

ANNALES

DE

L'ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS

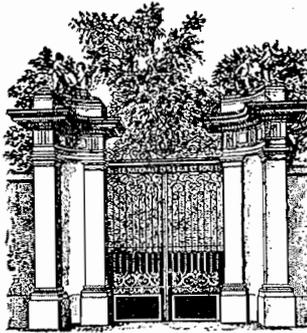
ET DE LA

STATION DE RECHERCHES ET EXPÉRIENCES

Publication trimestrielle

Tome XIX - Fascicule 4 - 4^e Trimestre 1962

Abonnement annuel : 50 NF



NANCY

ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS

14, RUE GIRARDET, 14

1962

1951

1951

1951

1951

LE PIN D'ALEP

(*Pinus halepensis* Mill.)

**Etude taxonomique, phytogéographique
écologique et sylvicole**

PAR

Ibrahim NAHAL

Ingénieur Agricole
Ingénieur Civil des Eaux et Forêts
Docteur ès Sciences Agronomiques

SOMMAIRE

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). **Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole**, par Ibrahim NAHAL, Ingénieur Agricole, Ingénieur Civil des Eaux et Forêts, Docteur ès Sciences Agronomiques.

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE

TAXONOMIE, PALEOGEOGRAPHIE ET CARACTERES DU PIN D'ALEP

	Pages
CHAPITRE I: <i>Révision de la taxonomie des Pins méditerranéens du groupe halepensis</i>	485
1 — Généralités	485
2 — Les Pins méditerranéens du groupe <i>halepensis</i>	487
3 — Mise au point de la taxonomie des Pins du groupe <i>halepensis</i> ..	490
3.1 — Chimie de l'essence de térébenthine	490
3.2 — Etude palynologique des Pins	499
3.3 — Anatomie des feuilles	505
3.4 — Anatomie du bois	506
3.5 — Etude morphologique	517
3.6 — Conclusions générales	521
3.7 — Clé de détermination des divers Pins distingués ..	522
CHAPITRE II: <i>Aire paléogéographique et aire géographique actuelle du Pin d'Alep et du Pin brutia</i>	524
1 — Considérations phylétiques générales	524
2 — Les Pins fossiles	525
3 — Aire paléogéographique	527
4 — Aire géographique actuelle	529
CHAPITRE III: <i>Caractères forestiers et dendrologiques du Pin d'Alep</i> ..	533

DEUXIEME PARTIE

LE PIN D'ALEP DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

CHAPITRE I: <i>Le bioclimat - méthodes d'études</i>	541
1 — Le climat méditerranéen	541
2 — Les formules climatiques et la limite de leur utilisation ...	542
3 — Le quotient pluviothermique d'EMBERGER	544
4 — Les étages bioclimatiques de végétation	550

	Pages
CHAPITRE II: <i>Le Pin d'Alep et ses peuplements dans le bassin méditerranéen</i>	551
1 — Le Pin d'Alep au Maroc	551
2 — » » en Algérie	554
3 — » » en Tunisie	558
4 — » » en Lybie	561
5 — » » en Egypte	561
6 — » » en Palestine et Jorhanie	561
7 — » » au Liban	563
8 — » » en Syrie	563
9 — » » en Turquie	564
10 — » » en Grèce	564
11 — » » en Albanie	565
12 — » » en Yougoslavie	565
13 — » » en Italie	566
14 — » » en Espagne	567
» » au Portugal	570

TROISIEME PARTIE

LE PIN D'ALEP EN FRANCE

CHAPITRE I: <i>Aire géographique du Pin d'Alep en France</i>	573
CHAPITRE II: <i>Autoécologie du Pin d'Alep en France</i>	576
1 — Le Pin d'Alep et les facteurs biotiques	576
1.1 — Spontanéité du Pin d'Alep en France	576
1.2 — L'homme et le dynamisme actuel du Pin d'Alep	579
2 — Le Pin d'Alep et les facteurs climatiques	581
2.1 — La température	581
2.2 — Les précipitations	585
2.3 — Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques	591
3 — Le Pin d'Alep et les facteurs édaphiques	594
3.1 — Les roches-mères	594
3.2 — Les sols	599
3.2.1 — Classe des sols calcimorphes à profil AC ..	601
3.2.2 — Classe des sols ferrugineux à climats chauds, profils A(B)C, ou ABC	608
3.2.3 — Classe des sols évolués à Mull, profil A(B)C ou ABC	617
3.2.4 — Classe des sols évolués à humus brut, profil ABC	621

	Pages
4 — Position biologique des Pinèdes françaises par rapport à celles de la Méditerranée orientale	625
4.1 — Particularités de milieu	625
4.2 — Répercussions biologiques	625
4.3 — Répercussions sylvicoles	627
CHAPITRE III: <i>Synécologie du Pin d'Alep et régénération naturelle</i>	628
1 — La méthode	628
1.1 — La notion de groupe écologique	628
1.2 — Bases théoriques de la recherche des groupes écologiques statistiques	630
1.3 — Définition du groupe écologique statistique	631
2 — Description sommaire de la méthode de travail suivie pour la recherche des groupes écologiques statistiques	632
2.1 — Inventaire de la végétation	632
2.2 — Etablissement des cartes espèces	632
2.3 — Etablissement des bordereaux et des cartes détails ..	632
2.4 — Recherche des groupes écologiques	633
2.4.1 — Les groupes écologiques provisoires	633
2.4.2 — Etablissement des groupes écologiques définitifs	633
3 — Les différents groupes écologiques	636
3.1 — Introduction	636
3.2 — Les groupes écologiques	637
3.3 — Les espèces ne figurant pas dans les groupes écologiques	641
4 — Groupes écologiques et régénération naturelle du Pin d'Alep.	642
CHAPITRE IV: <i>Etude de la productivité des bois de Pin d'Alep</i>	644
1 — Recherche d'un critère de station convenable aux bois de Pin d'Alep	644
1.1 — Définition de la station — station et groupes écologiques	644
1.2 — Notion de productivité naturelle ou potentielle et productivité artificielle ou actuelle	645
1.3 — Recherche d'un critère de productivité actuelle des stations de Pin d'Alep	645
1.3.1 — Caractéristiques intrinsèques de la station.	645
1.3.2 — Caractéristiques des peuplements forestiers.	647
1.3.2.1 — Méthodes directes	647
1.3.2.2 — Méthodes indirectes	648
2 — Description sommaire de la méthode de travail	651
2.1 — Choix des stations	651
2.2 — Choix et mesure de la hauteur des arbres	652
2.3 — Etude de la végétation et du sol	652
2.4 — Calcul de la productivité des stations	652
3 — Relation entre critère de station et groupes écologiques	655

	Pages
CHAPITRE V: <i>Sylviculture du Pin d'Alep</i>	657
1 — Méthode de traitement	657
1.1 — Choix de la méthode de traitement	657
1.2 — Dimension des trouées ou des bouquets	658
2 — Peuplement à un ou à deux étages?	658
3 — Choix de la révolution et des rotations des coupes	661
3.1 — Le sous-étage	661
3.2 — La futaie	662
4 — Intensité des éclaircies	662
5 — Tarif de cubage	664
RÉSUMÉ - CONCLUSIONS	665
BIBLIOGRAPHIE	670
RÉSUMÉ	681
SUMMARY	683
ZUSAMMENFASSUNG	685

INTRODUCTION

Cette étude traite du Pin d'Alep, essence forestière de première importance dans le bassin méditerranéen par la superficie qu'elle occupe et le rôle qu'elle joue dans l'économie des pays de cette région. Elle touche à des disciplines variées (taxonomie, phytogéographie, écologie et sylviculture), mais complémentaires, et dont la synthèse a permis d'arriver à des conclusions pouvant intéresser directement le Forestier pour l'aménagement des forêts, le calcul de la productivité des stations et le choix des essences forestières pour les reboisements artificiels suivant les caractéristiques écologiques des stations à reboiser.

Nous avons particulièrement étudié les pinèdes de la région méditerranéenne française.

Ce travail a pu être fait grâce à une bourse d'étude qui nous a été accordée par l'U.N.E.S.C.O., se rapportant au « Projet Majeur » de mise en valeur des zones arides.

Nous voudrions exprimer ici, notre reconnaissance envers cette Organisation Internationale et adresser nos remerciements au Service des Echanges Internationaux pour l'aide et pour toutes les facilités qu'il nous a apportées durant notre séjour en France.

Nous exprimons aussi notre gratitude au Ministère de l'Agriculture de Syrie de nous avoir permis de profiter de cette bourse.

S'il y a dans ce travail, une recherche d'analyse et de synthèse, nous la devons à ceux qui nous en ont donné le goût et la base, procuré les moyens, fourni les éléments nécessaires. A tous ceux-là, nous présentons ici un hommage de déférente gratitude.

C'est auprès de l'Institut de Botanique et du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier que nous avons trouvé les moyens et l'ambiance nécessaires à la réalisation de nos recherches et à la rédaction de notre travail.

C'est un devoir pour nous, d'adresser nos remerciements à tous ceux qui nous ont guidé dans nos recherches et présenté de l'aide morale ou matérielle durant notre stage à Montpellier.

Notre gratitude et notre reconnaissance vont tout d'abord au Professeur L. EMBERGER, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Botanique et du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques, qui nous a guidé dans nos recherches et dont nous avons pu, à maintes occasions, apprécier les conseils et profiter de la longue et fructueuse expérience sur le Monde méditerranéen.

Nous remercions vivement M. G. LONG, Sous-Directeur du C.E.P.E., pour l'aide qu'il nous a toujours accordée durant notre stage.

C'est avec joie que nous remercions M. GOUNOT, du C.E.P.E. pour les multiples discussions concernant notre travail que nous avons eues avec lui.

M. A. PONS, Chef de Travaux à la Faculté des Sciences, a bien voulu nous faire l'étude palynologique des Pins. Nous le prions d'accepter, ici, nos remerciements les plus sincères.

Nos remerciements vont également à tous ceux de l'Institut de Botanique et du C.E.P.E. et à tous les stagiaires qui nous ont apporté de l'aide et témoigné de la sympathie :

Mme ROUSSINE, Mlle GUERY, Mme NÈGRE,

MM. ESPIAU, BOULOS, GASTON, SUNNAA, TRABAUT, et tout le personnel du C.E.P.E.

L'analyse chromatographique de l'essence de térébenthine a pu être faite grâce à l'amabilité du Professeur GRANGER, de la Faculté de Pharmacie, et de son collaborateur M. PASSET.

Nous les prions de trouver ici nos remerciements.

Nous adressons à M. le Professeur DUCHAUFOUR, qui nous a communiqué très aimablement ses critiques sur les sols et leur classification, l'expression de notre reconnaissance.

Nos remerciements vont aussi à MM. les Conservateurs DE CARMENTRAND et MAURY, à M. l'Ingénieur Principal des Travaux VIAL et à M. l'Ingénieur PARDÉ, pour l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée dans nos recherches sur le terrain.

Nous tenons à remercier profondément, le Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, la section de Systématique et Géographie des Plantes Vasculaires de l'Institut de Botanique de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., de nous avoir expédié des échantillons d'herbier des *Pinus brutia*, *P. stankewiczii*, *P. eldarica*, *P. pithyusa*, ainsi que la Station de Recherches Forestières de Grèce, l'Académie des Sciences de Georgie, le Révérend Père MOUTERDE, de l'Université de Saint-Joseph de Beyrouth, et le Docteur HILWA, du Ministère de l'Agriculture de Syrie, de nous avoir expédié des échantillons de résine et de pollen de Pin d'Alep et de *P. brutia*, ce qui nous a permis de mener à bien nos recherches sur les Pins méditerranéens du groupe *halepensis*.

Nous adressons un hommage de reconnaissance particulier, à tous ceux — ils sont innombrables — qui ont collaboré à l'édification de la science écologique et phytosociologique patiemment élaborée.

C'est à eux que nous devons d'avoir pu disposer d'une documentation qui a servi de base à nos recherches.

Nous sommes enfin très sensibles à l'honneur que nous ont fait MM. L. EMBERGER, Professeur, Membre Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut Botanique, A.L. BONNET, Maître de Conférence et L. GRAMBAIT, Maître de Conférence, en acceptant de constituer notre jury.

Enfin, nous adressons nos remerciements, tout particulièrement, à la Direction des Annales de la Station de Recherches et Expérimentations forestières et de l'École Nationale des Eaux et Forêts de Nancy, d'avoir si aimablement accepté et pris en charge la publication de ce mémoire.

PREMIERE PARTIE

**Taxonomie, paléogéographie
et caractères du Pin d'Alep**

CHAPITRE I

REVISION DE LA TAXONOMIE DES PINS MEDITERRANEENS DU GROUPE HALEPENSIS

1 — Généralités

Le genre *Pinus*, de la famille des Pinacées (Abietacées), très complexe, est divisé en trois *sous-genres* et les sous-genres en *sections* (GAUSSEN, 1961).

Ces trois *sous-genres* sont classés de la façon suivante :

1.1. — S.G. *Pinus* (1) : Nombre de feuilles variable, ombilic dorsal, cône ligneux à écailles dures.

Ce sous-genre comprend 5 *sections* :

— *Section Taedoponderosoides*: ex.: *P. taeda* L. (S.E. de l'Amérique du Nord).

— *Section Merkusioides*: ex.: *P. merkusii* (2) Jungh. et De Vries (Indochine, Malaisie).

— *Section Halepensoides*: ex.: *P. halepensis* Mill. (Région méditerranéenne).

— *Section Khasysilvestroides*: ex.: *P. sylvestris* L. (Europe).

(1) *Eupinus*, in GAUSSEN, 1961; mais, d'après l'article 21 du Code International de la Nomenclature Botanique, 1959, qui dit: « L'épithète d'un sous-genre ou d'une section ne doit pas être formée du nom du genre auquel il appartient avec la désinence *oides* ou *opsis* ou encore le préfixe *Eu* — », le sous-genre *Eupinus* doit s'écrire *Pinus*.

(2) Dans ce travail, nous suivons la recommandation 73 F de l'Article 73 du Code International de la Nomenclature, selon laquelle: « la lettre initiale de toute épithète spécifique ou infraspécifique devrait être en minuscule ».

— *Section Parryanoides*: ex.: *P. parryana* Eng. (Californie).

1.2. — S.G. *Ducampopinus*: feuilles par 2, plates, haplostélées (1), à hydrostéréome transversal. Ce sous-genre ne renferme qu'une section (*Krempfioides*) et une seule espèce: le *Pinus krempfii* Lec., du Vietnam.

1.3. — S.G. *Cembrapinus*: feuilles par 5, haplostélées, euphylls non décurrentes, ombilic terminal.

Ce sous-genre comprend 4 sections:

— *Section Armandioides*: ex.: *P. armandi* Franchet (centre W. Chine).

— *Section Parvifloroides*: ex.: *P. parviflora* Sieb. et Zucc. (Japon).

— *Section Stroboides*: ex.: *P. strobus* L. (Est de l'Amérique du Nord).

— *Section Flexilioides*: ex.: *P. flexilis* James (Mexique, Rocheuses).

La section des *Halepensoides*, du sous-genre *Pinus*; nous intéresse le plus. Le *Pinus halepensis* s'y trouve rattaché.

Dans cette section, les trachéides des rayons ont une paroi sinueuse, à dents peu nettes. Les punctuations des plages sont par 1 ou 2, chez *P. longifolia*; 1 à 4 chez *P. halepensis*; 2 à 4 chez *P. leucodermis*.

Cette section est divisée en trois groupes:

— Un groupe « *heldreichii* », des Balkans et du Sud de l'Italie, à deux feuilles et cône caduc: *P. leucodermis* Ant., de Calabre, Albanie, Yougoslavie, Grèce et *P. heldreichii* Christ., d'Albanie et Thessalie.

— Un groupe « *halepensis* » autour de la Méditerranée, passant du cône caduc au cône sérotineux (2). C'est un groupe de pins à 2 feuilles qui renferme les *P. halepensis* Mill. et *P. brutia* Ten.

— Un groupe « *longifolia* », à 3 feuilles, à cônes persistants: *P. longifolia* Roxbt. et Lamb., des pentes méridionales des Himalayas et *P. canariensis* C. Smith, des Canaries.

En résumé, le *Pinus halepensis* fait partie du groupe « *halepensis* » de la section des *Halepensoides* et du sous-genre *Pinus*.

(1) haplostélée: à un seul faisceau libéro-ligneux, displostélée: à deux faisceaux.

(2) Le cône peut être caduc ou persistant plus ou moins longtemps. Dans le dernier cas, il peut s'ouvrir de façon irrégulière dans le temps, on dit qu'il est *sérotineux*, parfois même il reste fermé de nombreuses années.

2 — Les Pins méditerranéens du groupe *halepensis*

Une confusion dans la taxonomie des Pins du groupe *halepensis* (*sensu lato*), a régné, et règne encore, entre les botanistes. Ces Pins sont au nombre de cinq :

- Pinus halepensis* Mill.
- Pinus brutia* Ten.
- Pinus eldarica* Medw.
- Pinus stankewiczii* Sukaczew.
- Pinus pithyusa* Stevenson.

Certains ont vu dans ces Pins des espèces distinctes, alors que d'autres botanistes ont abaissé certains d'entre eux au rang de variétés.

2.1 — *Pinus halepensis* Mill.

(Pin de Jérusalem, Pin blanc (Provence), Aleppo Pine, Pino carasco, Aleppo Kiefer, Sanaoubar halabi (Syrie, Liban).

Ce Pin fut décrit pour la première fois par DUHAMEL, en 1755, sous le nom de *Pinus hierosolimitana* (*P. hierosolimitana* Duham. — Arbr. ii, 126, 1755). MILLER l'a redécrit plus tard, en 1768, sous le nom de *Pinus halepensis* (*Pinus halepensis* Mill, Gard. Dict, éd. VII, n°8, 1768).

Plus tard, il fut décrit par différents auteurs dans la Région méditerranéenne et a reçu des noms divers : *Pinus abasia* Hort. ex Carr., Conif. éd. 1, 352 — *Pinus alepensis* Poir., Encycl. v, 338, 1804 — *Pinus arabica* Siber ex spreng., Syst., iii, 886 — *Pinus caïrica* D. Don ex Gerd, 1. c., 166 — *Pinus genuensis* Cook, Sketch. Spain, 1834, ii, 236 — *Pinus persica* Strangw., in Lond. Gard. Mag., xV 1839 — *Pinus minor* Hort. — *Pinus resinosa* Lois. (non Sol.) — *Pinus tartarica* Hort. — *Pinus sylvestris* Gouan (non L.) — *Pinus maritima* Lamb. — *Pinus mediterranea* Willk.

Il semble que l'appellation valable pour le Pin d'Alep soit celle qui fut donnée par MILLER en 1768 (*P. halepensis* Mill.), et c'est elle qui fut retenue par tous les botanistes.

Il est intéressant de signaler que ce Pin n'existe pas à l'état naturel dans la région d'Alep en Syrie. Le Pin qu'on trouve à l'état naturel dans cette région est un Pin voisin, appelé *Pinus brutia*, et qui constitue les Pinaies du Kurd Dagh.

