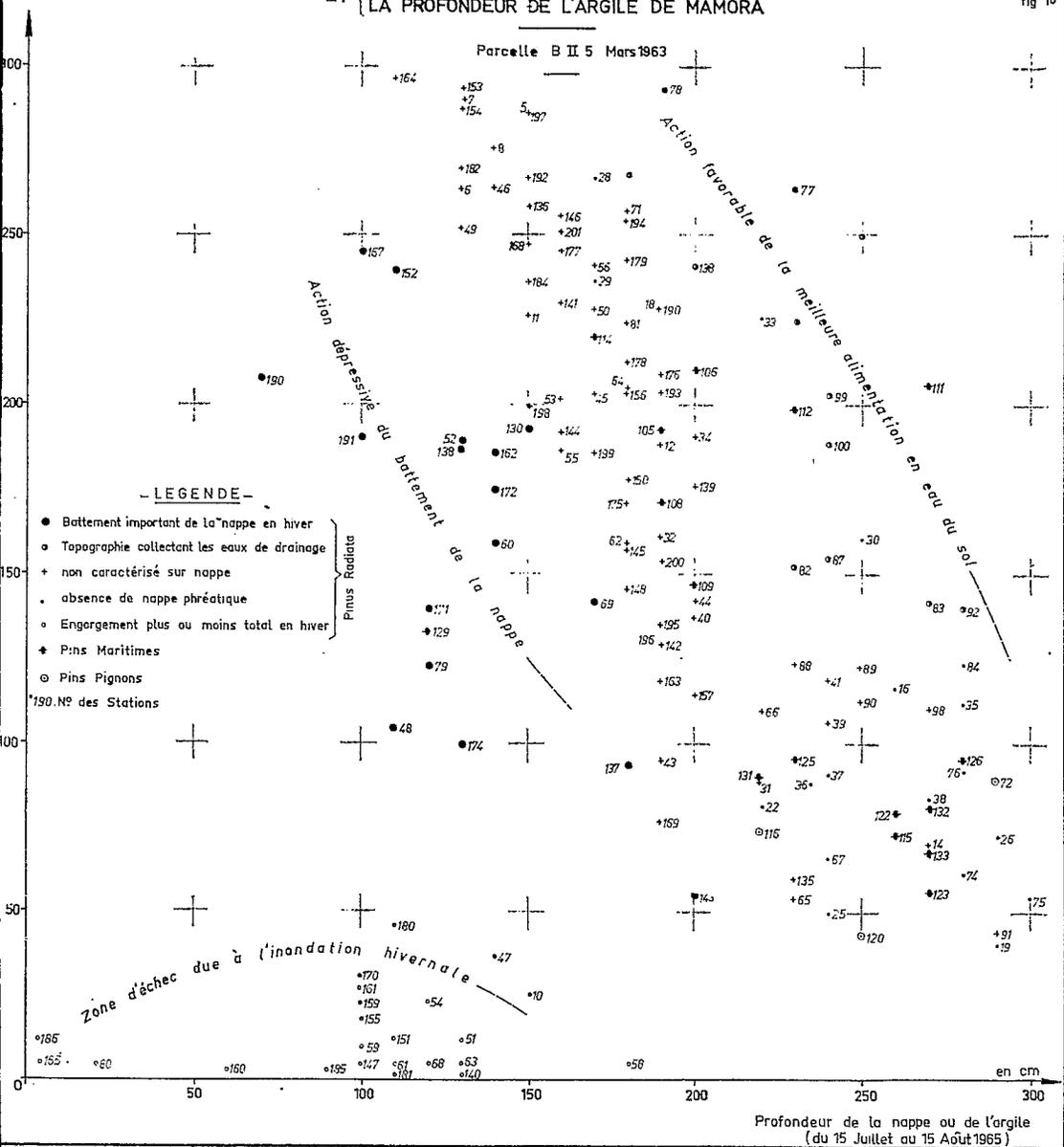
Enfin, nous avons reporté sur le même graphique les mesures faites sur les stations où la nappe phréatique était absente, en remplaçant le niveau de la nappe par la profondeur de l'argile en abscisse. On constatera que l'influence de la profondeur de l'argile n'est pas sensiblement différente de celle de la nappe phréatique, tout au moins pour des pentes très réduites à nulles comme c'est le cas ici ; les points se disposent en effet d'une façon assez bien ordonnée dans la corrélation précédente.

c) *Commentaire des résultats.*

Ici encore, l'arbre est somme toute pris entre deux effets contraires de l'alimentation en eau du sol, entre lesquels il trouve un optimum de croissance.

CORRÉLATION ENTRE: LA HAUTEUR DE PINUS RADIATA, PINUS PINASTER ET PINUS PINEA AGÉS DE 2 ANS $\frac{1}{2}$
 ET { LA PROXIMITÉ DE LA NAPPE EN ÉTÉ 1965
 ET LA PROFONDEUR DE L'ARGILE DE MAMORA

fig 16



Si la nappe phréatique est trop près, le Pin ne peut supporter l'excès d'eau (station 170 par exemple) ou accuse une diminution de croissance (station 171).

Si la nappe phréatique est trop éloignée de la surface du sol, il en est de même (station 135, 65, 14, 91 etc.). Il est cependant curieux de constater, dans ce dernier cas, l'impossibilité du système racinaire du Pin à aller chercher des réserves hydriques dont il n'est cependant séparé par aucun obstacle puisqu'il n'a que des sables à traverser. En fait, le déracinement de deux arbres, l'un rachitique et l'autre bienvenant, a montré que les systèmes racinaires, dans les deux cas, sont uniquement traçants dans les 60 cm de surface du sol. On retrouve là une confirmation de faits déjà signalés par ailleurs (F.A.O. 1962).

En conséquence, on comprend aussi pourquoi, et à l'inverse, l'essence soit aussi sensible à la fois à l'excès d'eau et à l'excès de sécheresse dans les horizons supérieurs du sol.

Cette conclusion doit donc mettre en garde contre l'utilisation immodérée du Pin de Monterey dans n'importe quelle station, sous un climat tel que celui du Maroc, qui implique chaque année une saison très humide et une autre, à l'opposé, très sèche.

Au moment où ce mémoire doit être imprimé, il nous est encore possible d'ajouter ici les dernières observations faites après l'été 1967 qui fut particulièrement sévère dans tout le Maroc (voir p. 44). Ces observations sont extrêmement importantes puisque nous avons constaté la mort de presque tous les Pins. Des contrôles faits par sondage du sol ont montré que la nappe phréatique habituellement permanente avait disparu.

Il ne fait donc pas de doute sur la nature de l'enracinement des Pins tel qu'il a été décrit plus haut c'est-à-dire au-dessus de la frange capillaire. Il en résulte que l'arbre est au sec dans les sables, et meurt, si la nappe phréatique disparaît ; il reste en vie au contraire si la nappe persiste. Cette dernière contre épreuve a pu être faite et confirme très bien les hypothèses.

Finalement on doit constater qu'il n'est pas possible de tabler sur la permanence d'une nappe phréatique en forêt de la Mamora. Cette nappe peut disparaître à l'occasion d'une année un peu plus sèche ou tout simplement sous l'action évaporatrice du peuplement lui-même ; c'est alors la catastrophe comme celle à laquelle il vient d'être fait mention.



CLICHÉ N° 9 - S.R.F.

Tout le vide au premier plan du cliché a été planté en *Pinus radiata*. L'échec a été presque total et quelques derniers individus achèvent de disparaître sur des sables dont l'épaisseur est supérieure à 2 m.

Au deuxième plan, les *Pinus radiata* marquent très nettement la limite édaphique critique.

B. Parcelle A.IV.5 : influence de la profondeur de l'argile ;
 » **C.I.11 : influence de la pente.**

Nos observations sont très fragmentaires sur la parcelle A.IV.5 en raison de la faible surface plantée en *Pinus radiata* (9 hectares environ).

Les conditions climatiques sont sans doute très voisines de celles de l'étage bioclimatique subhumide d'EMBERGER puisque nous ne sommes plus qu'à 7 km de l'océan.

En ce qui concerne la parcelle C.I.11 située à 30 km de la mer les surfaces plantées sont également très réduites et la réussite très localisée ; il en résulte un changement très rapide des conditions de sol qui permet difficilement de déterminer les normes édaphiques critiques.

Pour ces raisons, nous avons groupé les résultats de deux parcelles en mentionnant seulement les conditions de réussite ou d'échec des plantations.

Influence de la profondeur de l'argile sur la réussite des plants de *Pinus radiata* en Mamora

Profondeur de l'argile en mètres

Pentes %	1	2	4	5	7	9	10	16	20
Réussite	1,20	2,00	—	1,70	—	1,70	0,95	—	0,50
Réussite médiocre	2,40	—	—	—	1,70	—	—	1,05	—
Echec	2,50	2,40	2,25	—	2,10	—	—	1,30	0,90

La confrontation de ces résultats avec les normes de réussite du Chêne-liège (LEPOUTRE 1967) montre finalement un très léger avantage pour le Pin de Monterey qui peut se satisfaire de sables légèrement plus profonds (30 cm) pour chaque catégorie de pente.