Les Pins que MILLER a décrit doivent être d'origine artificielle : les graines furent importées, vraisemblablement des pays voisins (Liban, Palestine, Jordanie). A l'époque actuelle, on trouve, dans les jardins et parcs de la ville d'Alep, beaucoup d'arbres appartenant à l'espèce *P. halepensis* Mill.

2.2 — *Pinus brutia* Ten.

Ce Pin fut décrit en 1811, par TENORE (1), botaniste napolitain, sous le nom de *Pinus brutia* Tenore (*P. brutia* Ten., Fl. Nap. IV, 136, 1811; et l. c. v. 266, 1835 - 6 - Ital.).

Plus tard, il fut décrit sous des noms divers : *P. pyrenaica* Lapeyr., 1813 — *P. hispanica* Cook. — *P. pallasii* Parolin, 1841 — *P. paroliniana* Webb — *P. parolinii* Viviani — *P. penicellus* Lapeyr., 1813 — *P. loisleuriana* Carr., 1855 — *P. pseudo halepensis* Dench. ex Carr., 1855 — *P. conglomerata* Graef. ex Tenore, 1831 — *P. halepensis* var. *brutia* Elwes et Henry, 1910.

Cette dernière appellation *P. halepensis* var. *brutia* fut retenue le plus souvent et acceptée par beaucoup de botanistes comme : BEISSNER, FITSCHEN et CHAPMAN (1954), etc...

En outre, certains auteurs (GOMBAULT, 1954; LINDBERG, 1946; BOUDY, 1950) confondent ce Pin avec le Pin d'Alep ou le considèrent comme une simple variété du Pin d'Alep.

Dans beaucoup d'ouvrages, on cite le Pin d'Alep comme l'espèce de Pin qui couvre le Djebel Alaouite et le Baer-Bassit de Syrie, l'Amanus de Turquie et les montagnes de l'Île de Chypre, alors qu'il s'agit ici, en réalité, d'un Pin très différent du Pin d'Alep.

Dans les rapports du Département Forestier de Nicosie (Chypre), on trouve, jusqu'en 1953-1954, citer le Pin de la forêt de Paphos et des autres forêts de Pin de Chypre, sous le nom de *P. halepensis* var. *brutia*.

Dans « Iter Cyprium » de Harald LINDBERG, Helsingfors, 1946, le *Pinus brutia* n'est pas mentionné dans la flore de Chypre; on y mentionne *Pinus halepensis* Mill. et *P. nigra* Arnold var. *pallasiana* Lamb.

Or, le Pin qui habite l'Amanus, le Djebel Alaouite, le Baer-Bassit et l'Île de Chypre est très différent du *P. halepensis* et doit être considéré comme une espèce distincte, comme nous le montrerons plus loin.

2.3 — *Pinus pithyusa* Stevenson.

Ce Pin fut découvert près de Pitsunda (ancien *Pithyuum*), sur la côte orientale de la Mer Noire et décrit sous le nom de *Pinus pithyusa* par STEVENSON en 1838 (*P. pithyusa* Stevenson, in *Bull. Soc. Nat. Mosc.*, 1838, 1. 49). Puis, il fut trouvé dans l'île de Prin-

1) D'après les renseignements très récents rapportés d'Italie méridionale, par EMBERGER, le *Pinus brutia* décrit par TENORE appartient bien à cette espèce, mais non d'échantillons récoltés d'Italie. Ce pin n'y a jamais été retrouvé et les botanistes italiens (GIACOMINI) pensent qu'il n'y existe pas. L'échantillon de TENORE proviendrait d'Orient; on sait que TENORE recevait beaucoup de plantes de cette région.

kipo, près d'Istamboul (Turquie), en Thrace (Grèce), en Anatolie et en Syrie. D'après PAPAJOANNOU (1936), le Pin qui croît dans l'île de Thasos, près de la côte de Thrace orientale est le *Pinus pithyusa*.

Plus tard, il fut décrit sous des noms divers et confondu avec le *Pinus halepensis* Mill. :

— *P. halepensis pithyusa* Stev., ex Gord. Pin. (1858), 166; in Beissner, *Nadelholzkunde*, 3. Aufl., p. 392 — *P. halepensis* Shaw, Genus *Pinus*, 78 (p.p) — *P. abchasica* Fisch. ex. Gord. Pin. (1858) 166 — *P. brutiaca* Ten. *caucasica* Lipsky — *P. colchica* Booth.

PAPAJOANNOU (1954) et GAUSSEN (1960) le considèrent comme une variété de *P. brutia*.

2.4 — *Pinus eldarica* Medw.

C'est un Pin endémique de la Transcaucasie centrale (S.E. de Tbilisi, capitale de la Géorgie). Il fut décrit pour la première fois par MEDWEDJEW en 1902, sous le nom de *Pinus eldarica* Medw. (*P. eldarica* Medw., in *Act. Hort. Tifl.*, Vi, 11, 21, 1902, Cum ic.; *id. Mitt. d. D. Dendrol. Gesell.* (1903), 56).

Puis, il fut décrit sous des noms divers et confondu avec *P. halepensis*: *P. halepensis* var. *eldarica* Beissner in *Nadelholzk.* (1930), 3 Aufl. 392 — *P. brutia* var. *eldarica* (PAPAJOANNOU (1954), GAUSSEN (1960)).

MALAJEFF (1929) considère *Pinus eldarica* Medw. comme synonyme de *P. brutia* Ten.

Un Pin, trouvé en Afghanistan, entre Herat et Tebes, et connu par un seul spécimen d'herbier sans cône, est considéré, par MALAJEFF (1929), comme étroitement proche de *P. eldarica*.

Le Pin *eldarica* occupe une aire géographique très restreinte. Il est considéré comme un pin en voie d'extinction à l'état naturel. C'est peut-être dû à une exploration insuffisante; son aire est très mal précisée jusqu'à maintenant.

Ce Pin a été très utilisé par le *Service Forestier Iranien* dans les reboisements.

2.5 — *Pinus stankeviczii* Sukaczew.

Ce Pin vit en Crimée méridionale, au Cap Aya et près de Soudak. Il fut décrit pour la première fois en 1906, comme une variété de *P. pithyusa*: *P. pithyusa* Stev. var. *stankeviczii* Sukaczew, in *Trav. Suc. Nat. St. Petersb.*, XXXV, 3 (1906), 37.

Puis il fut décrit sous des noms divers :

— *P. brutia* Gen. ex. Bernhard, in *Berichte d. D. Dendrol. Gesell.*, (1931) 56 — *P. Stankeviczii* (Suk.) Fom. in *Monit. du Jard. Bot. de Tifl.*, XXXIV (1914) 21 — *P. taurica* Svob. — *P. halepensis* var. *stankeviczii* Suk. — *P. brutia* var. *stankeviczii* Suk. (in GAUSSEN, 1960).

D'après MALAJEFF (1929), ce Pin ressemble à une espèce éteinte *Pinus sarmatica* Palib., qui fut trouvée dans l'étage Sarmatien du Miocène dans la Péninsule de Kersch en Crimée.

3 — Mise au point de la taxonomie des Pins méditerranéens du groupe *halepensis*.

Pour mettre au point la taxonomie de ces 5 Pins, nous nous sommes adressé à des disciplines multiples : la morphologie, l'anatomie du bois et des feuilles, la biochimie (chimie de l'essence de térébenthine) et la palynologie (1).

Nous abordons ainsi le problème de très près. Nous abordons d'abord l'étude de la chimie de l'essence de térébenthine, puis celle des pollens et de l'anatomie du bois et des feuilles, laissant pour la fin l'étude morphologique.

Pour terminer, nous essayerons de montrer l'interaction de ces différents caractères et de voir dans quelles mesures la morphologie peut nous renseigner sur les particularités biochimiques palynologiques et anatomiques de ces différents Pins.

Nous commencerons par les caractères les moins connus.

3.1 — Chimie de l'essence de térébenthine des Pins.

3.1.1 — Obtention de l'essence de térébenthine.

L'essence de térébenthine est obtenue par entraînement à la vapeur d'eau, ou par distillation, de l'oléorésine (gemme, gomme ou résine). La substance qui reste après distillation est appelée *collophane*. La proportion de l'essence de térébenthine est de l'ordre de 21-24 % chez le Pin d'Alep, et de 15-22,5 % chez *Pinus brutia*.

La collophane est formée généralement d'acides résiniques (résènes) ayant pour formule brute $C_{26}H_{30}O_2$ et dont la nature chimique est très peu connue. Elle renferme aussi, mais en très faibles quantités, d'autres substances, (variables d'une espèce à l'autre) différents des acides résiniques.

(1) Chez les Pinacées il y a un stock chromosomique uniformément établi à $2n = 24$. (DARLINGTON C.-D. et WYLIE A.-P., 1955; LÖVE A. et D., 1961). Ce résultat est inutilisable pour infirmer ou confirmer la détermination des espèces et des unités infraspécifiques. Il ne présente donc pas d'intérêt pour l'étude des Pins du groupe *halepensis*.

L'essence de térébenthine, n'est pas une substance chimique pure. Elle est constituée généralement d'hydrocarbures cycliques ou terpènes, de formule $C_{10}H_{16}$, auxquels s'ajoutent, presque toujours, des sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$) et, parfois, des substances non terpéniques.

3.1.2 — Valeur taxonomique de l'essence de térébenthine.

Avant de se prononcer sur la valeur taxonomique de l'essence de térébenthine, il faut pouvoir répondre aux quatre questions suivantes :

1 — La composition de l'essence de térébenthine d'un arbre varie-t-elle durant la saison de végétation ?

2 — La composition de l'essence de térébenthine varie-t-elle quand un Pin est planté en dehors de son habitat naturel ?

3 — Le changement d'environnement dans une région géographique donnée affecte-t-il la composition de l'essence de térébenthine d'un Pin ?

4 — La composition de l'essence de térébenthine varie-t-elle avec les organes de la plante ?

Réponse à la première question :

Pour élucider la variabilité dans les propriétés physiques de l'essence de térébenthine (ainsi que la variabilité de la composition chimique), on choisit généralement la rotation optique (MIROV, 1961).

La variabilité de la rotation optique dépend de 3 facteurs :

- a) la proportion relative des terpènes lévogyres et dextrogyres,
- b) la proportion relative des antipodes lévogyres et dextrogyres du même terpène,
- c) et enfin, la proportion relative des composés optiquement actifs et des composés optiquement inactifs.

HERTY (1908) a étudié la variabilité de la rotation optique sur des échantillons d'oléorésine obtenus pendant deux saisons de végétation et provenant de plusieurs individus d'arbres appartenant à deux espèces : *Pinus elliotii* et *P. palustris*. Il a trouvé des variations considérables entre les différents individus, mais très peu de variations dans un même individu.

D'autres études, faites par DUPONT et BARRAUT, sur *Pinus nigra* ont montré que, bien que le pouvoir rotatoire varie avec la méthode de l'obtention de l'oléorésine et avec l'époque de l'année, la composition chimique de l'essence de térébenthine reste à peu près la même.

Voici des exemples de variations du pouvoir rotatoire de trois échantillons d'oléorésine de *P. nigra*:

	n° 10	n° 11	n° 12
3 ^e récolte	— 42°36	— 39°90	— 46°63
4 ^e récolte	— 33°90	— 40°45	— 41°75
5 ^e récolte	— 25°35	— 29°98	— 48°00

Quoique la rotation optique de ces trois échantillons varie d'une façon importante, ils restent, cependant, toujours lévogyres.

Les travaux d'oudin (1938), ont montré que, pour un même arbre, la composition de l'essence de térébenthine varie très peu pendant la saison de végétation. En outre, cette composition paraît relativement constante pour un lot d'essence obtenu à partir de plusieurs arbres, car, dans ce cas, les différences individuelles se balancent.

Réponse à la deuxième question:

Scheuble (1942) et Mirov (1961) ont montré que la composition chimique de l'essence de térébenthine d'un Pin ne se modifie pas quand ce Pin change d'habitat et se trouve en dehors de son habitat naturel: par exemple: l'essence de *Pinus pinea* est composée de 1- limonène aussi bien en Italie, qui est supposée être son habitat naturel, qu'en Californie, où il est cultivé dans les parcs. Nous avons fait l'analyse de l'essence de térébenthine de *Pinus eldarica* provenant de 2 régions géographiques différentes: d'Iran où il est introduit et de Géorgie en U.R.S.S. où il est naturel. L'essence de térébenthine de ces 2 provenances est composée essentiellement de α -pinène, β -pinène et Δ_8 -carène.

Réponse à la troisième question:

Quand une « forme physiologique » de Pin (terme suggéré par Penfold (1935), pour définir des entités subs spécifiques ayant la même apparence morphologique, mais différant par la composition chimique des huiles essentielles) croît dans des conditions écologiques différentes de celles de son habitat, la composition chimique de son essence de térébenthine reste inchangée.

Penfold a été capable de distinguer dans une même localité plusieurs formes physiologiques d'*Eucalyptus*.

Krestinsky et ses collaborateurs (1932), ont trouvé que la composition chimique de l'essence d'une même forme physiologique de *Pinus sylvestris* croissant dans des conditions écologiques différentes reste inchangée.

Réponse à la quatrième question:

La composition de l'essence de térébenthine varie avec les organes de la plante. L'essence des feuilles n'est pas identique à celle du bois.

Il en résulte que la composition de l'essence de térébenthine du bois a une valeur taxonomique réelle et peut nous être d'une grande utilité pour l'étude des cinq Pins méditerranéens.

3.1.3 — Spécificité de l'essence de térébenthine

Il est connu (MIROV, 1961) que certains Pins étroitement proches parents peuvent posséder des essences de térébenthine de composition différente. D'un autre côté, il est connu aussi que deux espèces taxonomiquement éloignées peuvent avoir des essences de composition à peu près identiques. La fraction des sesquiterpènes de ces Pins peut être différente, mais notre connaissance sur la composition de cette fraction est encore trop faible pour permettre une conclusion.

La composition chimique de l'essence de térébenthine n'est pas toujours en corrélation avec la position taxonomique des Pins pour les raisons suivantes :

— Notre connaissance de la chimie de l'essence de térébenthine des Pins est encore incomplète.

— Il existe encore beaucoup de désaccord entre les botanistes en ce qui concerne la classification des Pins.

— Pendant l'évolution des Pins, les caractères morphologiques et les caractères biochimiques ont suivi, très souvent, des voies différentes.

— Il faut se souvenir, aussi, que le genre *Pinus* d'aujourd'hui est différent de celui du Tertiaire. Les plus âgés des Pins encore vivants ne vont pas plus loin que le *Miocène* probablement (MIROV, 1961). La parenté biochimique qui existait entre les Pins durant le Jurassique, était vraisemblablement différente de celle qui existe entre les Pins d'aujourd'hui.

Pendant l'évolution du genre *Pinus*, plusieurs espèces se sont éteintes, alors que des espèces nouvelles ont pris naissance.

Nous avons donc, dans nos Pins actuels, des restes d'un modèle biochimique ancien. Certains de ces restes sont difficiles à adapter à la structure actuelle du genre *Pinus*, alors que d'autres s'ajustent très bien et sont, de ce fait, très utiles en taxonomie, car ils nous permettent de mieux comprendre les liens de parenté entre les Pins vivants.

Les difficultés de trouver une corrélation entre taxonomie et biochimie de l'essence de térébenthine, se présentent principalement dans les cas suivants :

— Quand une espèce botanique complexe, comme *Pinus sylvestris*, *P. ponderosa*, possède plusieurs variétés dont chacune a sa propre essence de térébenthine.

— Quand une espèce est incluse d'une façon erronée dans une autre espèce. MIROV (1961) donne l'exemple du *Pinus engelmannii* qui, jusqu'à une époque récente, était considéré comme synonyme de *P. ponderosa*.

Du point de vue biochimique, ces 2 Pins sont totalement différents.

— Quand des mutants chimiques ou des arbres anormaux se rencontrent dans une espèce donnée. Des mutants chimiques ont été observés, d'une façon occasionnelle, chez certains Pins: KRESTINSKY et ses collaborateurs (1930) ont observé une essence de térébenthine de composition anormale obtenue à partir d'un arbre de *P. sylvestris*. L'essence a complètement perdu le Δ^3 -carène habituel. Elle était composée simplement de α -pinène, de camphène et de 1- β -phellandrène.

— Quand deux espèces se croisent naturellement.

Il ressort de ce qui précède qu'il serait vain, en l'état actuel de nos connaissances, de développer une classification naturelle de Pins en se basant sur leurs caractères biochimiques.

Nous pouvons simplement dire maintenant que la biochimie et la taxonomie des Pins s'accordent le plus souvent et que, quand des caractères morphologiques sont ambigus, une connaissance de la biochimie de l'essence de térébenthine peut nous être très utile.

3.1.4 — Analyse des échantillons d'oléorésine des Pins.

A — Provenance des échantillons

L'analyse de l'oléorésine a porté sur des échantillons provenant des régions suivantes :

	<i>Provenance</i>
N° 1 - Pin d'Ålep	Cadenet (Vaucluse) - France.
2 - » »	Environs d'Athènes - Grèce.
3 - Pin brutia	Baer-Bassit - Syrie.
4 - Pin eldarica	Deh-Nore, près de Téhéran - Iran.
5 - » »	Géorgie - U.R.S.S.
6 - Pin stankewiczii (1)	Crinée - U.R.S.S.

(1) L'analyse de cette essence a été faite, sur notre demande, au « Forest Products Laboratory » de l'Université de Californie, que nous tenons à remercier ici. La chromatographie en phase gazeuse a été utilisée.

B — Méthodes d'analyse

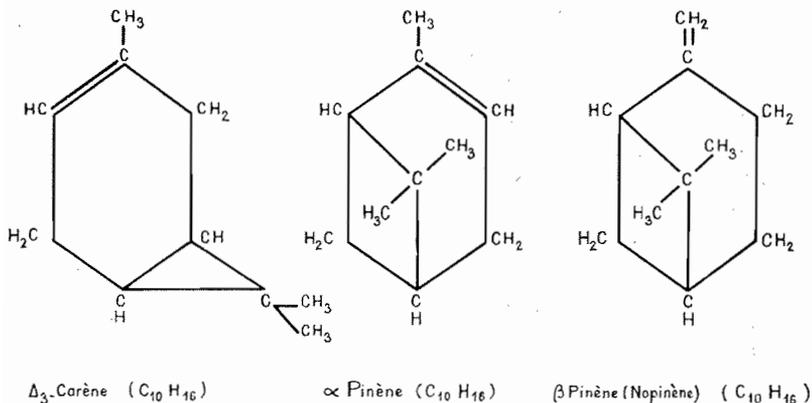
a) Extraction de l'essence de térébenthine

L'extraction de l'essence de térébenthine a été faite par entraînement à la vapeur d'eau à partir de l'oléorésine brute. Cette technique a été préférée à la distillation sèche, même sous pression réduite, qui risquait de provoquer l'isomérisation des carbures terpéniques, spécialement du β -pinène, dont la fragilité est bien connue (ELSEVIER, 1948; M. VILKAS et N.-A. ABRAHAM, 1951, 1959). On élimine ainsi le risque de modification de la composition de l'essence.

b) Analyse chimique de l'essence de térébenthine

Cette analyse a été effectuée au Laboratoire de M. le Professeur GRANGER, de la Faculté de Pharmacie, avec le précieux concours de M. PASSET. La méthode utilisée est celle de la *chromatographie en phase gazeuse*.