Il faut cependant souligner qu'il s'agit ici, pour les mesures faites sur pentes fortes, de jeunes plantations de trois ans. On ne saurait trop inciter à la prudence au vu des quelques vestiges de vieilles plantations à Daya Zader (parcelle A.IV.4) où presque tous les arbres ont disparu sous nos

yeux dans des sols semblables et dans des conditions de pentes ne dépassant pas 7 %.

Les plantations plus anciennes démontrent malgré leur faible étendue que *Pinus radiata* peut très bien croître pendant les quelques années qui suivent la plantation puis périr subitement au moment où on s'y attendrait le moins. En fait, il faut interpréter ce comportement comme une inadaptation totale à la xéricité et en particulier lorsque les parties aériennes ont pris, pendant la période humide hivernale, un développement tel que l'arbre ne peut plus satisfaire à ses besoins en eau au moment où survient l'été méditerranéen.

C. Conclusions

Si nos résultats ne font que confirmer la préférence de *Pinus radiata* pour les sols drainés mais où l'alimentation hydrique est bonne, ils permettent cependant de déterminer les sols de la Mamora aptes à porter cette essence.

On peut alors constater que les conditions favorables à l'installation et à la croissance de *Pinus radiata* sont très difficiles à trouver en Mamora et qu'elles ne couvrent finalement que des surfaces réduites et très disséminées du fait même de la variation très rapide des conditions de sol en fonction des changements de pente et des épaisseurs du recouvrement sableux.

Ces conclusions sont valables pour toute la Mamora et elles concernent surtout les conditions de sols. Il faut cependant ajouter que les variations climatiques géographiques interviennent elles aussi et quand on constatera sur la figure 18 le format des quelques Pins de Monterey qui subsistent encore en Mamora centrale, pour des arbres de plus de vingt ans d'âge, et comparativement aux autres résineux, on admettra sans peine que ce Pin n'est plus du tout à sa place dans l'étage semi-aride et sur sables à très faible capacité de rétention.

Finalement on peut dire que le Pin de Monterey est sans doute l'une des essences résineuses les plus difficilement utilisables en Mamora.

Plus que toutes les essences expérimentées il craint la sécheresse estivale, car son système racinaire est essentiellement traçant, et ne permet donc pas à l'arbre de croître, ou de subsister, si les réserves hydriques du sol sont trop profondes (niveau argileux ou nappe phréatique trop profonde).

Inversement, la morphologie de son système racinaire explique que l'essence craint *au plus haut degré*, l'excès d'eau temporaire dans le sol ; ne pouvant vivre que sur une épaisseur de sol bien délimitée, le moindre engorgement de celle-ci lui est fatale. Dans d'autres sols que ceux de la Mamora, on peut s'attendre à des échecs analogues là où un niveau très argileux se trouve à faible profondeur.

Enfin, sur un plan pratique, il apparaît que le Pin de Monterey n'est, de toutes façons que très peu complémentaire du Chêne-liège en Mamora (voir abaque fig. 12). Son utilisation est à prohiber si la nappe phréatique est à moins de 1,30 m ou si les sables ont une épaisseur supérieure à 2,20 m. De toutes façons il n'est pas conseillé de mettre ce résineux sur des pentes de plus de 4 % où ils ne pourraient s'adapter au bout de quelques années à des conditions de sécheresse du sol trop sévères en été.

**ÉCOLOGIE DU PIN PIGNON (*Pinus pinea*)
DANS LES SOLS DE LA FORÊT DE LA MAMORA**

Les plantations de Pins pignons sont très peu étendues en forêt de Mamora. Nous en connaissons quelques essais dans les parcelles A.VI.2, A.IV.5, A.I.1, B.V.1, B .I.1, D.III.7 et E.V.12.

Dans toutes ces parcelles quelques hectares de pins pignons plantés à 3 m × 3 m ou 4 m × 4 m semblent démontrer que la réussite des plantations paraît assurée quels que soient l'éloignement de la mer et le type de sol puisque, dans nos observations, les couvertures sableuses s'échelonnent de 0,55 m à 2 m pour des Pins adultes, et jusqu'à 4,50 pour des jeunes arbres de quatre ans.

1. Influence de la profondeur des sables

La figure 3 montre que le comportement du Pin pignon en A.VI.2, est sensiblement analogue à celui du Pin maritime dans les sables profonds et pour des pentes faibles inférieures à 4 %, tout au moins dans les premiers temps de la plantation et pour les croissances en hauteur.