— Conditions opératoires: Les chromatogrammes ont été effectués sur un appareil PROLABO à four électrique thermostaté avec détecteur différentiel à conductivité thermique en filament de tungstène, alimenté sous tension constante de 8 volts. L'enregistreur



GRAPHISPOT a été réglé, pour donner un parcours d'échelle 0-250 pour 10 mV. Le débit de gaz-vecteur (hydrogène) est de 100 ml à la minute à l'effluence.

La vitesse de déroulement du papier est de 6 mm à la minute.

La colonne spiralee, en acier inoxydable, de $225 \times 0,6$ cm est emplie de CHROMOSORE, imprégnée à 22 % de CARBOWAX 400 (Polyéthylène - glycol).

La température du four est réglée à 100°, celle de la chambre d'injection à 150°.

Les injections de l'ordre de 4 à 5 μ l suivant le cas, ont été faites avec une seringue micrométrique.

— Analyse qualitative: L'identification des pics du chromatogramme (donc les constituants de l'essence), se fait par comparaison de leurs distances de rétention avec celle de produits-témoins purs, injectés dans les mêmes conditions. La distance de rétention est l'intervalle qui sépare le point d'injection de la projection du sommet du pic sur la ligne de base.

Cette distance de rétention peut être convertie en temps de rétention, la vitesse de déroulement de papier étant constante (6 mm par minute).

— Analyse quantitative: Dans le cas de l'essence de térébenthine, la surface des pics est proportionnelle à la quantité des produits existants dans le mélange. En effet, les terpènes de cette essence (α et β -pinène, Δ_3 -carène et limonène) ont tous le même poids moléculaire (G. BRUS, P. LEGENDRE, G. NIOLE, 1961).

Interprétation des chromatogrammes.

L'interprétation des chromatogrammes a donné les résultats suivants:

Essence n° 1 (Pin d'Alep - Origine: Cadenet, France)

Cette essence est constituée pratiquement par de l' α -pinène pur. Les autres constituants représentent ensemble moins de 2 % de l'essence et se traduisent sur le chromatogramme par de simples épaulements et qui permettent d'identifier des traces de β -pinène, Δ_3 -carène et limonène.

Essence n° 2 (Pin d'Alep - Grèce)

Cette essence est constituée pratiquement par l' α -pinène pur. Le reste des constituants qui représente moins de 3 % est formé de β -pinène, Δ_3 -carène et une trace de limonène.

Essence n° 3 (Pin brutia - Origine: Baer-Bassit, Syrie)

Cette essence est composée de:

α -pinène	58,5 %
β -pinène	9 %
Δ_3 -carène	29 %
limonène	3,5 %

Essence n° 4 (Pin *eldarica* - Origine: Iran)

Cette essence est composée de:

α -pinène	78 %
β -pinène	7 %
Δ_3 -carène	14 %
limonène	1 %

Essence n° 5 (Pin *eldarica* - Origine: Géorgie, U.R.S.S.)

Cette essence est composée de:

α -pinène	58 %
β -pinène	3,5 %
Δ_3 -carène	32 %
limonène	0,5 %
camphène	1 %
myrcène	1 %
β -pellandréne	0,5 %
indéterminés	4 %

Essence n° 6 (Pin *stankewiczii* - Origine: Crimée, U.R.S.S.)

Cette essence est composée de:

α -pinène	68,5 %
β -pinène	6 %
Δ_3 -carène	24,5 %
camphène	1 %

C — Confrontation de nos résultats avec ceux obtenus par d'autres auteurs

Conclusion

Le tableau suivant résume les résultats que nous avons obtenus et ceux obtenus par d'autres auteurs sur l'analyse d'oléorésine de quelques Pins qui nous intéressent dans la Région méditerranéenne.

Ce tableau nous permet de diviser ces Pins en deux sous-groupes suivant la composition de leur essence de térébenthine:

1° Sous-groupe *halepensis*: Il renferme le Pin d'Alep dont l'essence de térébenthine est fortement *dextrogyre* avec un pouvoir rotatoire allant de $+41^\circ$ à $+47^\circ$ et constituée pratiquement par l' α -pinène pur.

2° Sous-groupe *brutia*: Il renferme les *Pinus brutia*, *stankewiczii*, *pithyusa* et *eldarica*. Son essence de térébenthine est *lévogyre* et

ANALYSES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE L'ESSENCE DE TEREBENTHINE
DES 5 PINS MEDITERRANEENS DU GROUPE HALEPENSIS

Pins	Provenance	Auteurs	Analyses physiques				Analyses chimiques en %											
			Pouvoir rotatoire	Densité	Indice de réfraction	α-Pinène	β-Pinène	d-Δ ³ carbène	Limonène	Acétate de bornyl	Camphène	Myrcène	Sesquiterpène					
Pin d'Alep	Cadéast (France)	Nos résultats	dextr.			98	tr.	tr.	0									
Pin d'Alep	Grèce	Papa-Joannou 1954	+ 41° à + 47°	0,858														
Pin d'Alep	Grèce	Nos résultats	dextr.			97	tr.	tr.	0									
Pin d'Alep	Palestine	Mirov 1955	+ 41°25	0,8575	1,4658	86 - 87	0	0	0									4
Pin d'Alep	Espagne	Ganaza 1928	+ 42°00			94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Pin d'Alep	Provence (France)	Vézes et Dupont 1929	+ 42°00	0,858	1,464	95	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Pin d'Alep	Algérie, Italie, Grèce	Lacuré 1928	+ 42°82 + 48°52	0,8561 0,8590	1,4661 1,4669													
Pin brutia	Chypre	Anonyme 1959	- 20°20	0,8682	1,417													
Pin brutia	Chypre	Mirov 1955	- 28°70	0,8563	1,4612	64	16 - 17	13 - 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	tr.
Pin brutia	Grèce		- 26°00															
Pin brutia	Baer-Bassit Syrie	Service Forestier 1959	- 5°7	0,8614	1,4684													
Pin brutia	Baer-Bassit Syrie	Nos résultats	lév.			58,5	9	29	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pin pithyusa	Caucase	Arbuzov 1932	- 5°33			70	0	23,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pin eldarica	Iran	Nos résultats	lév.			78	7	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pin eldarica	Géorgie, U.R.S.S.	Nos résultats	lév.			58	3,5	32	0,5	0	0,5	0	0,5	1	4	4	4	4
Pin stanekwiczii	U.R.S.S.	Nos résultats	lév.			68,5	6	24,5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	tr.

lév.: lévogyre

dextr.: dextrogyre

caractérisée par la présence de terpènes qui sont pratiquement absents, ou à l'état de traces dans le premier groupe: c'est le β -pinène et le d- Δ_3 -carène. Il nous semble que ce sous-groupe soit surtout caractérisé par la présence du d- Δ_3 -carène qui est présent dans l'essence des 4 Pins et qui a une grande valeur dans le diagnostic des Pins parce que sa fluctuation est beaucoup moins grande que celle du β -pinène. L'essence du Pin pithyusa du Caucase, ne semble pas contenir de β -pinène. Il est très possible que la technique de l'analyse n'ait pas pu le déceler.

La composition de l'essence de térébenthine nous permet déjà de dire que le Pin d'Alep est une espèce distincte des *Pinus brutia*, *stankewiczii*, *eldarica* et *pithyusa* et nous laisse prévoir l'affinité entre ces 4 derniers Pins.

3.2 — Etude palynologique des Pins.

3.2.1 — Provenance des échantillons.

L'étude palynologique a été faite sur des échantillons provenant des régions suivantes:

Provenance

— Pin d'Alep	Algérie (Afrique du Nord)
— Pin d'Alep	Baabda (Liban)
— Pin d'Alep	Région méditerranéenne française
— Pin brutia	Baer-Bassit (Syrie)
— Pin stankewiczii	Crimée (U.R.S.S.)

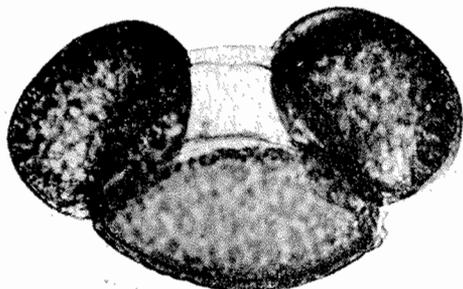
3.2.2 — Etude des pollens.

Cette étude a été faite avec le précieux concours de M. A. PONS, Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Montpellier. Avant de présenter les résultats de cette étude, il serait utile de rappeler quelques définitions.

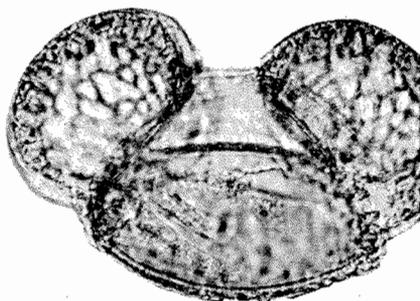
a) Considérations générales sur le pollen des Pins

Les Pins produisent, en énorme quantité, un pollen morphologiquement adapté au transport aérien. Les grains sont *anémochores* possédant deux *ballonnets* plus ou moins volumineux, symétriquement placés de chaque côté du grain.

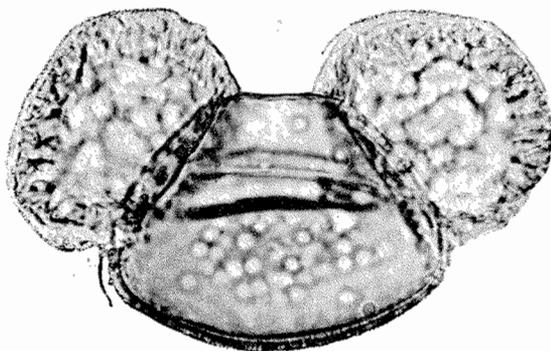
Ces grains sont protégés par une enveloppe appelée *exine* et composée de trois membranes. La membrane la plus externe est l'*ectexine*; elle est fine, élastique et perméable à l'air. L'*ectexine* est doublée à l'intérieur, aussi bien dans la *calotte* que dans les *ballonnets* par la *méséxine*. L'ensemble *ectexine* et *méséxine*, est désigné souvent par le terme, *ectoméséxine* et forme une carapace autour du grain.



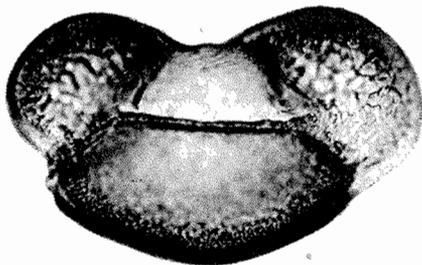
1. *Pinus halepensis*
Origine: Montpellier, France $\times 1000$.



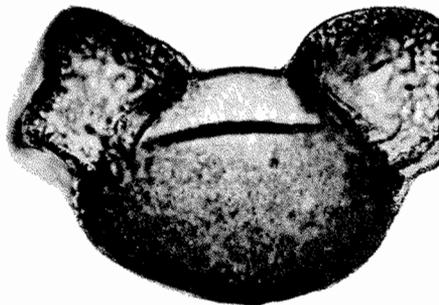
2. *Pinus halepensis*
Origine: Oran, Algérie $\times 1000$.



3. *Pinus halepensis*
Origine: Baabda, Liban.
(Les taches claires sont des artéfacts)



4. *Pinus brutia*
Origine (Baer-Bassit, Syrie) $\times 1000$.



5. *Pinus brutia* ssp. *stankeviczi*
Origine (Crimée méridionale, URSS) $\times 1000$.

La membrane la plus interne est l'*endexine*. Elle est mince et résistante; c'est elle qui protège le contenu du grain du contact de l'air.

Entre les ballonnets, dans le plan antéropostérieur et sur la face distale (ventrale) se trouve la *zone germinale*, qui est une zone de moindre résistance où l'exine se déchire pour laisser passer le tube pollinique.

La région proximale (dorsale) du grain s'appelle la *calotte*. Dans certains cas, le bord de la calotte, c'est-à-dire la partie qui borde la zone germinale et forme la racine proximale des ballonnets, est épaissi et a reçu le nom de *crête marginale ou proximale*. Le terme *corps du grain*, est réservé au volume limité par l'endexine.

Mme VAN CAMPO-DUPLAN donne au ballonnet une importance primordiale dans l'étude des grains de pollen des Pinacées. Les variations considérables de leurs caractères (forme, position, ornementation) sont des éléments de premier ordre pour entreprendre la détermination des grains.

Les différents types de structure de l'exine des ballonnets ont été décrits par Mme VAN CAMPO-DUPLAN (*in* A. PONS, 1956); ils sont au nombre de trois:

— type 1: Les éléments de mésexine sont disposés dans des sens variables dans l'épaisseur de l'ectomésexine et plus ou moins anastomosés.

— type 2: Ils peuvent former un réseau irrégulier à la surface des ballonnets.

— type 3: Ces éléments s'anastomosent parfaitement entre eux, et le grain est couvert d'un réseau régulier.

b) Méthodes d'étude

Les grains de pollen ont été préparés par acétolyse (méthode ERDTMAN, 1934, 1933, 1961) et montés dans de la glycérine. Les préparations ont été toutes réalisées en même temps et les mensurations faites dans un laps de temps n'excédant pas dix jours (un mois et demi après les préparations).

c) Les résultats

Nous donnons ci-après les résultats de l'étude des 5 provenances de pollen (50 grains examinés pour chaque provenance).

Pollen du Pin d'Alep de France:

Taille du corps du grain: 54,6 μ (de 45,7 à 58,2 μ) (1)
(48,9 à 58,2) (2)

(1) Dimensions extrêmes absolues.

(2) Dimensions extrêmes absolues observées au moins 2 fois.

Profondeur des ballonnets: de 23,40 μ à 31,20 μ ; 28,04 μ est la dimension la plus fréquente.

Forme du corps du grain: subsphérique ou légèrement aplati (trapézoïdal).

Les ballonnets n'atteignent qu'exceptionnellement la moitié du volume du corps du grain.

L'attache des ballonnets est très franchement rétrécie, du type « *sylvestris* » marqué.

L'exine des ballonnets est à double réseau: le plus superficiel est grand et souvent ouvert, le plus profond est petit et fermé (rarement ouvert).

L'exine de la calotte est en réseau à très petites mailles.

Les crêtes marginales et le rebord latéral n'ont pas de caractère particulier.

La calotte est de 4 à 6 μ d'épaisseur; l'épaisseur moyenne étant 4,5 μ et la plus fréquente 4 μ .

Les boursouffures de la calotte sont le plus souvent typiques de celles du genre, mais quelquefois elles ne sont représentées que par de simples denticulations à faible courbure.

Les ballonnets ne sont pas emboîtants.

Pollen du Pin d'Alep d'Algérie (1):

Taille du corps du grain: 52,4 μ (de 46,8 à 59,5)
(48,9 μ à 58,2)

Profondeur du corps du grain: de 27 à 33 μ ; 29,5 μ étant la dimension la plus fréquente.

Différence avec le pollen du Pin d'Alep de France:

- ballonnets beaucoup plus volumineux (toujours ou presque, plus gros que la moitié du corps du grain.
- calotte à boursouffures presque toujours réduites à des denticulations.

Pollen du Pin d'Alep du Liban:

Taille du corps du grain: très proche de celle constatée chez le Pin d'Alep français, mais la taille moyenne est légèrement supérieure du fait de l'existence d'un petit nombre de grains de plus grande taille (20 %) qui atteignent 64 μ .

(1) Les grains de pollens publiés représentent les caractéristiques synthétiques des grains de pollens des Pins étudiés.

Profondeur des ballonnets: 19,2 à 28 μ ; 26 μ étant la dimension la plus fréquente.

Différences avec le Pin d'Alep de France:

- Quelques grains à attache large.
- Calotte parfois (20 %) à réseau un peu plus grand.
- Ondulations de la calotte plus fréquentes.

Pollen du Pin brutia de Syrie:

Taille du corps du grain: 56,7 μ (de 50,9 à 64,4)
(54,1 μ à 59,8)

Profondeur des ballonnets: 26 à 32,20 μ ; 29,12 μ étant la dimension la plus fréquente.

Forme du corps du grain: Légèrement allongé (trapézoïdal plutôt qu'ellipsoïde). Les ballonnets sont peu volumineux; le rapport volume du ballonnet 1/2 corps du grain est toujours inférieur à 1.

L'attache du ballonnet est du type « *sylvestris* », mais avec une nette tendance vers un élargissement de la base (« haploxyton ») sur une forte proportion de grains.

Exine des ballonnets: type 2 avec réseau secondaire du type 3.

Exine de la calotte: Réseau le plus souvent fermé, mais à mailles relativement grandes.

Les crêtes marginales et le rebord latéral sont typiques du genre.

Épaisseur de la calotte: Plus de 4 μ (4⁺ à 6⁺) avec des boursofflures qui, dans la moitié des cas, sont réduites à de simples ondulations de grande amplitude.

La calotte est assez étendue (ballonnets non rejetés vers la face dorsale).

Les ballonnets ne sont jamais emboîtants.

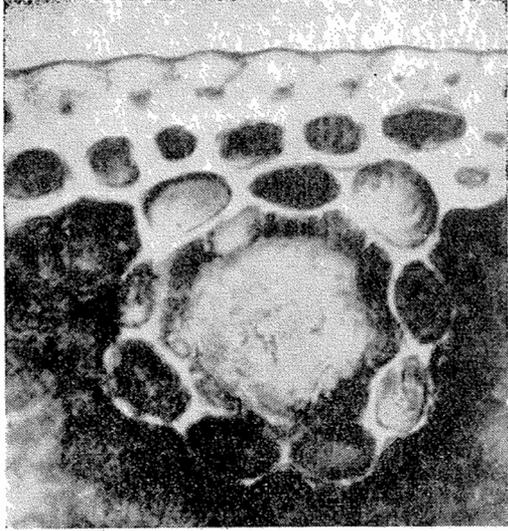
Pollen du Pin stankeviczii:

Taille du corps du grain: 57,7 μ (de 50,4 à 63,4)
(53 à 59,8)

Profondeur des ballonnets: Moindre que dans *P. brutia*: 23,4 μ à 31,2 (27,56 le plus souvent).

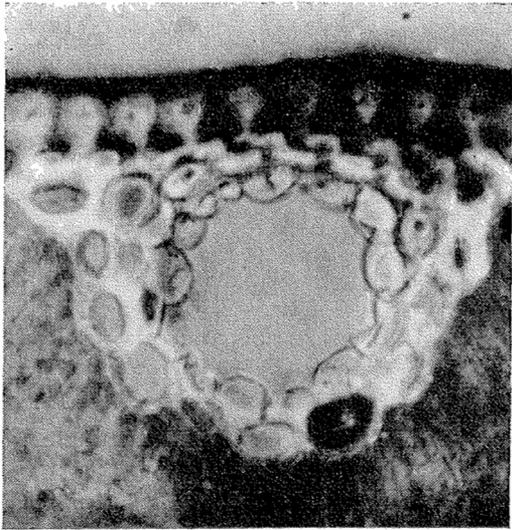
Différences avec *P. brutia*:

- Calotte plus épaisse (de 6 à 9 μ ; 7,5 étant l'épaisseur la plus fréquente).
- Racine proximale quelquefois sans crête (20 %) ou à crêtes faibles.
- Réseau secondaire de l'exine des ballonnets plus souvent ouvert.



Canal sécréteur d'une feuille de *P. halepensis* $\times 450$

(D'après M. SELIK.)



Canal sécréteur d'une feuille de *P. brutia*.

(D'après M. SELIK.)

3.2.3 — Interprétation des résultats.

Les résultats de l'étude des pollens montrent clairement :

1° Que le Pin d'Alep et le Pin *brutia* n'appartiennent pas à la même entité spécifique. Ce sont deux espèces différentes, mais, sans aucun doute, proches-parentes.

2° Que les *P. brutia* et *P. stankeviczii* observés appartiennent à la même entité spécifique. Cependant, les différences observées chez les pollens des deux Pins, dans l'épaisseur de la calotte et l'absence des crêtes proximales chez certains grains de pollen de *P. stankeviczii*, nous montrent une certaine affinité taxonomique entre ces deux Pins, et sont suffisantes (d'après A. PONS), pour penser qu'il s'agit de deux sous-espèces.

3° Que le pollen du Pin d'Alep est polymorphe et qu'il présente des formes spéciales suivant les régions géographiques :

- Forme orientale (Liban),
- Forme occidentale (France),
- Forme nord-africaine (Algérie).

La forme orientale ou libanaise présente des caractères particuliers, mais les plus importants (taille, profondeur et attache des ballonnets, réseau de la calotte) font penser à une ressemblance avec le *P. brutia* (convergence?, introgression ancienne?)

La forme nord-africaine correspond à une entité difficile à préciser, mais relativement bien marquée, et sans relation avec aucune autre espèce.

Cette étude nous montre l'hétérogénéité du Pin d'Alep dans le bassin méditerranéen. Elle doit être poursuivie par l'étude des pollens de Pin d'Alep d'autres régions et en particulier du Pin d'Alep de Lybie, pays après lequel le Pin d'Alep disparaît pour réapparaître dans le Proche-Orient, en Palestine et celui de Grèce dont les massifs sont séparés de ceux du proche-Orient par la Turquie.

3.3 — Anatomie des feuilles.

Certains auteurs (M. SELIK, 1959; GAUSSEN, 1961) attachent une grande importance taxonomique à l'anatomie des aiguilles des Pins.

M. SELIK (1959) a étudié l'anatomie détaillée des aiguilles du Pin d'Alep et du Pin *brutia*. Il a pu déceler l'existence de caractères anatomiques spécifiques auxquels il donne une grande valeur pour la distinction de ces deux Pins, permettant une détermination sans avoir recours aux inflorescences. Ces caractères spécifiques résident dans la structure des cellules de séparation qui entourent les cellules sécrétrices des canaux résinifères et dans celle des cellules du tissu de séparation existant entre les faisceaux libéro-ligneux.

1° Chez *P. brutia*, les cellules de séparation qui entourent les cellules sécrétrices des canaux résinifères sont morphologiquement semblables à celles de l'hypoderme. Chez *P. halepensis*, elles sont différentes de celles de l'hypoderme par leur paroi plus mince et leur cavité plus grande.

2° Chez *P. brutia*, le tissu de séparation entre les faisceaux libéro-ligneux, est formé de cellules à paroi épaisse et cavité étroite.

Chez *P. halepensis*, ces cellules sont à paroi plus mince et cavité plus large.

L'étude anatomique des feuilles des Pins d'Alep et *brutia* nous apporte un argument de plus en faveur de l'appartenance de ces deux Pins à deux entités spécifiques différentes.

3.4 — Anatomie du bois.

3.4.1 — Généralités sur la structure du bois des conifères.

La structure du bois tient une place essentielle dans l'ensemble des caractères qui permettent de définir une espèce d'arbre ou d'établir la parenté plus ou moins grande entre plusieurs espèces d'arbres.

Chaque espèce d'arbre possède un « plan ligneux » constant, c'est-à-dire que son bois est toujours constitué par des cellules de même nature et groupées de la même façon.

La connaissance de la structure du bois a aussi une grande importance du point de vue technique. En effet, la relation est étroite entre les diverses propriétés techniques, propriétés physiques, chimiques ou mécaniques, desquelles dépendent ses possibilités d'emploi et ses usages industriels.

Avant de parler de la structure du bois des Pins d'Alep et *brutia*, il serait utile de rappeler succinctement les particularités de la structure anatomique des bois des Conifères et des *Pinus* en général (d'après GREGUSS, 1955; JACQUIOT, 1955).

A — Structure anatomique du bois des Conifères

A.1. — Les éléments fondamentaux et accessoires du bois.

Les bois des Conifères ont une structure simple. Parmi les cellules qui constituent le bois, on peut distinguer deux catégories d'éléments :

1° Des éléments fondamentaux toujours présents et constituant la presque totalité de la masse du bois. Ce sont :

a) *Les trachéides verticales*, appelées vulgairement fibres. Ce sont des cellules allongées dans le sens de l'axe de l'arbre, de section

sensiblement quadrangulaire et se terminant en biseaux très allongés ; leur longueur varie de 1,5 mm à 4,5 mm, leur largeur de 20 à 60 μ .

Chez la grande majorité des Conifères la limite entre le bois final et le bois initial de l'année suivante est très tranchée, et les zones d'accroissement successives sont très distinctes les unes des autres ; ce fait résulte du contraste marqué entre les trachéides formées au début de la saison de végétation (bois initial) ou trachéides de printemps à forte section, à paroi mince et à large lumen et les trachéides formées à la fin de la saison (bois final) ou trachéides d'été, aplaties radialement et à lumen très réduit, ces dernières formant un bois plus dense, plus dur et plus coloré que le bois initial.

Les trachéides présentent d'une manière constante sur leurs parois, des *punctuations aréolées*, qui assurent la communication entre les trachéides et des *punctuations simples* de type variable dans les champs de croisement avec les cellules de parenchyme des rayons.

b) Les cellules de parenchyme des *rayons ligneux* (appelés souvent improprement rayons médullaires). Ces cellules sont allongées radialement et groupées en minces feuilletts radiaux dont l'épaisseur, en section tangentielle, est ordinairement d'une seule cellule (rayons unisériés), quelquefois de deux (rayons bisériés).

Les cellules de parenchyme des rayons ligneux sont des cellules à parois minces ou épaisses et ornées de punctuations simples qui les font communiquer, soit entre elles, soit avec les trachéides.

2° Des éléments accessoires présents chez certaines espèces seulement.

a) *Trachéides transversales.*

On les trouve, en particulier, dans les genres *Pinus*, *Picea*, *Larix* et *Cedrus*. Ce sont des trachéides courtes, munies de punctuations aréolées et disposées dans chaque rayon ligneux, en files radiales. Ce sont des cellules mortes.

b) *Parenchyme.*

Cellules assez analogues par leur forme générale aux cellules de parenchyme des rayons, mais formant des files longitudinales réparties parmi les trachéides et comprenant un certain nombre de cellules. Elles accumulent, en général, de l'oléorésine. On les trouve en particulier dans le genre *Cedrus*, et dans les familles des Cupressacées et Taxodiacées.

c) *Canaux résinifères.*

Ils sont constitués par des cellules sécrétrices ou cellules bordantes tapissant la paroi interne d'un canal cylindrique dans lequel

s'écoule et s'accumule l'oléorésine, répartis dans la masse des trachéides. Ces canaux sont de 2 types: canaux verticaux, répartis dans la masse des trachéides, et canaux horizontaux, de direction horizontale radicale, placés vers la partie moyenne d'un rayon ligneux.

Les cellules sécrétrices sont à parois minces dans le genre *Pinus*, à parois épaisses dans les genres *Picea*, *Larix*, *Pseudotsuga*.

Lorsque les cellules bordantes ont des parois minces, elles émettent souvent dans la cavité du canal des proliférations, les *thylloïdes*, qui obstruent celui-ci.

A.2. — Caractères des ponctuations.

— Les ponctuations simples: Ce sont des ponctuations dont la cavité est limitée par un cylindre droit ou une surface-canal de diamètre constant. À ce type appartiennent les ponctuations simples entre cellules de parenchyme, qu'il s'agisse de parenchyme des rayons ou du parenchyme vertical. Dans les champs de croisement des cellules de parenchyme des rayons et des trachéides, on trouve des ponctuations qui doivent être rapprochées de ce type. On distingue dans ces ponctuations plusieurs types (JACQUIOT, 1955): type pinoïde, taxodiïde, cupressoïde, picéïde.

— Les ponctuations aréolées: elles se trouvent exclusivement dans les trachéides. Elles sont constantes sur les parois radiales, mais ne s'observent sur les parois tangentielles que chez certaines essences. Au niveau d'une ponctuation aréolée, la lamelle moyenne présente au centre du champ de la ponctuation un épaissement lenticulaire, le *torus*.

Le champ de la ponctuation, sensiblement circulaire, se présente comme une surface de décollement de la paroi secondaire qui forme une voûte limitant une cavité, la *chambre* de la ponctuation.

Enfin, de part et d'autre du *torus*, la chambre de la ponctuation communique avec chacune des cellules par un *orifice* assez fin. Si la paroi est épaisse, un *canal* assez fin relie le pôle de la chambre à la lumière de la cellule.

Les ponctuations aréolées occupent dans les trachéides verticales du bois initial toute la largeur de la cellule et sont très rapprochées, dans le bois final, elles se réduisent considérablement. Elles sont parfois bi- ou trisériées, plus rarement quadrisériées.

Les ponctuations aréolées des trachéides transversales sont nettement plus petites que celles des trachéides verticales et entourées de petites crêtes quand la paroi est épaisse.

B — Structure anatomique du bois des *Pinus*

Les *Pinus* se distinguent aisément des autres Conifères par la présence de canaux résinifères dans leur bois. Les cellules parenchymateuses qui tapissent ces canaux ne se lignifient pas, mais restent entièrement à parois minces, avec parfois, çà et là, des épaississements occasionnels. Cette particularité permet de différencier les *Pinus* des *Pseudotsuga*, *Larix* et *Picea*, chez lesquels les cellules des canaux résinifères sont à parois épaisses.

En outre, les parois longitudinales des trachéides chez les *Pinus* sont toujours lisses et dépourvues d'épaississements spiralés, sauf peut-être dans les premières couches d'accroissement du bois. Cette particularité permet de séparer les *Pinus* des *Torreya*, *Taxus*, *Cephalotaxus*, *Pseudotsuga* et, dans certains cas, des *Larix* et *Picea*.

Dans les parois radiales des trachéides longitudinales, les ponctuations aréolées sont alignées sur une rangée longitudinale. Dans les trachéides les plus larges, on rencontre occasionnellement des ponctuations doubles.

Une particularité supplémentaire de l'anatomie du bois des *Pinus* est l'absence de parenchyme, bien qu'on puisse le trouver et d'une façon exceptionnelle chez certaines espèces, comme *Pinus massoniana* et *P. cembroides* var. *monophylla*. Les trachéides transversales frangent les rayons ligneux, mais elles ne sont pas rares dans le corps du rayon parmi les cellules du parenchyme.

La face interne des parois des trachéides transversales est lisse chez les *Pinus* appartenant au groupe « *haploxyton* » (*P. cembro*, *P. strobus*, *P. monticola*, *P. cembroides*); chez ceux appartenant au groupe « *diploxyton* » (*P. halepensis*, *P. brutia*, *P. pinea*, *P. sylvestris*, *P. laricio*, *P. pinaster*) des dents, de taille différente, pénètrent dans le lumen et s'y ramifient.

Les cellules parenchymateuses sont aussi bien à parois minces ou épaisses. Ces deux types de parenchyme peuvent exister dans le même rayon ligneux.

On attache une grande importance pour l'identification des espèces à la structure des rayons ligneux et en particulier aux particularités que révèle leur morphologie interne.

3.4.2 — Particularités anatomiques du bois des Pins d'Alep et *P. brutia*.

A — Particularités anatomiques du bois de Pin d'Alep

Trachéides:

Il n'y a pratiquement pas de différences dans les parois des trachéides de printemps (bois initial) et des trachéides d'été (bois

final). On rencontre quelquefois des trachéides à parois minces, mais elles ne sont pas uniquement réservées au bois final. Les dernières trachéides du bois final ne sont pas aplaties, ce qui rend quelquefois un peu délicat la distinction des couches d'accroissement successives.

Les ponctuations dans les parois radiales des trachéides sont unisériées. Les ponctuations doubles sont absentes. Dans les parois tangentielles des dernières trachéides, d'été, on trouve quelques ponctuations seulement, mais qui sont très larges (10-12 μ); les orifices sont circulaires, ou courts et circulaires. Exceptionnellement, de tels orifices apparaissent dans les trachéides de la zone de transition. Les trachéides verticales ne présentent pas d'épaississements spirales.

Rayons ligneux:

Les parois des cellules parenchymateuses des rayons ligneux sont le plus souvent lignifiées et quelque peu épaisses, et, par conséquent ne se distinguent pas aisément, dans cette surface, des trachéides transversales à parois plus minces.

Cependant, occasionnellement, les parois de quelques cellules des rayons ligneux et même celles de tous les éléments parenchymateux des rayons, restent non lignifiées et minces et ne développent pas de ponctuations. De tels rayons ligneux renferment fréquemment des canaux résinifères.

Les rayons ligneux sont unisériés et ont une hauteur de 8 à 10 cellules environ. Ceux qui renferment des canaux résinifères sont plus hauts (15 cellules environ). Par champ de croisement, on trouve une à 4 ponctuations pinoïdes moyennes.

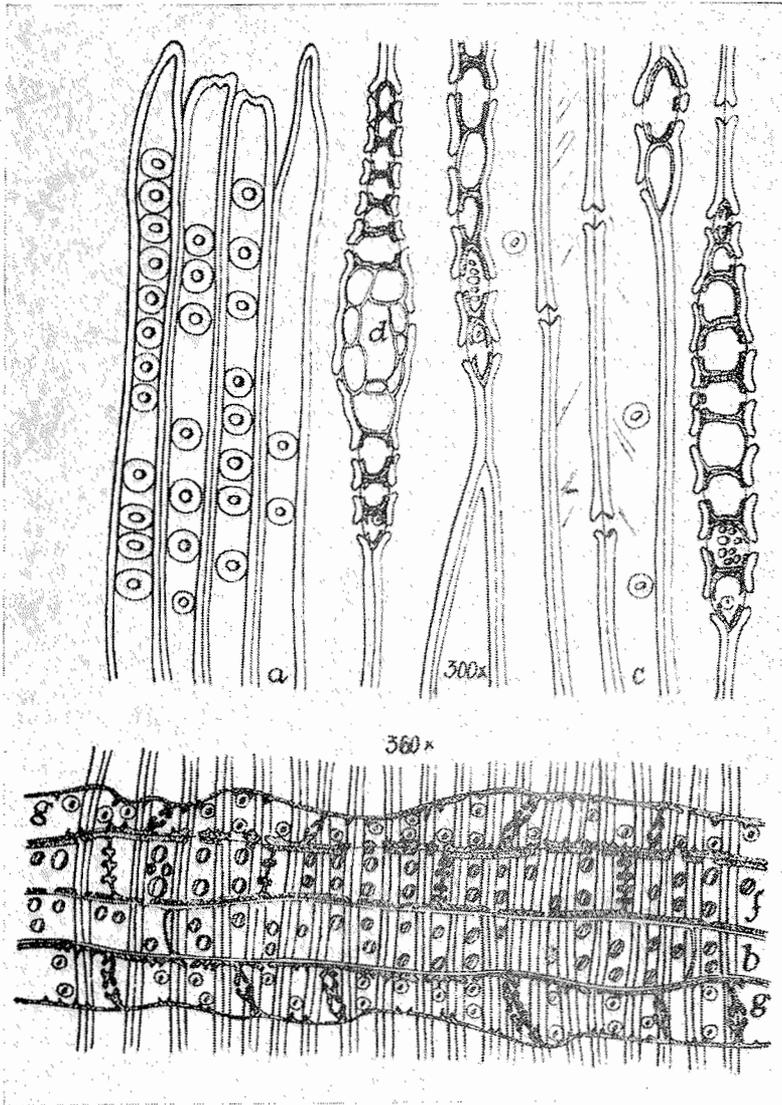
Canaux résinifères:

Les canaux résinifères sont dispersés dans le bois final et le bois initial. Les cellules bordantes de ces canaux sont à parois minces. Les canaux verticaux sont nombreux, fins à gros (100-200 μ) et disséminés dans le bois initial et le bois final. Les canaux horizontaux sont plus petits et contenus dans certains rayons.

B — Particularités anatomiques du bois de Pin brutia

Nous présentons les particularités anatomiques du bois de Pin brutia par rapport à celles du bois de Pin d'Alep.

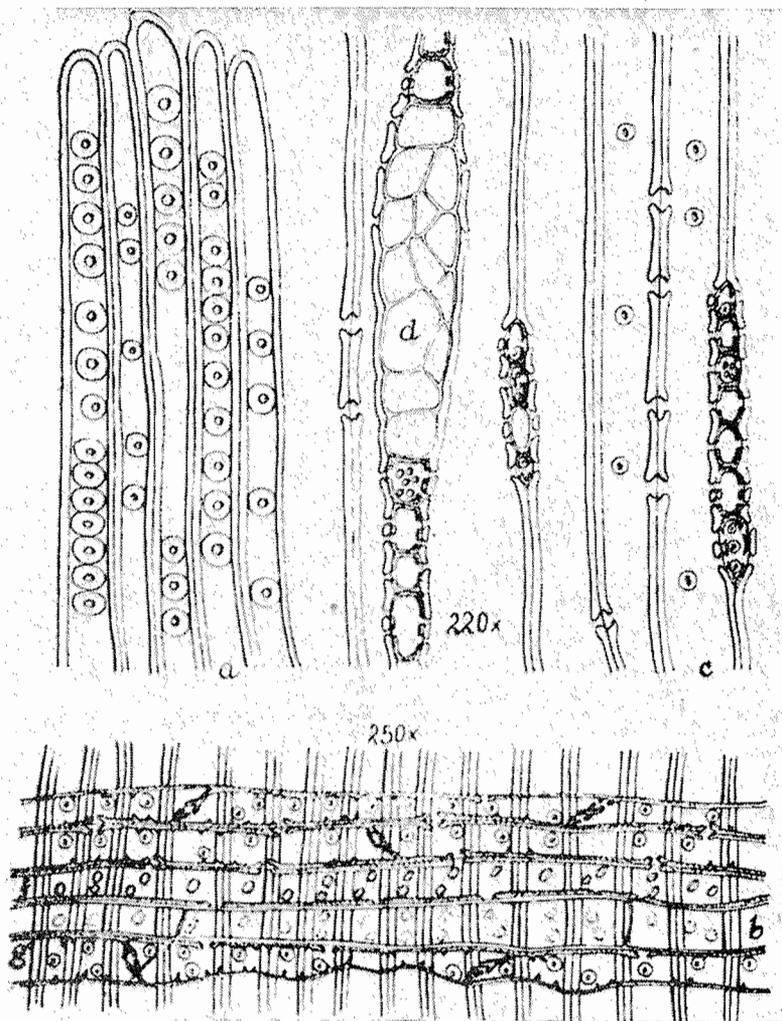
— Les couches d'accroissement sont plus distinctes à cause des parois plus épaisses des éléments du bois final et de l'aplatissement des dernières trachéides du bois final.