Dans la parcelle A.IV.5 et dans le même étage bioclimatique subhumide côtier nous avons pu remarquer que le Pin pignon se caractérisait par une large réussite des plantations, avec très peu de manquants. Par ailleurs, l'influence des épaisseurs de sables croissantes se manifestait, non par des mortalités comme chez le Pin maritime, mais pas une simple baisse de croissance comme on l'a vu sur la figure 3. Ceci permet de supposer que le Pin pignon, comme le Pin d'Alep, doit sa grande rusticité à la possibilité qu'il a, contrairement à d'autres résineux à croissance plus rapide, d'adapter son développement aux réserves hydriques qui sont mises à sa disposition. Peut-être s'agit-il, aussi, de la simple conséquence d'une période de croissance annuelle abrégée.



CLICHÉ N° 10 - S.R.F.

Pinus pinea âgés de 8 ans sur sables de 4,50 m d'épaisseur.



CLICHÉ N° 11 - S.R.F.

Pinus pinea de huit ans
sur sables de 2,80 m d'épaisseur.

2. Comparaison avec d'autres résineux à l'âge de 14-15 ans

Cette comparaison a pu être faite en Mamora occidentale dans les parcelles B.V.1 pour le Pin pignon et B.IV.14 pour les autres résineux, c'est-à-dire dans les mêmes conditions climatiques (étage bioclimatique semi-aride à 20 km de l'océan) et dans des conditions de sols assez voisines, la pente étant comprise entre 0 et 3,5 % tandis que la profondeur des sables oscillant entre 1 et 2 m. C'est dire que tous les résineux peuvent croître correctement. (Voir chapitres précédents).

Sur le plan de l'homogénéité des plantations les observations confirment ce qui a été dit précédemment sur la grande homogénéité du Pin pignon comparativement aux Pins d'Alep, au Pin maritime et au Pin des Canaries.

Sur le plan de la croissance la figure 17 démontre la nette supériorité du Pin maritime en hauteur et le caractère très trapu du Pin pignon jusqu'à cet âge, même lorsqu'il est planté à 3 m × 3 m. (Voir aussi cliché n° 7).

On peut dresser le tableau suivant des hauteurs et circonférences moyennes à l'âge de 13-14 ans.

Essences	Hauteurs moyennes en m	Circonférences moyennes en cm
<i>Pinus pinaster</i>	11,5	58
<i>Pinus halepensis</i>	9,5	40
<i>Pinus pinea</i>	8,5	68
<i>Pinus halepensis</i> (1) ..	6,5	32

(1) dans des sols engorgés.

3. Quelques observations en Mamora occidentale

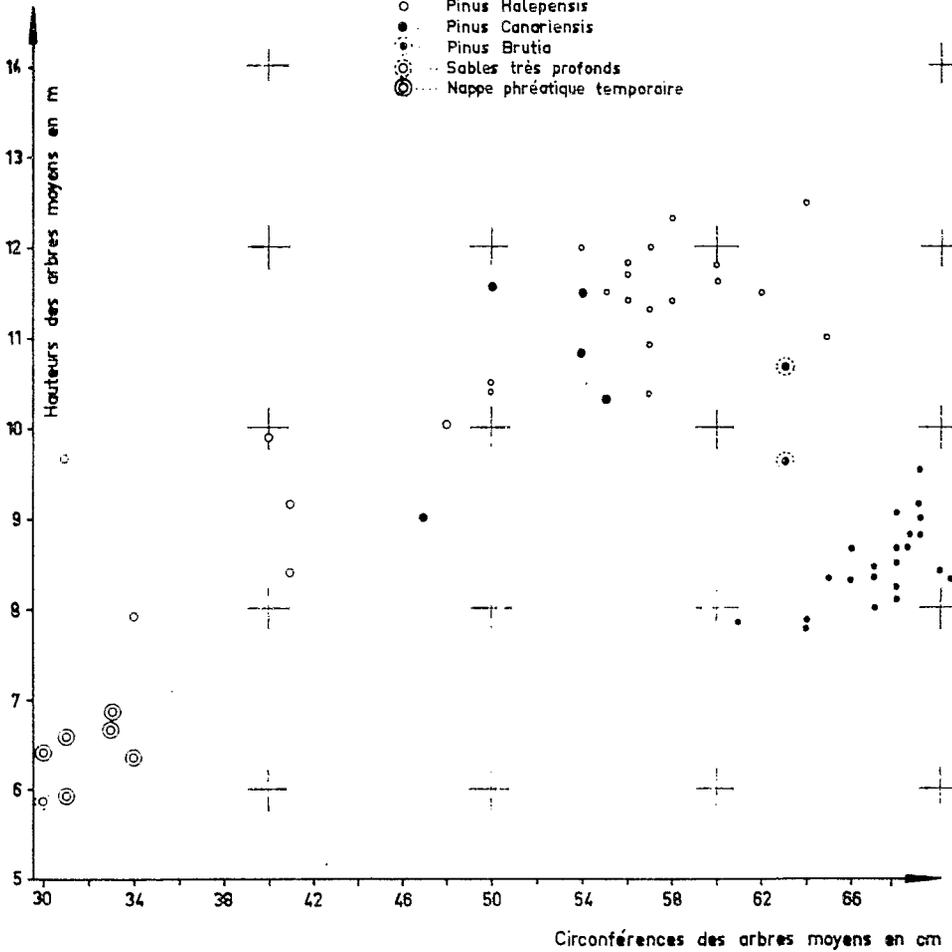
a) Dans la parcelle D.III.7.