Éléments du bois de *P. halepensis*.

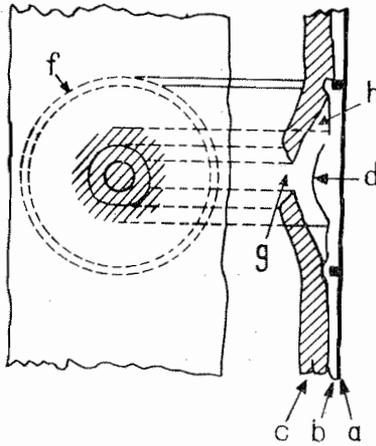
- a — Trachéides, côté radial.
- b — Cellules de rayon ligneux à paroi épaisse.
- c — Trachéides, côté tangentiel.
- f — Cellules de rayon ligneux à paroi mince.
- d — Parenchyme du bois.
- g — Trachéides transversales.

(Daprès GREGUSS.)

Eléments de bois de *P. brutia*.

(D'après GREGUSS.)

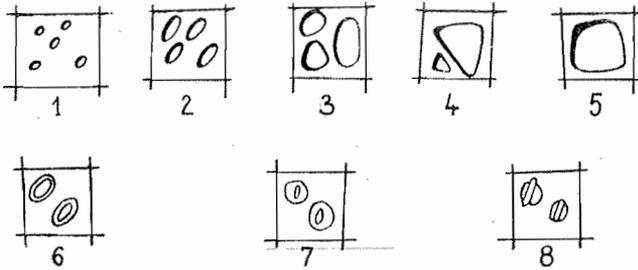
Ponctuations aréolées



Lamelle moyenne	a	Torus	d
Paroi primaire	b	Annulus	f
Paroi secondaire	c	Orifice	g
Chambre	h		

(D'après BOUREAU.)

Ponctuations simples



Type pinoïde	1, 2, 3, 4, 5	Type cupressoïde	7
Type torodioïde	6	Type picéoïde	8

(D'après JACQUIOT.)

— Les canaux résinifères sont surtout disséminés dans le bois final.

— Les punctuations aréolées dans les parois tangentielles sont plus petites (5 à 7 μ).

— L'orifice des punctuations est oblique, court, linéaire ou en forme d'œil et inclus.

— Les rayons ligneux sont légèrement plus hauts.

— Les différences dans la structure des orifices des punctuations entre ces deux Pins sont encore plus prononcées dans la paroi radiale, et permettent de distinguer, avec grande certitude, le Pin *brutia* du Pin d'Alep.

Les orifices externes des punctuations des parois longitudinales des trachéides du *P. brutia* sont, principalement, allongés ou de forme ovale et leur longueur est égale au diamètre de la punctuation ou légèrement plus grande, tandis que l'orifice interne conserve fréquemment sa forme circulaire ou elliptique. Encore plus allongés sont les orifices des punctuations dans le champ de croisement où, déjà dans le bois initial, elles s'étendent fréquemment jusqu'à l'annulus ou le dépassent.

N.B. — CREGGUS (1955), classe *P. halepensis*, du point de vue de l'anatomie du bois, dans le groupe *Pinea* qui renferme *P. pinea*, *P. canariensis*, *P. halepensis*, *P. brutia*, *P. laricio*, *P. longifolia*, *P. leucodermis*.

Les caractéristiques anatomiques de ce groupe sont les suivantes : Parois des trachéides transversales avec des légères et rares denticulations. Dans le champ de croisement 1-3 (5-10) punctuations picéoides de dimensions presque uniformes et de diamètre allant du 1/4 - 1/3 de la hauteur d'une cellule.

Cellules parenchymateuses des rayons avec des parois minces et épaisses.

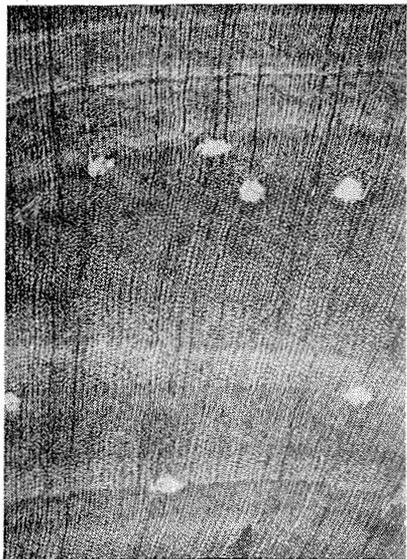
La structure anatomique du bois de *P. halepensis* est assez voisine de celle des *P. leucodermis* et *P. pinea*, mais on peut le différencier de ces derniers comme il suit :

— *P. halepensis* peut être distingué du *P. leucodermis* Antoine (Yougoslavie et Italie) avec une certaine certitude par le fait que chez *P. leucodermis*, les cellules parenchymateuses à paroi mince sont prédominantes et celles à paroi épaisse moins fréquentes. Chez *P. halepensis*, l'inverse est la règle.

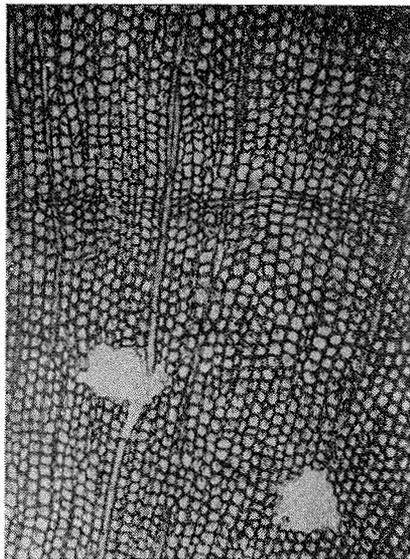
— Chez *P. pinea*, les cellules non lignifiées et à paroi mince du parenchyme sont non seulement très peu fréquentes ou rares, mais très exceptionnelles.

3.4.3 — Conclusion.

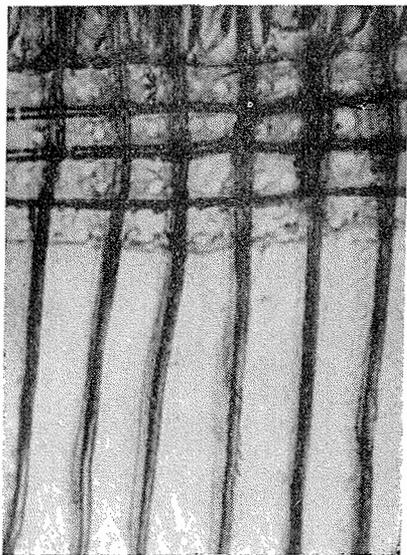
L'étude de l'anatomie du bois de pin d'Alep et de pin *brutia* prouve, à son tour, l'appartenance de ces deux pins à deux entités spécifiques différentes.



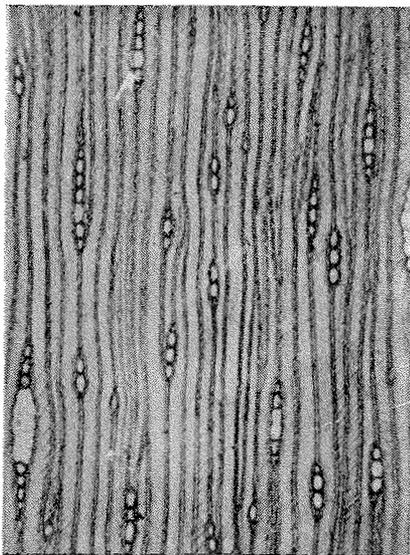
1. (30 ×)



2. (100 ×)



3. (300 ×)



4. (100 ×)

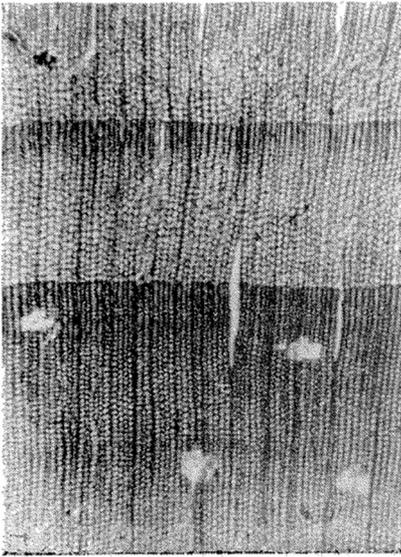
Coupes dans le bois de *P. halepensis*.

1, 2 — Coupe transversale.

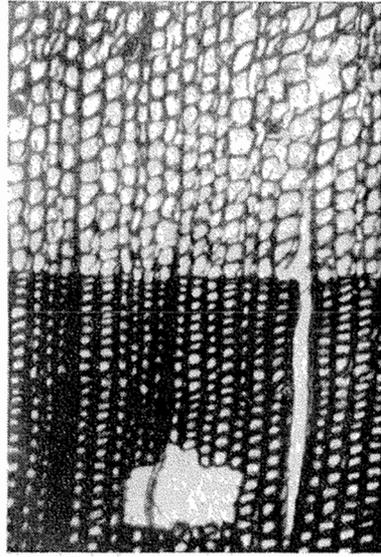
3 — Coupe radiale.

4 — Coupe tangentielle.

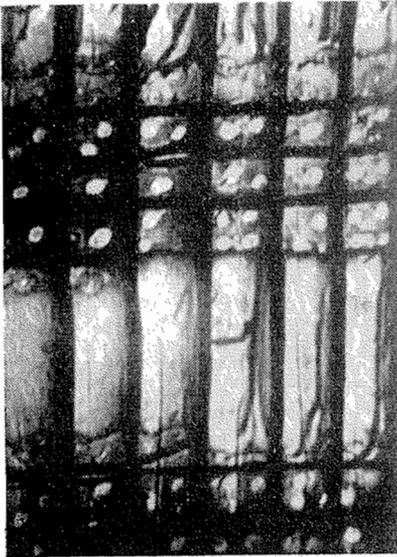
(Daprès GREGUSS.)



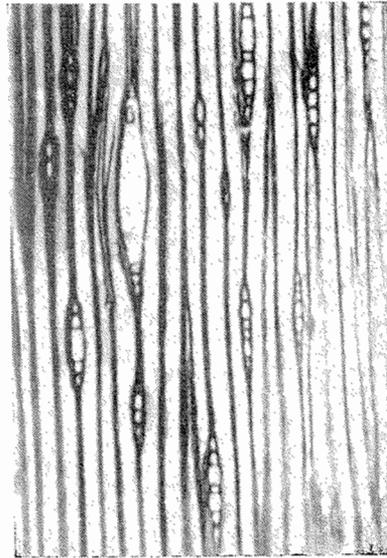
1. (30 ×)



2. (100 ×)



3. (300 ×)



4. (100 ×)

Coupes dans le bois de *P. brutia*.

1, 2 — Coupe transversale.

3 — Coupe radiale.

4 — Coupe tangentielle.

(D'après GREGUSS.)

3.5 -- *Etude morphologique.*

Nous présentons ci-dessous les caractères morphologiques importants et distinctifs de *Pinus halepensis* et de *Pinus brutia*.

Pinus halepensis Mill.*Pinus brutia* Ten.

1. Feuilles

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> — Très fines (moins de 1 mm). — Molles, très finement serrulées sur les bords. — 5 à 10 cm de long. — Réunies par 2, rarement par 3 dans une même gaine. — Groupées en général en pinceau à l'extrémité des rameaux. — Couleur vert-jaunâtre. <p>Ces feuilles donnent à la couronne de l'arbre un aspect clairsemé de couleur vert jaunâtre.</p> | <ul style="list-style-type: none"> — Plus épaisses et plus larges (+ de 1 mm). — Dentelures des bords plus grossières et plus rudes. — Plus longues (plus de 10 à 15 cm). — Réunies par 2. — Non réunies en pinceaux à l'extrémité des rameaux. — Couleur vert foncé. <p>Ces feuilles donnent à la couronne de l'arbre un aspect touffu de couleur vert foncé.</p> <p><i>Remarque:</i> à titre indicatif, voici les caractères des feuilles des sous-espèces distinguées.</p> <p>Spp. <i>pithyusa</i>: feuilles longues de 10 à 15 cm.</p> <p>Spp. <i>eldarica</i>: feuilles longues de 8,5 à 10 cm, plus épaisses que chez <i>P. brutia</i>.</p> <p>Spp. <i>stankeviczii</i>: feuilles longues de 13 à 20 cm.</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

2. Cônes

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> — Très pédonculés et réfléchis vers la base du rameau. — Isolés ou par paires (rarement verticillés). — Forme conique allongée. — 5 × 12 cm × 4 cm. — L'écusson de l'écaille porte au centre un ombilic relevé muni d'un petit mucron et plus ou moins recourbé. — Graines: 40 à 50 000 au kg environ; aile allongée et presque droite des deux côtés. | <ul style="list-style-type: none"> — Sessiles ou très courtement pédonculés et non recourbés, perpendiculaires au rameau ou dressés. — Isolés, mais fréquemment verticillés. — Forme conique ovoïdale. — 5 × 11 × 4,5 cm. — Ecusson de l'écaille avec un ombilic déprimé muni d'un mucron large. — Graines: 20 000 au kg environ; aile plus large, droite du côté interne, convexe et élargie vers la base du côté externe. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

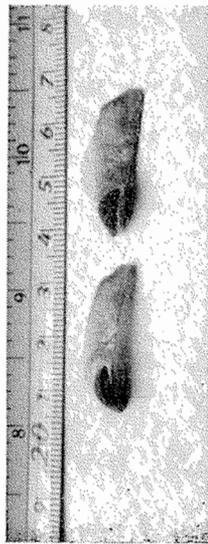
3. Ecorce à la base du tronc

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> — Presque lisse pendant assez longtemps; formée d'écailles minces et aplaties; gerçurée chez les adultes. | <ul style="list-style-type: none"> — Précocement fissurée; très épaisse et profondément fissurée chez les adultes. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

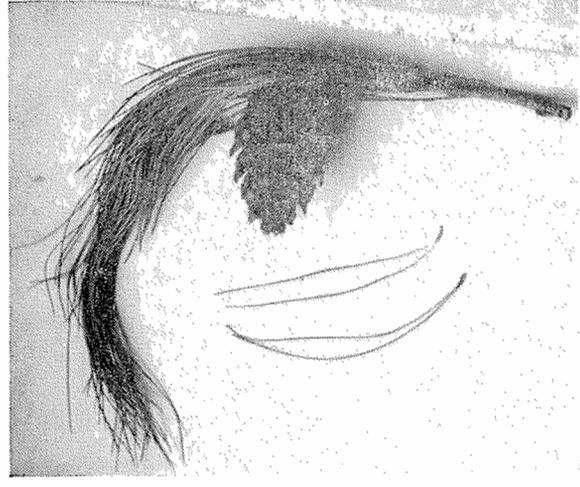
Pinus brutia Ten. ssp. *eldarica* (Medw.) Nahal.



Rameau avec cônes.



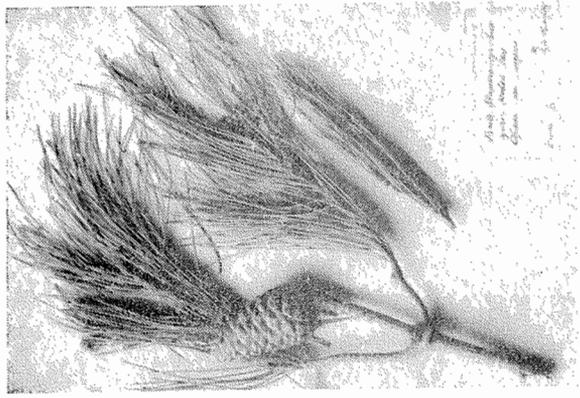
Pinus brutia Ten. ssp. *pithyusa* (Stevenson) Nahal.

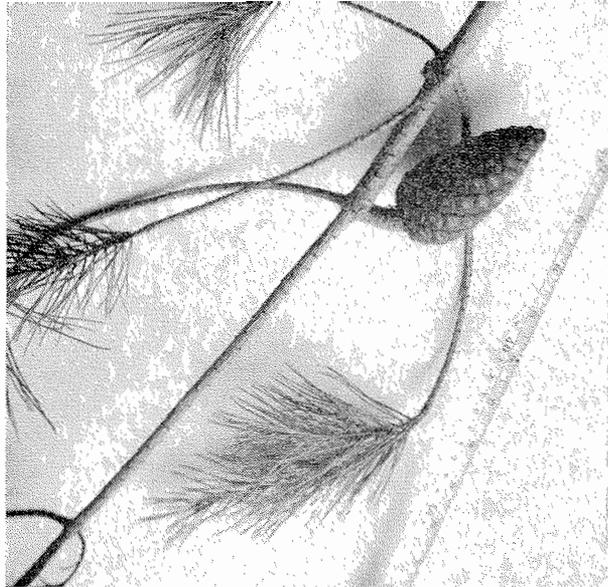


Rameau avec cônes.



Pinus brutia Ten. ssp. *stankoviczii* (Sukaczew) Nahal.





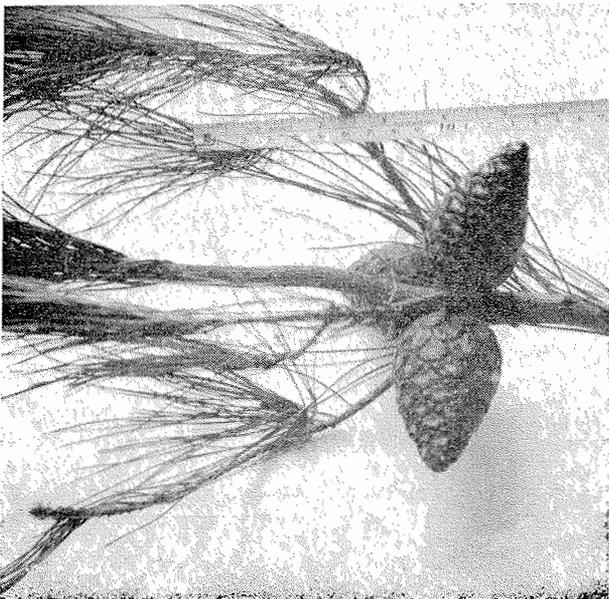
II

II — *Pinus halepensis* Mill.



I

Rameaux avec cônes.



I

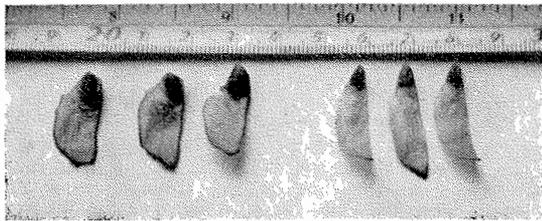
I — *Pinus brutia* Ten.



I

II

Rameaux



I

II

Graines

I — *P. brutia* Ten.