Un essai comparatif montre que le Pin pignon vient sur des sols régulièrement engorgés en profondeur, alors que le Pin d'Alep a disparu, que le Pin de Monterey est progressivement décimé, tandis que le Pin maritime semble plus hétérogène.

COMPARAISONS ENTRE LA CROISSANCE DE
 PINUS PINEA , PINUS PINASTER , PINUS HALEPENSIS ET PINUS CANARIENSIS
 EN MAMORA OCCIDENTALE A L'AGE DE 14 -15 ANS

Parcelles : B V 1 - B IV 14 - B IV 14 - B IV 14 - B IV 14

- Pinus Pinea
- Pinus Pinaster
- Pinus Halepensis
- Pinus Canariensis
- ⊙ Pinus Brutia
- ⊙ Sables très profonds
- ⊙ Nappe phréatique temporaire



b) *Dans la parcelle E.V.12.*

Sur des sols très superficiels puisque la couverture sableuse est souvent inférieure à 1 m, le Pin pignon croît d'une façon tout à fait analogue à celle que nous avons pu observer en Mamora occidentale (voir pages précédentes). On est pourtant ici, à plus de 50 km de la mer.

4. Conclusion

Cette essence semble avoir été quelque peu négligée jusqu'à présent, mais les résultats précédents montrent qu'elle peut avoir une place importante en Mamora.

En effet, si sa croissance est plus lente sur sables profonds où le choix de l'essence s'orientera sans doute vers l'Eucalyptus dans les sols très profonds ou vers le Pin maritime dans les sols moyennement profonds, il semble que le Pin pignon puisse représenter l'essence idéale pour des sols plats, de faible profondeur, et où les risques d'engorgement sont courants en hiver. Il n'a malheureusement pas été essayé suffisamment dans ces conditions, pas plus que le Pin maritime d'ailleurs, pour que nous soyons autorisés à plus d'optimisme ; il faudra donc inscrire ces essais aux programmes d'expérimentation et de reboisement, non pour supplanter des essences comme le Pin maritime qui sont économiquement plus intéressantes, mais pour le remplacer dans les stations trop humides où seul l'Eucalyptus serait utilisable en cas d'échec.

Du point de vue pratique on pourra se référer à l'abaque de la figure 12.

**ÉCOLOGIE DU PIN DES CANARIES (*Pinus canariensis*)
DANS LES SOLS DE LA FORÊT DE LA MAMORA**

1. Généralités

Quelques plantations de *Pinus canariensis* ont été faites en forêt de la Mamora dans les parcelles suivantes :

B.V.3	en 1941 et 1948
B.IV.14	en 1952
C.II.15	en 1943
D.VI.16	en 1941
E.V.13	en 1942.

Les surfaces plantées sont toujours très réduites et ne fournissent souvent que quelques indications sur le comportement de ce pin en Mamora, mais elles permettent cependant quelques comparaisons intéressantes avec d'autres résineux.

2. Influence de l'épaisseur des couvertures sableuses

Il a été possible de vérifier cette influence sur les parcelles B.IV.14 et B.V.3 en Mamora occidentale (six placeaux d'inventaire).

Pour ces six cas, on a pu constater la disparition du Pin des Canaries uniquement sur des sols dont l'épaisseur du recouvrement sableux de surface dépassait deux mètres, et pour des pentes faibles, inférieures à 4 %. Dans un seul placeau de comptage, la réussite a été obtenue sur 2,20 m de sables, mais il s'agit de sables rouges, légèrement argileux ; dans tous les autres cas l'épaisseur des sables était inférieure à cette valeur.

La parcelle E.V.13 réunit des conditions de drainage puissant puisqu'on y trouve des sols minces (0,70 m de sables sur l'argile de Mamora) avec

des pentes très fortes de l'ordre de 20 à 30 pour cent ; néanmoins, ces sols portent une plantation de Pins des Canaries assez bien venants. Il faut pourtant constater que les arbres ne font plus que 7 à 8 mètres de haut à 13 ans contre 10 à 11 mètres en Mamora occidentale dans la parcelle B.IV.14. Les circonférences à hauteur de poitrine passent respectivement de 40-50 cm en Mamora orientale à 47-54 cm en Mamora occidentale.