II — *P. halepensis* Mill.

3.6 — *Conclusions.*

Il ressort des études biochimiques, palynologiques, anatomiques, phytogéographiques et morphologiques des Pins méditerranéens du groupe « *halepensis* » les conclusions suivantes :

1° *Pinus brutia* Ten. est une espèce bien définie et nettement distincte de *P. halepensis* Mill.

2° Les *Pinus stankewiczii*, *P. eldarica* et *P. pithyusa* sont voisins de *P. brutia* Ten. et n'appartiennent pas à des entités spécifiques distinctes. Cependant, les caractères biochimiques, palynologiques, phytogéophysiques et morphologiques qui les distinguent nous permettent de les considérer comme *sous-espèces* de *Pinus brutia* Ten.

Pinus brutia Ten. est donc une espèce complexe formée des sous-espèces suivantes :

— Il y a d'abord le type que nous appellerons *P. brutia* Ten. subsp. *brutia*. Les autres sous-espèces sont :

— *P. brutia* Ten. subsp. *eldarica* (Medw.) Nahal stat. nov.

(= *P. eldarica* Medw., in *Act. Hort. tiftl.*, VI, 11, 21, (1902) Cum. ic.; id. *Mitt. d. D. Dendrol.* Gesell. (1903), 56.

— *P. brutia* Ten. subsp. *pithyusa* (Stevenson) Nahal stat. nov.

(= *P. pithyusa* Stevenson, in *Bull. Soc. Nat. Mosc.*, 1838, 1, 49).

— *P. brutia* Ten. subsp. *stankewiczii* (Sukaczew) Nahal stat. nov.

(= *P. pithyusa* Stev. var. *stankewiczii* Sukaczew, in *Trav. Soc. Nat. St. Petersb.*, XXXV, 3 (1906), 37).

Le *Pinus brutia* renferme, de plus, un certain nombre de races et d'écotypes, dont il faudrait tenir compte lors des récoltes des graines pour les reboisements.

3° *Pinus halepensis* Mill également n'est pas une espèce homogène dans toute son aire géographique. Il se présente sous des formes se distinguant par le port, le caractère des cônes et la morphologie des pollens; mais étant donné l'insuffisance du matériel sur lequel nous avons travaillé, nous n'avons pas pu préciser toutes ces formes et leurs rangs taxonomiques.

Nous nous sommes contentés de définir trois formes suivant la morphologie des pollens :

— Forme orientale (Liban),

— Forme occidentale (France),

— Forme nord-africaine (Algérie).

3.7 — Clé de détermination des Pins méditerranéens du groupe halepensis.

- 1 — Cône largement pédonculé et réfléchi vers la base du rameau A
- 2 — Cône sessile ou courtement pédonculé, non réfléchi vers la base du rameau; perpendiculaire ou dressé sur le rameau. B

A — Feuilles très fines, < 1 mm, molles, très finement serrulées sur les bords, 5 à 10 cm de long; réunies par deux, rarement par trois dans une gaine; groupées en pinceaux à l'extrémité des rameaux; couleur vert jaunâtre.

Cônes isolés ou par paires, rarement verticillés; écusson de l'écaille portant au centre un ombilic relevé et muni d'un petit mucron saillant; graine à aile allongée et droite des deux côtés.

Ecorce adulte formée d'écaillés minces et aplaties et non fissurée,

Pinus halepensis Mill.

B — Feuilles plus épaisses, > 1 mm, rigides, rugueuses, rudement serrulées sur les bords; longues de 10 à 18 cm (23), réunies par 2, non groupées en pinceaux à l'extrémité des rameaux couleur vert foncé.

Cônes fréquemment verticillés; écusson de l'écaille portant un ombilic déprimé et muni d'un mucron large; graine à aile plus large, droite du côté interne, convexe et élargie vers la base du côté externe.

Pinus brutia Ten.

Les sous-espèces de *Pinus brutia* peuvent être distinguées de la façon suivante:

- B.0 — Ecusson de l'écaille à rayures étoilées; apophyse saillante; ombilic presque plat, gros.

ssp. *brutia*

(Grèce, Turquie, Syrie, Liban, Chypre)

- B.1 — Ecusson de l'écaille du cône bombé.

Feuilles plus épaisses que dans le type, 8,5 à 10 cm de long. Cône dressé sur un pédoncule court, jeune: plus ou moins sphérique, mûr: ovoïde allongé, 5 à 9 cm, brun clair.

ssp. *eldarica* (Medw.) Nahal

(Transcaucasie Centrale)

B.2 — Ecusson de l'écaille du cône presque plat.

B.21 — Omphale large, légèrement déprimé.

Apophyse non proéminente.

Feuilles 10 à 15 cm \times 0,1.

Cône robuste, courtement pédonculé, ovoïde, légèrement allongé, plus court que les feuilles, brun rougâtre.

ssp. *pithyusa* (Stevenson) Nahal

(Côte orientale de la Mer Noire, Thrace, Turquie, Syrie)

B.22 — Omphale elliptique, profondément déprimé.

Apophyse proéminente.

Feuilles 13 à 20 cm.

Cône ovoïde, pointu, jaunâtre, écaille carénée.

ssp. *stankewiczii* (Sukaczew) Nahal

(Crimée méridionale, Cap Aya près de Soudak)

CHAPITRE II

AIRE PALEOGEOGRAPHIQUE ET AIRE GEOGRAPHIQUE ACTUELLE DU PIN D'ALEP ET DU PIN BRUTIA

1 — Considérations phylétiques

La famille des Pinacées (Abiétacées) est connue depuis le Jurassique. Le genre *Pinus* existe depuis le Wealdien (Jurassique supérieur), et les diverses sections ont été reconnues dès le Crétacé inférieur (L. EMBERGER, 1960). Ce genre est donc très ancien. Il représente le type d'organisation le plus ancien chez les Abiétacées et est considéré comme le type ancestral de ceux-ci. « *Le Pin fut l'ancêtre lointain du Cèdre et du Sapin* » (GAUSSEN, 1960).

Malgré l'ancienneté du genre et son organisation primitive, certains rameaux ont eu une longue destinée les amenant à des types d'évolution poussée dans certains de leurs organes (ex.: *P. halepensis*, *P. brutia*, *P. canariensis*); le *P. aristata* Engel. des Montagnes Rocheuses, paraît le plus évolué des Pins actuels. Le sous-genre *Pinus* paraît le plus primitif par son appareil végétatif.

GAUSSEN considère les sections *Merkusioides*, *Halepensioides* et *Khasyosilvestroides* comme ayant une lointaine origine commune eurasiatique, mais ce qui est le plus net, ce sont les relations des sections *Halepensioides* et *Khasyosilvestroides*, par un ancêtre ressemblant plus ou moins au type *Laricio*.

On attribue une grande importance à l'étude chromosomique pour établir les relations phylogénétiques. Les travaux de Mme VABRE-DURRIEU sur les noyaux quiescents ont déjà donné quelques résultats (1958): Elle propose de considérer comme primitifs: *Pinus densiflora*, *P. nigra*, *P. sylvestris*, *P. uncinata*;

plus évolués: *P. banksiana*, *P. radiata*;

évolués: *P. pinaster*, *P. sabiniana*;

très évolués: *P. halepensis*, *P. brutia*, *P. canariensis*, *P. pinea*.

Cette considération coïncide avec les résultats obtenus par GAUSSEN, où *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* sont considérés comme des Pins évolués. GAUSSEN prend en considération la position des canaux résinifères dans les aiguilles et l'aile des graines, car il y a, selon lui, corrélation entre ces deux caractères : canaux marginaux et disparition de l'aile sont des caractères évolués. La dimension des grains de pollen est également considérée. L'évolution des pollens est vers la croissance de taille. Chez *P. halepensis*, les canaux résinifères sont submarginaux et la dimension des grains de pollen de l'ordre de 52,40, 54,6 μ .

2 — Les Pins fossiles

2.1 — *Pin d'Alep*.

Le Pin d'Alep a été trouvé, en France, dans des dépôts des époques Pliocène (*P. halepensis* var. *ataworum* Marion, La Valentine, France) et Pléistocène (à Saint-Martial, Gard). A. PONS et P. QUEZEL (1957) l'ont identifié, par son pollen, dans des paléosols sahariens du Hoggar (Afrique du Nord), datant du dernier pluvial. Il a été aussi identifié par son pollen, en Palestine, sur la côte méditerranéenne, dans des dépôts de l'époque Pleistocène (ROSSIGNOL M., 1961).

On a trouvé aussi, en France et dans d'autres pays, un certain nombre d'espèces fossiles que les auteurs (CZECZOT, 1954; GAUSSEN, 1960) rapprochent de *P. halepensis* Mill. Ces espèces sont les suivantes :

Dans l'Oligocène :

- Pinus leptophylla* Sap. (Armissan, France),
- P. platyptera* Sap. (Armissan, France),
- P. setiformis* Sap. (Aix-en-Provence, France).

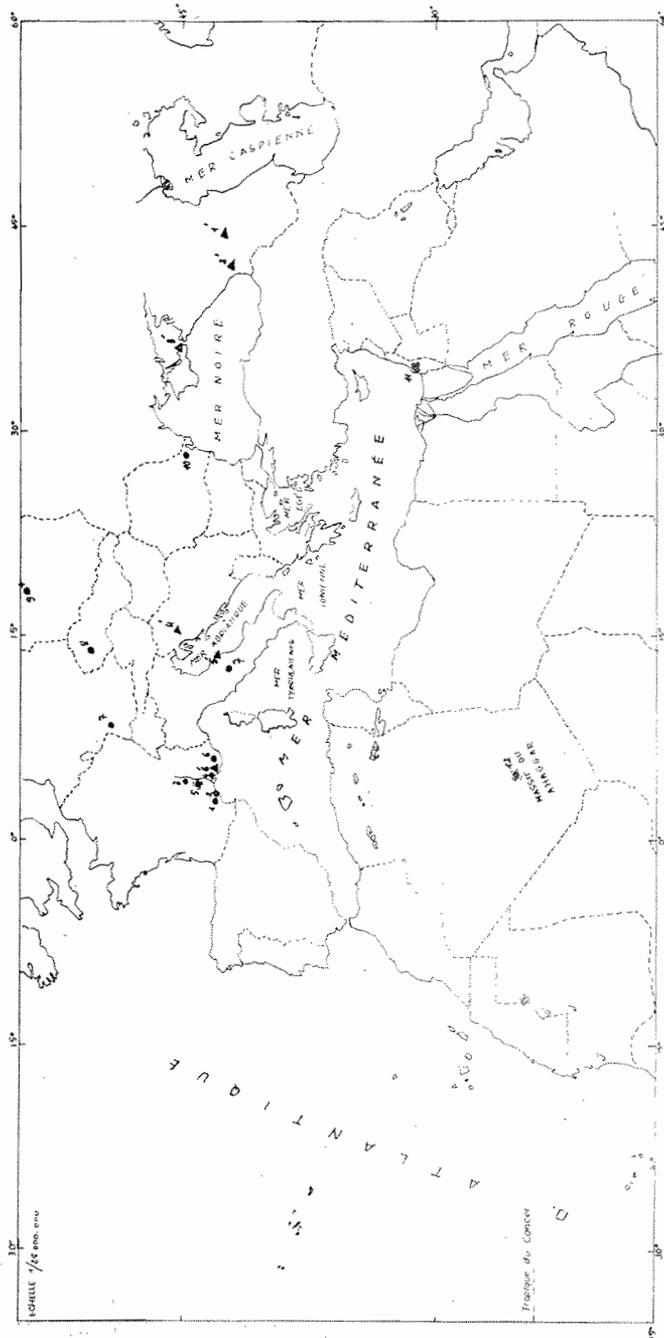
Dans le Miocène :

- P. consimilis* Sap. (de Rochesauve, Ardèche, France),
- P. macroptera* Sap. (près de Narbonne, France).
- P. kotschyana* Ung. (Transylvanie, en Roumanie),
- P. hagei* Herr., de Baltique.

Dans le Pliocène :

- P. ornata* Stern. (Nord de Bohême et vallée inférieure du Main).
- P. cortesii* Ad. Brong. (Dürkheim, vallée inférieure du Main);
Castel Arquata (Apennins).

DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DES PINS FOSSILES



● (●) PIN D'ALEP ET PINS VOISINS

1. *Pinus macroptera* Sap. (Miocène)
2. *P. leptophylla* Sap. et *P. platyptera* Sap. (Oligocène)
3. *P. consimilis* Sap. (Miocène)
4. *P. halepensis* var. *atazorum* Marion (Pliocène)

▲ PIN BRUTIA ET PINS VOISINS

6. *P. setiformis* Sap. (Oligocène)
7. *P. cortesi* Ad. Brong (Pliocène)
8. *P. ornata* Stern. (Pliocène)
9. *P. hageni* Herr. (Miocène)
10. *P. kotschyana* Ung. (Miocène)
11. *P. halepensis* Mill. (Pleistocène)

- 1' *Pinus pithyusa* Stev. (Pliocène supérieur)
- 2' *P. vassoviczei* M.V. (Miocène)
- 3' *P. sarmatica* Falib. (Miocène)
- 4' *P. saturni* Unger (Miocène)
- 5' *P. ferri* Massal (Miocène)

Au Tertiaire, *Pinus halepensis* (s. l.) couvrait donc des régions d'où il a totalement disparu aujourd'hui. Il occupait des latitudes plus septentrionales et atteignait peut-être la Baltique.

2.2 — *Pin brutia*.

On a trouvé plusieurs Pins fossiles que les auteurs rapprochent de *P. brutia* (CZECZOT, 1954). Ces Pins sont les suivants (voir carte n° 1):

- P. saturni* Unger (Croatie en Yougoslavie); Miocène moyen,
- P. sarmatica* Palib. (Péninsule de Kertsch en Crimée); Miocène,
- P. wassoewiczii* M.V. (Sud de l'U.R.S.S.: Tchiatouri); Miocène,
- P. ferreri* Massal (Ancone en Italie); Miocène moyen,
- P. coquandi* Sap. (Aix-en-Provence, en France); Oligocène,
- P. pithyusa* Stev. *fossili* Palib. (Caucase, Kila-Kupra); Pliocène supérieur.

D'après CZECZOT (1954), *Pinus saturni* Unger est le prédécesseur indubitable du *P. brutia* actuel.

D'après les fossiles trouvés, *P. brutia* avait donc, au Tertiaire, une aire géographique beaucoup plus vaste qu'à l'heure actuelle, allant du Moyen-Orient jusqu'en Provence; la présence de ce Pin en France est particulièrement remarquable.

3 — Aire paléogéographique

L'étude des Pins fossiles nous a montré que le Pin d'Alep occupait des régions plus septentrionales que celles qu'il occupe aujourd'hui. Il allait jusqu'au Nord de la Bohême et peut-être jusqu'à la Baltique. Cette distribution plus large du Pin d'Alep pendant les différents étages du Néogène et de l'Oligocène est sans doute en liaison avec la grande extension qu'avait la *Tethys* dont la Méditerranée actuelle n'est qu'un vestige.

Nous pensons, d'après l'étude des Pins fossiles, que le Pin d'Alep et le Pin *brutia* devaient occuper, au Tertiaire, une aire géographique commune au Nord de la Méditerranée Orientale et Occidentale. Ils étaient, probablement, en mélange avec un Pin du type *Laricio* en Europe méridionale (C. et J. COTTE, 1908). Mais, le Pin d'Alep devait s'avancer plus au Nord que le Pin *brutia* et arriver jusqu'à la Baltique (*P. hageri*).

Les modifications climatiques qui sont survenues au début du Quaternaire et à la fin du Tertiaire auraient favorisé le Pin *brutia* au Moyen Orient (Anatolie, Irak, Syrie, Iran), aux dépens du Pin d'Alep, en raison de la plus grande résistance du premier au froid, c'est-à-dire à la continentalité et à l'altitude. En outre, elles

auraient favorisé le Pin d'Alep dans l'autre partie de l'aire géographique (Europe méridionale) aux dépens du Pin brutia et du Pin du type laricio, à la suite d'un climat plus chaud et plus extrême.

Les petits îlots de Pin d'Alep qui ont été découverts à l'intérieur de l'aire actuelle du Pin brutia, en Turquie et en Syrie (NAHAL, 1962) sont en faveur de notre hypothèse.

Les glaciations en Europe auraient permis au Pin d'Alep de s'avancer vers le Sud, dans la partie méridionale de la Méditerranée, en Afrique du Nord, jusqu'au Hoggar. Ceci est confirmé par les travaux de A. PONS et P. QUEZEL (1957), qui ont découvert, dans des paléosols sahariens du Hoggar, datant du dernier Pluvial (Würmien ou Grimaldien) du pollen fossile de *Pinus halepensis*, accompagnés de pollens de *Quercus ilex*, *Celtis* cf. *australis* et même d'autres espèces, celles-ci septentrionales, comme *Alnus glutinosa*, *Tilia* sp.

Il est à remarquer que la taille du corps du grain de pollen de Pin d'Alep est de l'ordre de 48 μ , donc plus faible que celle du Pin d'Alep actuel d'Europe (54 μ). D'autre part, le volume des ballonnets, nettement supérieur à la moitié du corps du grain, est plus important que dans les pollens du Pin d'Alep de la région méditerranéenne d'Europe. Il semble (PONS et QUEZEL, 1957) que le Pin d'Alep actuel de la région du Djebel Murdjajo, Dahra, etc... soit parfaitement conforme à ceux des paléosols sahariens. Ces pollens correspondent donc probablement à une variété fossile de Pin d'Alep, plus ou moins en rapport, par la morphologie de ses pollens, avec celle qui semble se manifester discrètement aujourd'hui en Afrique du Nord (?).

Le Pluvial correspond à une phase humide dont l'intensité s'est rapidement atténuée, pour achever de se faire sentir un millénaire avant l'ère chrétienne (cf. en part. CHADENSON, 1947). La présence du Pin d'Alep dans le Hoggar pourrait correspondre à l'étage méditerranéen semi-aride ou subhumide qu'on trouve actuellement au Maroc. A l'époque actuelle, le Hoggar est très aride et le Pin d'Alep y est totalement absent.

Il nous est donc permis de penser que le Pin d'Alep de l'Afrique du Nord a une origine septentrionale européenne. Il a pris pied au début du Quaternaire, poussé vers le Sud par les glaciations. Dans son nouveau territoire, il a pu conquérir une vaste région grâce aux phases du climat humide qui régnait à cette époque en Afrique du Nord. Son aire a beaucoup régressé après la dernière période pluviale. Au Maroc, par exemple, l'aire du Pin d'Alep était probablement unie et plus vaste avant la dernière phase pluviale. Aujourd'hui, elle est très morcelée et disjointe, donnant à cette essence l'impression d'être une espèce relique.

4 — Aire géographique actuelle

4.1 — Aire du Pin d'Alep.

L'aire géographique actuelle du Pin d'Alep est circumméditerranéenne. On trouve cet arbre à l'état spontané sur tout le pourtour du bassin méditerranéen, sauf en Egypte (voir carte n° 2). Son centre de gravité est nettement le bassin méditerranéen occidental, surtout l'Afrique du Nord, ou plus exactement l'Algérie et la Tunisie.