On pourrait penser, à priori, que cette variation dans la croissance résulte de l'épaisseur des sables. Celle-ci est très mince en E.V.13, et au contraire plus importante en B.IV.14. Il ne semble cependant pas possible de retenir cette hypothèse, car en D.VI.16 c'est-à-dire en Mamora centrale et à 20 ans d'âge les quelques Pins des Canaries qui subsistent en mélange avec le Pin d'Alep, ne dépassent pas 10 à 11 mètres de haut pour des circonférences de 57 à 59 cm, sur des sols qui, cette fois-ci, présentent 1,60 m d'horizons sableux reposants sur l'argile de Mamora ; la déclivité est d'ailleurs faible (4 % environ).

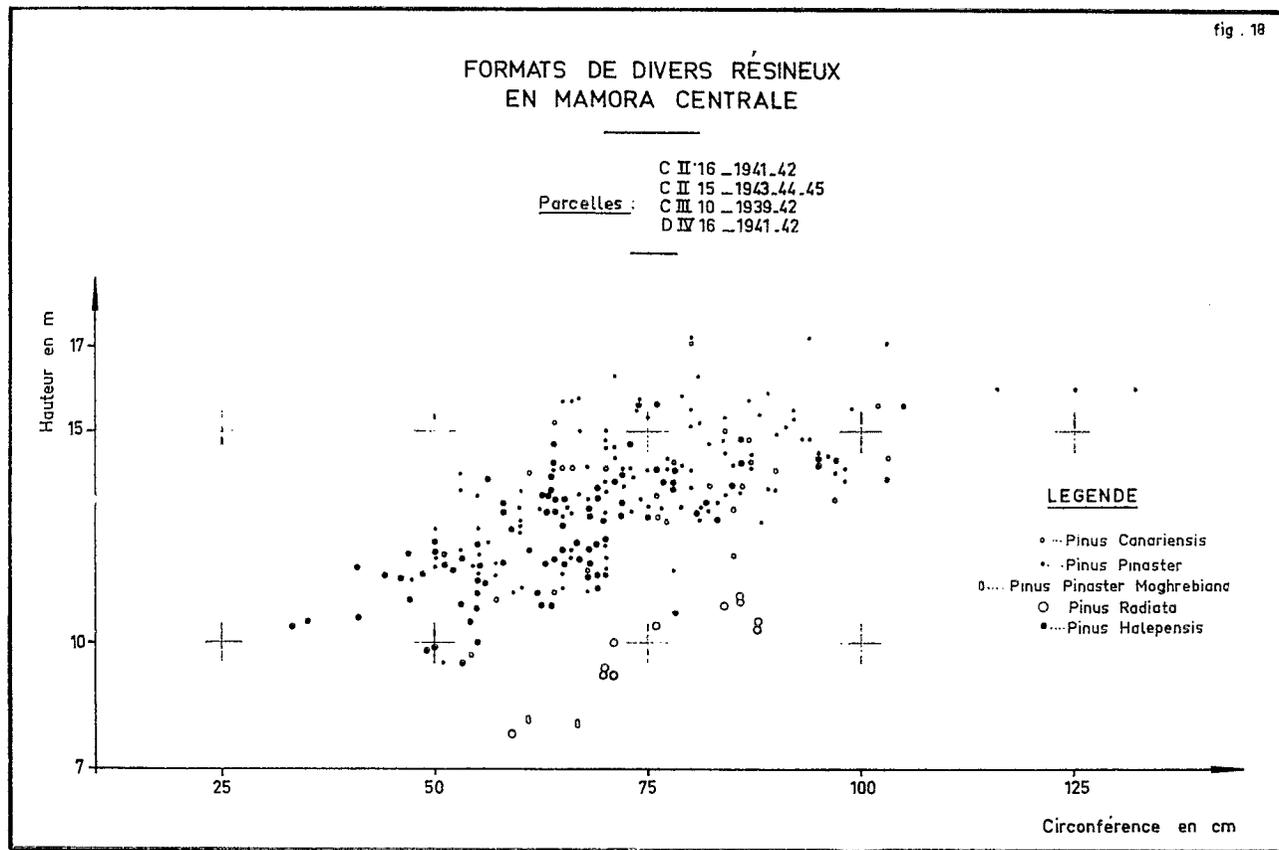
Il semble donc bien que *le Pin des Canaries accuse un effet dépressif, consécutif à l'accentuation de l'aridité au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'océan.*

3. Comparaison et utilisation du Pin des Canaries

Etant donné sa faible plasticité à l'égard de l'épaisseur des sables dans les sols de la Mamora, il apparaît que *Pinus canariensis* ne peut pas être une essence complémentaire du Chêne-liège. Il en résulte que son utilisation sur sables profonds sera sans doute réduite car les vides de la subéraie sur ces sables correspondent généralement à des sols dont l'épaisseur des horizons sableux sur l'argile dépasse 2 mètres et le plus souvent 2,50. Quand l'argile est proche de la surface du sol, et pourvu qu'elle soit drainée latéralement, ce qui implique une pente assez forte, le Pin des Canaries arrive à se maintenir dans un état de végétation assez satisfaisant.

On peut en déduire que son système racinaire pénètre l'argile un peu comme le fait celui du Pin d'Alep. La comparaison des hauteurs d'arbres (voir fig. 18) semble d'ailleurs bien indiquer une certaine analogie entre les deux essences ; nous n'avons cependant pas assez d'observations en Mamora pour pouvoir l'affirmer (1).

(1) On a, depuis, retrouvé cette analogie de comportement des deux essences dans le Rif occidental.



En tous cas, étant donné l'influence pressentie du gradient climatique, il nous paraît opportun et prudent, à comportement et croissance égale, de laisser la préférence au Pin d'Alep dans la Mamora centrale et orientale.

4. Sur le plan pratique

On se référera à l'abaque de l'utilisation des sols (voir fig. 12).

Station de recherches forestières

Rabat, novembre 1967.

RÉSUMÉ

Après avoir rappelé que cette étude fait suite à un précédent travail de recherche sur l'écologie du Chêne-liège en forêt de la Mamora, l'auteur aborde l'étude écologique de différents résineux dans la même forêt.

Il montre que *Pinus pinaster* (var. *maritima*) est particulièrement bien adapté aux sols à horizons sableux épais, mais ne dépassant pas une limite de 3 mètres, qu'il ne peut atteindre un développement suffisant sur des sols peu épais où il cède la place à *Pinus halepensis*. Ce dernier pin qui, à l'inverse ne supporte pas les sables profonds, paraît mieux adapté que le Pin maritime dans la Mamora semi-aride.

Enfin, les deux essences et plus particulièrement le Pin d'Alep sont sensibles à l'excès d'eau dans le sol en hiver. Cet excès d'eau conjugue ses effets néfastes avec la sécheresse d'été dans la mesure où il gêne le bon développement des systèmes racinaires et interdit à l'arbre l'accès des horizons profonds.

L'auteur trouve donc pour ces deux résineux et quelques autres également (*Pinus canariensis*, *Pinus pinea*, *Pinus radiata*) des normes d'adaptation qui sont dominées par les facteurs de drainage du sol, comme c'est le cas pour le Chêne-liège.

A la limite de leur action ces facteurs peuvent éliminer certaines essences de milieux bien précis, ou même de l'ensemble de la Mamora : comme c'est le cas pour *Pinus radiata*. Cette dernière essence ne peut en effet, se maintenir que très exceptionnellement dans la zone étudiée.

Sur le plan pratique, l'auteur définit les milieux qui conviennent à chacune des essences concernées ou à plusieurs d'entre elles, souligne quelques principes de base de leur sylviculture dans les différents types de sol et les compare enfin au comportement du Chêne-liège dans les mêmes conditions.

Il en conclut que *Pinus pinaster* surtout, et *Pinus pinea* sont les deux pins qui peuvent servir aux reboisements des surfaces impropres à la réussite du Chêne-liège, tandis que *Pinus halepensis* et *Pinus canariensis* qui ont une écologie quelque peu semblable seront utilisables pour remplacer le Chêne-liège dans les mauvaises conditions de rentabilité de celui-ci.

Pinus radiata est enfin, à éliminer des projets de reboisement en Mamora.

SUMMARY

Having recalled that the present study is a continuation of a previous research project on the ecology of the cork-oak in the Mamora forest, the author is taking up an ecological study of various resiniferous species of the same forest.

He is showing that *Pinus pinaster* (var. *atlantica*) is particularly well adapted to soils with deep sandy horizons, although not going beyond a 3-meter limit, and that it is unable to reach a sufficient stage of development in shallow soils, where it gives place to *Pinus halepensis*.

The latter pine, on the contrary, cannot tolerate deep sands and appears to be more adapted than *Pinus pinaster* to the semi-arid area of the Mamora forest.

Finally, both species, particularly *Pinus halepensis*, are sensitive to excess of water in winter.