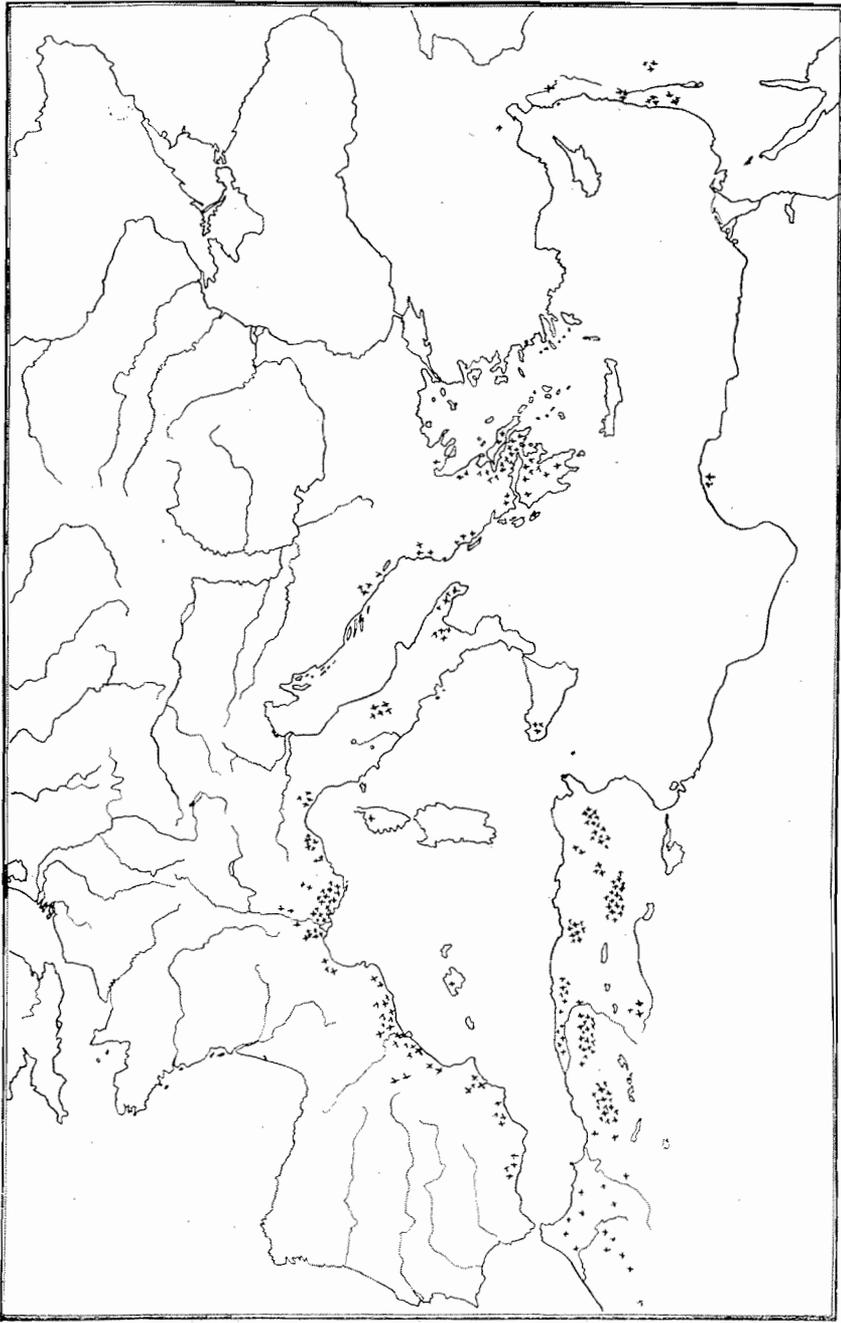
Nous étudierons d'une façon détaillée la répartition du Pin d'Alep dans le bassin méditerranéen dans la deuxième partie de ce travail.

4.2 — Aire du Pin brutia.

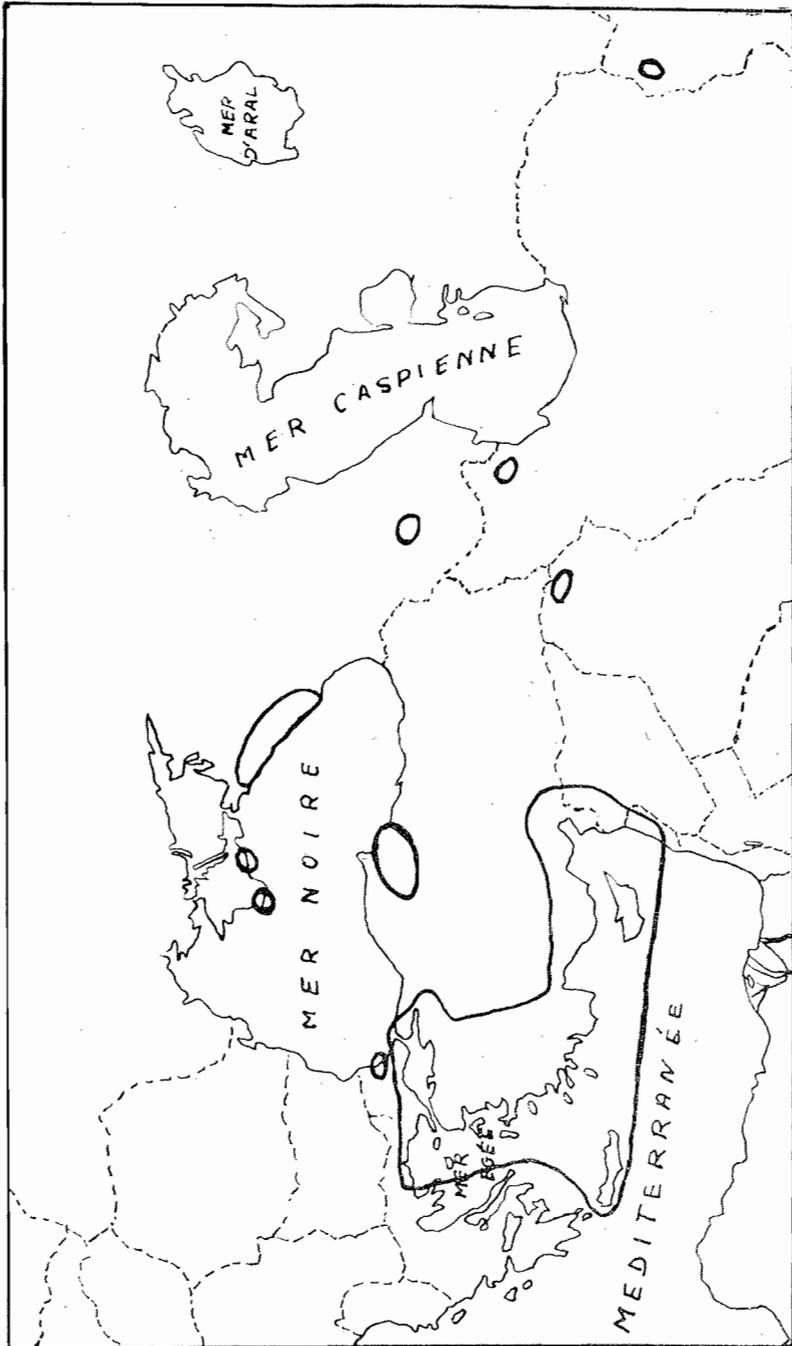
L'aire géographique actuelle du Pin brutia est orientale, strictement localisée en Asie Mineure et au Proche-Orient. Elle est fragmentée et se limite aux régions suivantes (voir carte n° 3): Grèce (Thrace, Crète, Rhodes), Turquie (côtes de la mer Noire, la mer Marmara, la mer Egée, la mer Méditerranée, Taurus, Amanus), Syrie (Baer-Bassit, Djebel Alaouite, Djebel Akrad), Liban du Nord et Chypre. Cependant, on trouve quelques petits îlots éloignés de ce bloc principal, sur les rives Nord-Est de la mer Noire (Crimée, Pitzunda), au Nord-Est de l'Irak, dans la Perse du Nord et en Afghanistan (cité par BOISSIER).

Le bloc le plus important est celui de Grèce, Turquie, Syrie, Liban et Chypre. Les petits îlots isolés de Crimée, Pitzunda, Irak Iran et Afghanistan représenteraient des reliques d'une aire géographique plus vaste qu'aujourd'hui.

AIRE GEOGRAPHIQUE DU *PINUS HALEPENSIS* MILL.



AIRE GEOGRAPHIQUE DU *PINUS BRUTIA* TEN.



CHAPITRE III

**CARACTERES FORESTIERS
ET DENDROLOGIQUES DU PIN D'ALEP***Longévité.*

Le Pin d'Alep ne vit pas longtemps. Sa longévité ne dépasse généralement pas 150 ans, la moyenne étant de 120 à 130 ans.

Taille.

Le Pin d'Alep est un arbre de taille moyenne pouvant atteindre une hauteur totale de 25 à 27 m. Ces chiffres peuvent surprendre au premier abord, car les chiffres cités jusqu'à maintenant par les différents auteurs (MATHIEU, 1897; PARDÉ, 1957; BOUDY, 1950; GAUSSEN, 1960) sont nettement inférieurs (20 m). Les hauteurs de 25 à 27 m ont été observées dans le bois de Pin d'Alep de Cadenet (Vaucluse) sur des sols profonds. La hauteur moyenne totale du peuplement mesurée au BLUME-LEISS est de 24, 25 m. Nous verrons dans la troisième partie que la hauteur moyenne totale d'un peuplement forestier dépend, pour une espèce, une variété ou une race déterminée, de la fertilité du sol. Donc, la hauteur dépend de deux facteurs: l'un génotypique, donc héréditaire, et l'autre écologique lié au milieu dans lequel pousse l'arbre.

En dehors de cette localité, nous n'avons pas observé ces hauteurs. Le peuplement de Cadenet appartient-il à une race différente, ou est-ce une question de conditions écologiques plus favorables? La réponse à cette question demande une étude plus détaillée que nous n'avons pas eu le temps de faire, mais ce que nous pouvons dire, c'est que le peuplement de Cadenet est un peuplement de sujets d'élite qui mérite d'être suivi. Il serait très intéressant d'en récolter des graines et de comparer leur développement en pépinière avec des graines issues d'autres peuplements et plus tard dans des parcelles d'essais.

Tronc.

Le Pin d'Alep a généralement un tronc tortueux, irrégulier et branchu. Le fût utilisable comme bois d'œuvre dépasse rarement 8 m. Cependant, on trouve des peuplements à fûts élancés, droits et peu branchus, comme certains peuplements de Grèce et celui de Cadenet en France. Dans de tels peuplements et en futaie pleine, on peut obtenir 10-15 m de fût utilisable comme bois d'œuvre.

Ecorce.

L'écorce des jeunes sujets est lisse et d'un gris-argenté; chez les adultes, elle forme un rhytidome plus ou moins gerçuré en écailles minces, larges et aplaties et de couleur rougeâtre. Elle est très inflammable et contient une grande quantité de tanin. L'utilisation de l'écorce du Pin d'Alep pour le tannage est connue depuis très longtemps au Proche-Orient, en Europe et en Afrique du Nord. Au Maroc, les tanneries de Fez et de Marrakech en consommaient beaucoup, et c'est à l'écorçage sur pieds et en grandes quantités qu'on attribue souvent la disparition des vastes peuplements de Pin d'Alep dans le Grand Atlas et la région Nord de Taza.

En Provence, on enlevait l'écorce des Pins avec soin au moment de l'exploitation des arbres et on la réduisait en une sorte de poudre qui, mélangée au tan de *Quercus coccifera*, servait au tannage des peaux; elle servait le plus souvent à produire à chaud une solution dans laquelle les pêcheurs trempaient leurs filets tous les 15 jours pour en assurer la conservation.

De nos jours, ces pratiques ont pratiquement disparu en raison de l'utilisation des tanins artificiels. Dans les placettes d'expériences de Géménos (PARDÉ, 1957), le pourcentage d'écorce dans le bois fort (1) total a été trouvé égal à 23-24 %. C'est un chiffre très élevé, si on le compare à celui qu'on rencontre chez les Sapins et Epicéas (8-12 %), Cèdre (15-16 %), Pin sylvestre (10-15 %), Pins Laricio de Corse et de Calabre (17-21 %).

Couronne.

La couronne est de forme conique quand l'arbre est jeune, puis s'étale au fur et à mesure qu'il vieillit en raison du ralentissement du développement en hauteur de la flèche terminale. L'âge auquel commence ce ralentissement dépend de la fertilité des sols et, en particulier, de leur profondeur. Sur des sols fertiles et profonds, la couronne conserve plus longtemps sa forme conique que sur les sols superficiels et pauvres. Nous avons vu des arbres sur des sols

(1) La limite qui sépare le bois-fort du menu bois est la découpe 7 cm de diamètre (22 cm de circonférence).

très superficiels dont la couronne est complètement étalée à l'âge de 10 ans. Sur des sols profonds, la couronne conserve sa forme conique jusqu'à l'âge de 30 ans.

La couronne du Pin d'Alep est irrégulière, en général très claire, donnant peu d'ombre et de couleur vert-jaunâtre. Les branches sont plus ou moins étalées et les jeunes rameaux sont grêles, allongés, diffus, glabres, d'abord vert clair puis gris clair.

Les bourgeons sont ovoïdes, aigus, d'un brun rougeâtre, à écailles libres et souvent réfléchies au sommet.

Cônes.

Les cônes mûrissent au cours de la deuxième année et laissent souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année.

Le Pin d'Alep fructifie de bonne heure, à l'âge de 10 à 12 ans, mais les graines ne sont aptes à germer et suffisamment abondantes qu'à partir de l'âge de 18 à 20 ans.

100 kg de cônes produisent à peu près 50 kg de graines ailées. Le kilogramme de graines renferme 45 000 à 50 000 graines environ.

Les graines conservent leur vitalité au moins deux ans et même plus longtemps, lorsqu'elles restent dans le cône sur l'arbre.

Les cônes persistent indéfiniment sur l'arbre après avoir perdu leurs graines.

Enracinement.

La nature de l'enracinement dépend de la profondeur du sol. Dans les sols profonds, il est pivotant avec de fortes racines latérales, mais dans les terrains superficiels, il est superficiel avec des racines apparaissant à la surface du sol. Néanmoins, dans l'ensemble, l'arbre est fortement accroché au sol, ce qui lui permet de vivre, dans des sols, très érodés, rocheux. On voit très souvent ses racines se faulxer entre les fissures des calcaires durs.

Bois.

Le bois est composé d'un aubier blanc jaunâtre et d'un cœur brun rougeâtre clair. Il est assez léger; sa densité varie entre 0,532 et 0,866. Les canaux résinifères sont gros, bien apparents, assez espacés et sécrétant une résine abondante.

En certains points, de la résine s'épanche en telle abondance qu'elle le transforme en bois gras, translucide, d'une dureté et d'une pesanteur remarquables. Ce défaut déprécie la valeur du bois pour le sciage mais il en augmente la puissance calorifique.

Le bois se dessèche rapidement, travaille peu et dure longtemps s'il est soustrait aux intempéries.

Les essais de flexion statique effectués à la Station de Recherches et d'Expérimentations Forestières de Rabat ont donné, comme chiffre de rupture, 700-800 kg au cm² (*in* BOUDY, 1950).

Le bois de Pin d'Alep peut être utilisé, après élimination de la résine, pour la fabrication de la pâte à papier.

Menu bois.

Des cubages de menu-bois ont été effectués à Géménos et permettent de préciser (*in* PARDÉ, 1957) :

- qu'à l'âge de 30 ans, le pourcentage du menu-bois par rapport au volume total de l'arbre est d'environ 30-32 % ;
- qu'à l'âge de 50-60 ans, ce pourcentage tombe à 20-23 %.

Dans tout ce qui suit, nous ne parlerons pas du volume total, mais du volume du bois-fort. Pour passer du volume bois-fort au volume total, il faut :

- à l'âge de 30 ans, ajouter environ 45 % au volume bois fort ;
- à l'âge de 50-60 ans, le majorer de 25 à 30 %.

Oléorésine (résine, gemme, gomme).

Le Pin d'Alep est gemmé depuis une époque très lointaine. Parmi les Pins gemmés dans le bassin méditerranéen, c'est celui qui donne le plus de rendement. D'après leur rendement décroissant en oléorésine ces Pins peuvent être classés dans l'ordre suivant : *Pinus halepensis*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. brutia*, *P. nigra*.

En Grèce, gros producteur de résine, le Pin d'Alep donne 3,5 kg par arbre et par an en moyenne (PAPAJOANNOU, 1954). En Italie, DE PHILIPPIS cite un chiffre moyen de 3,84 kg. OUDIN (1938), en France, cite un rendement moyen de 2,295 kg. DUPONT cite pour le Pin d'Alep d'Espagne un chiffre de 2,867 kg.

Le rendement en résine de *Pinus brutia* (Syrie) est de l'ordre de 1,5-1,7 kg en moyenne par arbre et par an (NAHAL, 1962).

La gemme pure contient, en moyenne, 21-24 % d'essence de térébenthine et 76-79 % de collophane.

L'essence de térébenthine du Pin d'Alep est très appréciée sur le marché international. Son prix est plus élevé que celui des essences de Pin maritime et des autres Pins de l'Amérique et de l'Europe. D'après PALAZZA, l'essence de térébenthine du Pin d'Alep est une matière première excellente pour la fabrication du camphre synthétique et peut rivaliser avec les meilleurs produits de l'industrie américaine.

PAPAJOANNOU (1954) signale une baisse quantitative et qualitative de la résine des Pins hybrides, provenant du croisement du Pin d'Alep et du Pin *brutia*.

Du bois trouvé dans des cercueils des Pyramides de Saqqara (Égypte) datant de la 3^e dynastie, identifié par L. CHALK, montre qu'il s'agit très probablement du bois de Pin d'Alep (LUCAS, 1934, 1936). Nous pensons que ce bois devait être importé de Palestine ou du Liban, car il était inexistant en Égypte.

D'après V. LORET, qui se réfère à JOUHN, la résine de Pin d'Alep est supposée avoir été utilisée comme constituant du mélange antiseptique utilisé par les anciens Égyptiens pour embaumer leurs morts.

FLORENCE a analysé de la résine prélevée dans le tombeau d'un singe momifié de Thèbes et en a conclu qu'elle provient de Conifères, parmi lesquels *Cedrus libani*, *P. halepensis* et *P. pinea* (LUCAS, 1911).