This excess of water joins its harmful effects with the summer drought to the extent that it hinders a fair development of the root system and prohibits the tree access to deep horizons.

Therefore, the author finds for these two resiniferous species and for several other (*Pinus canariensis*, *Pinus pinea*, *Pinus radiata*) adaptation standards dominated by soil drainage factors, as it is the case with the cork-oak.

At the limit of their action these factors are able to eliminate certain species in very precise mediums and even from the whole Mamora forest, as it is the case of *Pinus radiata*. This latter species can actually hold only in exceptional cases in the studied area.

On the practical plane, the author determines the most suitable mediums for each species concerned, or, for many of them, puts emphasis on some basic principles of their silviculture in various types of soils, and finally, compares them with the comportment of the cork-oak under similar conditions.

He therefore infers that *Pinus pinaster* above all, and *Pinus pinea* are the two species which should be used for the reforestation in areas unsuitable to success of cork-oaks, while *Pinus halepensis* and *Pinus canariensis*, having an almost similar ecology, could be used to replace the cork-oak where it happens to be in a poor yield status.

Finally, *Pinus radiata* should be eliminated from any reforestation programme for the Mamora forest.

LISTE DE QUELQUES OUVRAGES CONSULTÉS

- BOUDY (P.). — Economie forestière nord-africaine, T. II, éd. Larose, Paris, 1950.
- CHARARAS. — Le Pin maritime, Ed. Le Chevallier, Paris, 1964.
- EMBERGER (L.). — Les arbres du Maroc, Larose, Paris, 1938.
- EMBERGER (L.). — Les bases écologiques de la régénération de la végétation des zones arides. Union Int. Sc. biol., série B, n° 9, Ed. U.T.S.B., Paris, 1951, pp. 50-61.
- EMBERGER (L.). — Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Labo. Fac. Sc. Montpellier*, série bot., fasc. 7, Montpellier, 1955, pp. 3-45.
- F.A.O. — Le Pin de Monterey, F.A.O., Rome, 1963.
- F.A.O. — Le choix des essences forestières, F.A.O., Rome, 1960.
- FARAJ (H.). — Etude pédologique des sols de la Mamora Nord. Rapp. ronéo. I.N.R.A., 1961.
- ISARA (A.N.). — Suelos espagnoles del Pino Carrasco (*Pinus Halepensis* Mill). Inst. for. de Invest. y Exp., Madrid, 1954, p. 319.
- LEPOUTRE (B.). — Régénération artificielle du Chêne-liège et équilibre climatique de la subéraie en forêt de la Mamora, *Ann. rech. for. au Maroc*, t. 9, pp. 1-180, Rabat, 1967.
- LEPOUTRE (B.). — Influences des conditions édapho-climatiques hivernales sur le type, la répartition et la stabilité de certaines forêts naturelles du Maroc. C.R. Congrès intern. for. Madrid, 1966.
- MARION (J.). — La régénération naturelle du Chêne-liège en Mamora. *Ann. rech. for. au Maroc*, rapp. ann., Rabat, 1951, pp. 25-57.
- MARION (J.). — Les peuplements artificiels en Chêne-liège dans la forêt de la Mamora (Maroc), *Ann. de la rech. for. au Maroc*, rapp. ann., Rabat, 1953-54, pp. 39-158.
- MÉTRO (A.) et SAUVAGE (Ch.). — Flore des végétaux ligneux de la Mamora. *La nature au Maroc*, t. 1, Rabat, 1955, p. 498.
- NAHAL Ibrahim. — Le pin d'Alep (*Pinus Halepensis* Mill.). Etude économique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Ann. de l'Ecole des E et F*, fasc. 4, 4^e trim., Nancy, 1962.
- NICOLAS (A.) et GANDULLO (J.M.). — Los estudios ecologico-selvicos y los trabajos de repoblación forestal. Inst. for. de Invest. y Exp., Madrid, 1966, p. 107.

- PARDÉ (J.). — La productivité des forêts de Pins d'Alep en France. *Ann. de l'Ecole des E et F*, t. xv, fasc. 2, Nancy, 1957, pp. 365-414.
- PAULY (J.). — Etat des parcelles d'expérience en forêt de Mamora. Rapp. dactylographié. *Archives St. rech. for.*, Rabat, 1958.
- SAUVAGE (Ch.). — Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines, travaux de l'Institut scientifique chérifien, Rabat, 1961. Thèse, Montpellier, 1961.
- SAUVAGE (Ch.). — Le quotient pluviothermique d'EMBERGER, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann. Serv. de Phys. et Météo de l'I.S.C.*, t. XX, Rabat, 1963, p. 11.