DEUXIEME PARTIE

**Le pin d'Alep
dans le bassin méditerranéen**

CHAPITRE I

LE BIOCLIMAT MEDITERRANEEN METHODES D'ETUDES

1 — Le climat méditerranéen

1.1 — *Notion de bioclimat.*

Les tentatives de divisions climatiques du monde sont innombrables, et il est inutile de les énumérer ici; mais ce qu'on peut dire, c'est qu'aucune d'elles ne s'est révélée pleinement satisfaisante. C'est sans doute parce que toutes ces classifications ont voulu être générales et valables pour toutes les disciplines (EMBERGER, 1954). En effet, des classifications ayant cette qualité d'universalité sont impossibles, parce que les points de vues des diverses disciplines scientifiques ne sont pas les mêmes. Le climat du climatologue, du géographe ou du physicien n'est pas le même que celui du biologiste. Les notions de types de temps, de déplacements d'airs cycloniques, de rotation des vents, n'ont qu'un intérêt secondaire pour la répartition des plantes. Ce sont les effets de ces actions météorologiques qui seuls intéressent le biologiste. Par exemple, peu importe aux végétaux l'origine de la pluie, ce qui les intéresse, c'est la quantité d'eau qui tombe annuellement et sa répartition saisonnière. De plus, la pression atmosphérique, si importante pour les météorologistes pour différencier certains climats, n'a aucune importance pour les biologistes.

La classification des climats chez les non-biologistes repose donc sur des considérations d'ordre *dynamique*; celle des biologistes, au contraire, doit reposer sur la connaissance des qualités *statiques* des climats. Ce qui intéresse les biologistes, c'est, en un mot, le bioclimat.

I.2 — *Le climat méditerranéen.*

EMBERGER (1954) définit le *climat méditerranéen*, le seul qui nous intéresse dans cette étude, comme un *climat extratropical à photopériodisme saisonnier et quotidien, à pluviosité concentrée sur les saisons froides ou relativement froides de l'année, l'été, saison la plus chaude, étant sec*. Le trait saillant de ce climat pour l'écologiste, est la faible tranche pluviale estivale coïncidant avec la période des maxima thermiques, ce qui détermine une période de sécheresse plus ou moins accusée, mais toujours franche.

La connaissance de la durée de la saison sèche, des quantités des pluies estivales et la façon de les mettre en évidence est donc d'une importance primordiale pour l'écologiste. En effet, elle nous permet de séparer nettement la région méditerranéenne des territoires non méditerranéens, de déceler des zones de transition, de mieux connaître les nuances du climat méditerranéen dans le bassin oriental et le bassin occidental de la Méditerranée, et enfin, elle nous permet de comprendre certains phénomènes biologiques très importants pour le forestier et qui dépendent étroitement de l'ampleur et de la régularité de la saison sèche, par exemple la régularité ou l'irrégularité de la régénération naturelle des forêts de Pin d'Alep sur les différents types de sols, la réussite ou l'échec des reboisements, etc...

Nous verrons, dans la partie concernant l'étude de la régénération naturelle du Pin d'Alep, que cette régénération se fait aisément et d'une façon plus ou moins régulière sur des stations marneuses ou marno-calcaires, alors qu'elle est exceptionnelle ou accidentelle sur les stations à *terra rossa*. Sur ces dernières, la régénération n'a lieu que s'il y a une succession d'années à saison sèche moins accusée, c'est-à-dire où l'été est plus pluvieux que d'habitude. De même, en Syrie, nous avons observé que *Pinus brutia* se régénère aisément sur les serpentines et les marnes crayeuses et très accidentellement sur *terra rossa*. En outre, sur *terra rossa*, *Pinus brutia* se régénère relativement plus facilement dans la région côtière que dans les régions intérieures où la pluviosité estivale est très faible et l'humidité de l'air, en été, assez basse.

2 — Les formules climatiques et la limite de leur utilisation

Après avoir montré l'importance capitale de la sécheresse estivale pour la végétation de notre région méditerranéenne, il s'agit de la définir et, si possible, de la mettre en équation, pour faciliter les comparaisons. Jusqu'à maintenant, il a été impossible de l'exprimer d'une manière satisfaisante, car elle est la résultante d'un rapport complexe entre beaucoup de facteurs, les principaux étant la

pluviosité, la température et l'évaporation ; quand on entre dans les détails, les choses se compliquent encore davantage, car les qualités physiques interviennent, pour ne citer que ce facteur supplémentaire.

La solution la plus précise serait évidemment d'utiliser le rapport

$$\frac{P}{E}$$
entre la pluviosité et l'évaporation, —, c'est-à-dire entre l'apport et

la perte d'eau, comme l'a fait TRANSEAU (1905). Cet indice a été utilisé par DAVIDSON (1933) pour caractériser les mois secs de l'année. Mais, il est souvent très difficile de disposer d'un nombre suffisant de mesures de l'évaporation, sans compter l'extrême difficulté de donner à ce phénomène une grandeur exacte. MEYER (1920) a proposé l'utilisation du rapport entre la pluviosité et le dé-

ficit de saturation —

$$\frac{P}{ds}$$
, en montrant que l'évaporation est proportionnelle au déficit de saturation de l'atmosphère.

Etant donné les difficultés de mesures de l'évaporation et du déficit de saturation, certains auteurs ont proposé des formules utilisant la pluviosité et la température :

— *Indice d'aridité de De Martonne* (indice annuel : $P/T \times 10$; indice mensuel : $P \times 12/T \times 10$).

P. CURÉ (1930), analysant cette formule estime que, du point de vue écologique, cet indice ne peut être d'un grand secours. De même, de MARTONNE lui-même (1950) a reconnu les difficultés d'application de l'indice d'aridité au domaine de la biogéographie. Il a, cependant, une certaine valeur dans l'établissement des cartes synthétiques du monde, qui sont à très petite échelle géographique.

— *Graphique ombrothermique de GAUSSEN.*

GAUSSEN représente le régime climatique par des courbes, en indiquant sur le même graphique la température et l'humidité. Ces deux courbes sont rendues solidaires l'une de l'autre en admettant que, lorsque $P < 2 T$, la plante souffre de la sécheresse, P étant exprimé en millimètres et T en degrés centigrades. Ce type de graphique est appelé « ombrothermique ». La période de sécheresse commence quand la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe au-dessous de cette dernière ; elle cesse lorsque les 2 courbes se recoupent.

L'inconvénient de toutes ces formules est qu'elles ont voulu être générales, donc applicables à tous les types de climats. Or, une saison sèche sous le climat méditerranéen est différente de celle sous

le climat tropical. La solution la plus logique est, sans doute, l'établissement de formules pour chaque type de climat. Le postulat qui est à la base de cette méthode est également critiquable.

3 — Quotient pluviothermique d'Emberger

L'emploi incorrect qu'on a fait très souvent de ce quotient nous oblige à en rappeler les principes avant de les appliquer au présent travail.

3.1 — Définition du quotient pluviothermique

EMBERGER (1930, 1933, 1936, 1955) a mis au point une formule empirique de la forme $\frac{P}{t}$ pour exprimer la sécheresse générale du climat méditerranéen.

Dans cette formule, les températures sont choisies *en fonction de la vie végétale*. Celle-ci se déroulant entre deux limites extrêmes, il a été choisi la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m). En pre-

mière approximation $\frac{M + m}{2}$, où M et m sont ces moyennes, ex-

prime la sécheresse: une station méditerranéenne est d'autant plus sèche que ce rapport est plus petit.

Malgré la signification biologique, déjà intéressante de $\frac{M + m}{2}$,

parce que les moyennes utilisées par EMBERGER ont une valeur écologique réelle, contrairement aux moyennes mensuelles ou annuelles habituellement employées par les auteurs, elle a cependant les défauts de toutes les moyennes. Elle peut être corrigée par l'amplitude thermique extrême ($M - m$), c'est-à-dire par la différence entre la moyenne des maxima du mois le plus chaud et la moyenne des minima du mois le plus froid. ($M - m$) exprime d'une façon indirecte l'évaporation. Le quotient pluviothermique (Q) devient ainsi:

$$Q = \frac{P}{2 \left[\frac{(M + m)}{2} (M - m) \right]}$$

Pour faciliter les calculs, ce quotient peut s'écrire de la façon suivante :

$$Q = \frac{P}{2 \left[\frac{(M+m)}{2} (M-m) \right]} \times 100 \text{ ou } Q = \frac{100 P}{M^2 - m^2}$$

P : pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés centigrades.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degrés centigrades.

Pour éviter les températures négatives, EMBERGER se sert maintenant de l'échelle thermométrique absolue $0^{\circ}\text{C} = + 273^{\circ}$; le quotient devient ainsi :

$$Q = \frac{P}{\left[\frac{(M+m)}{2} (M-m) \right]} \times 1000 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

En principe, un climat est d'autant plus sec que ce quotient est plus petit.

Un perfectionnement supplémentaire indispensable a été ajouté à ce quotient en le combinant avec la moyenne des minima du mois le plus froid (m) qui est un seuil biologique très important. En effet, à quotient pluviothermique égal, celui-ci a une signification écologique différente, suivant la valeur de m . C'est une donnée différentielle, qu'EMBERGER fait intervenir en employant un système d'axes de coordonnées dans lequel m est porté en abscisses et le quotient Q en ordonnées ; la représentation est un *climogramme*.

3.2 — Etablissement du climogramme.

Si on inscrit les différentes stations méditerranéennes sur un graphique établi, comme il vient d'être indiqué, on constate qu'elles s'y « sédimentent », les plus sèches se plaçant en bas, vers l'abscisse, et les plus humides en haut, les plus froides à gauche, et les plus chaudes à droite. De plus, les stations sont d'autant plus rapprochées que leurs climats sont plus voisins et vice-versa.

En étudiant les données du climogramme des différentes stations avec la végétation correspondante, on constate qu'à partir de certaines grandeurs de Q et de m , la végétation change, nous obtenons

ainsi des courbes ou des lignes d'isoxéricité, qui permettent de distinguer dans le climat méditerranéen les formes suivantes :

1. Climat méditerranéen saharien.
2. Climat méditerranéen aride.
3. Climat méditerranéen semi-aride.
4. Climat méditerranéen subhumide.
5. Climat méditerranéen humide.
6. Climat méditerranéen perhumide.

A chacun de ces climats correspond un *étage bioclimatique de végétation*: étage de végétation méditerranéen saharien \Leftrightarrow climat méditerranéen saharien.

3.3 — *Les subdivisions des formes des climats méditerranéens.*

Ces subdivisions sont envisagées suivant les grandeurs de Q , de m et de la pluviosité estivale.

3.3.1 — Les subdivisions suivant la grandeur de Q sont horizontales et permettent de distinguer dans chaque forme du climat méditerranéen des sous-climats : inférieur, moyen et supérieur.

Par exemple : climat méditerranéen subhumide, inférieur,*
climat méditerranéen subhumide, moyen,
climat méditerranéen subhumide, supérieur.

3.3.2 — Suivant la grandeur de (m) on peut diviser ce sous-climat en 3 variantes : chaude, tempérée, fraîche et froide :

$m > 7^{\circ}$ caractérise la variante chaude ; à ces températures il n'y a pas de gelées,

$7^{\circ} > m > 3^{\circ}$ caractérise la variante tempérée ; il y a quelques gelées,

$3^{\circ} > m > 0^{\circ}$ caractérise la variante fraîche ; gelées assez fréquentes,

$m < 0^{\circ}$ caractérise la variante froide ; gelées durant de longues périodes.

EMBERGER, au début de ses recherches, a aussi distingué un climat méditerranéen de haute montagne, mais il a maintenant tendance à considérer le climat méditerranéen de haute montagne comme une collection de variantes froides ou très froides, se rattachant aux différentes formes précitées du climat méditerranéen. L'ancien climat méditerranéen de haute montagne marocaine (Grand Atlas central) est devenu le *climat méditerranéen semi-aride très froid* ou le *climat méditerranéen subhumide très froid*.

3.3.3 — La sécheresse estivale: on peut exprimer la sécheresse estivale, ou plus exactement son intensité et sa durée par des quotients estivaux et mensuels calculés comme le quotient pluviothermique annuel, mais uniquement pour les mois de l'été ou, plus simplement, par le rapport entre la pluviosité du mois considéré et la moyenne des maxima du même mois, ou, quand il s'agit de

PE

l'été, par — (pluviosité estivale/moyenne des maxima de l'été).

ME

Ce dernier est souvent suffisant, car, en général, plus il est bas, plus la sécheresse estivale est étendue dans le temps; un quotient estival élevé indique, en général, une sécheresse atténuée et courte. On tient compte de ce quotient estival en l'inscrivant, sur le climogramme, à côté de chaque station; il est possible, de cette manière, de séparer des climats qui ont les mêmes Q et m , ce qui, du point de vue écologique, est très important.

Les stations de la Méditerranée occidentale sont caractérisées par une sécheresse estivale beaucoup plus atténuée que celle des stations de la Méditerranée orientale.

A. BAUDIÈRE et L. EMBERGER (1959) ont analysé du point de vue écologique, le fait qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes méditerranéennes de la France, la pluviosité estivale va en croissant, de sorte que le creux estival finit par être comblé ou, même, devenir convexe. On passe ainsi du climat méditerranéen français au climat non méditerranéen. Mais ce passage ne s'effectue pas avec une pluviosité *régulièrement* croissante. Il a lieu « par accidents », pourrait-on dire, c'est-à-dire par l'apparition, de temps à autre, dans la série des années régulièrement méditerranéennes, d'années non méditerranéennes. Celles-ci, en s'éloignant du littoral méditerranéen, deviennent de plus en plus nombreuses et finissent par l'emporter sur le nombre d'années méditerranéennes; à ce moment, le climat n'est plus méditerranéen. Le climat qui établit la transition n'est donc pas un climat qui reçoit régulièrement des pluies estivales abondantes, mais un climat où les années non méditerranéennes sont assez nombreuses pour donner une *moyenne* de pluviosité estivale élevée. On comprend l'importance biologique de cette conception des climats de transition, intermédiaires; elle va nous être utile dans l'étude de l'aire géographique du Pin d'Alep en France.

La vue d'ensemble sur le climat des pays soumis au climat méditerranéen, depuis l'Indus à la France, l'Afrique du Nord et la péninsule ibérique, montre que la France méditerranéenne est, comme l'enseigne depuis longtemps L. EMBERGER (1), une région de méditerranéité atténuée, alors que le Proche-Orient et l'Afrique du

(1) Cours non publié.

Nord jouissent d'un climat méditerranéen franc, épanoui dans toute sa pureté, avec ses saisons humides et sèches contrastées au maximum. Déjà à Perpignan, A. BAUDIÈRE et L. EMBERGER ont noté qu'une année « continentale » à pluviosité maxima concentrée sur l'été, y survient tous les 20 ans environ.

Pour illustrer la différence entre Méditerranée occidentale et orientale, nous avons choisi deux stations côtières situées dans le même étage bioclimatique (2), l'une dans la Méditerranée occidentale: Antibes, l'autre dans la Méditerranée orientale: Lattaquié (Syrie).

Les moyennes de pluies annuelles se répartissent à Lattaquié et à Antibes suivant les saisons de la façon suivante (3):

Antibes		Lattaquié	
H	237 mm	H	502 mm
P	199 mm	P	149 mm
E	76 mm	E	8 mm
A	296 mm	A	146 mm
Total	808 mm	Total	805 mm

La comparaison de Antibes avec Lattaquié est très suggestive; ces deux stations reçoivent la même tranche de pluviosité annuelle, mais à Lattaquié la saison estivale est nettement plus sèche qu'à Antibes. De plus, à Antibes, certaines années, la courbe pluviométrique peut accuser nettement une tendance à s'inverser, comme pour l'année 1953, où la répartition saisonnière des pluies annuelles était la suivante:

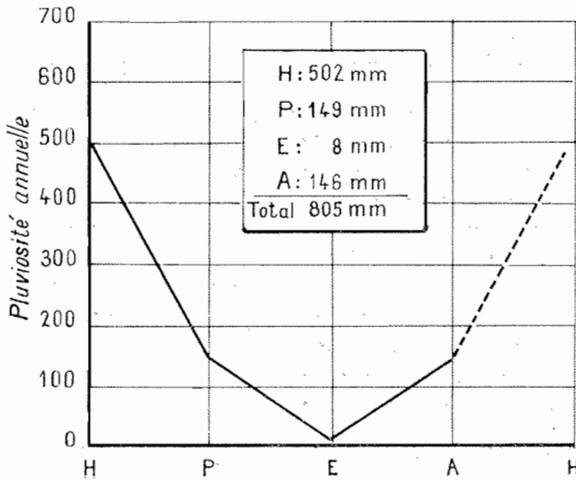
H	141 mm
P	35 mm
E	233 mm
A	328 mm
Total	737 mm

mais l'influence de cette année, noyée dans le nombre d'années nettement méditerranéennes, ne pèse pas lourdement sur les moyennes saisonnières. A Lattaquié, par contre, la courbe pluviométrique est toujours méditerranéenne; le régime à sécheresse estivale très accusée y est *constant*.

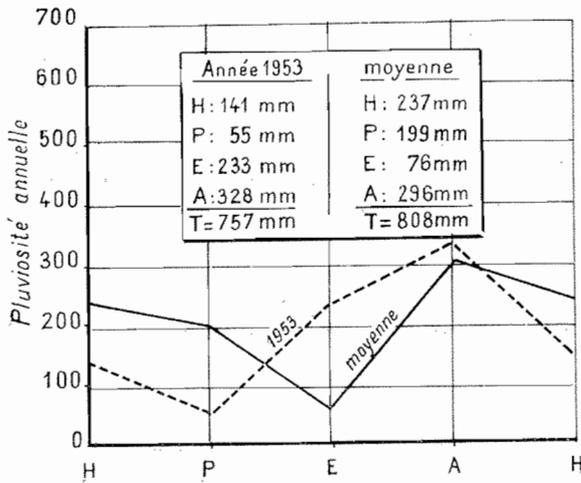
(2) au sens d'EMBERGER.

(3) Le nombre d'années d'observations n'est pas le même pour Lattaquié et Antibes. Il ne semble pas qu'il y ait un inconvénient majeur puisqu'il ne s'agit pas de comparer des quantités de pluies mais des régimes pluviométriques.

LATTAQUIÉ



ANTIBES



Plus on s'éloigne de la côte méditerranéenne française, plus le nombre d'années à régime pluviométrique non méditerranéen augmente.

4 — Les étages bioclimatiques de végétation

Nous avons vu plus haut que les stations se groupaient sur le climogramme par affinités climatiques. Il s'ensuit que les types de végétation, qui en sont l'expression vivante, sont eux-mêmes biologiquement affines, équivalents ou homologues.

La végétation d'un pays peut donc être subdivisée en un certain nombre d'unités naturelles correspondant à autant de types ou de formes du climat général. Ces unités sont appelées par EMBERGER, comme il a été dit plus haut, étages bioclimatiques de végétation ou étages de végétation.

C'est ainsi qu'on peut établir six étages de végétation correspondant aux six types du climat méditerranéen :

Etage de végétation méditerranéen	saharien	⇔	climat méditerranéen	saharien
—	— aride	⇔	—	aride
—	— semi-aride	⇔	—	semi-aride
—	— subhumide	⇔	—	subhumide
—	— humide	⇔	—	humide
—	— perhumide	⇔	—	perhumide

Ces étages bioclimatiques de végétation peuvent eux-mêmes être subdivisés suivant les grandeurs de m , de Q et de la pluviosité estivale.

Cette notion d'étage bioclimatique de végétation nous semble très féconde, en ce qu'elle permet de comparer des régions différentes par leur flore, mais identiques du point de vue biologique. Elle va nous être très utile dans l'étude de la distribution géographique du Pin d'Alep autour du bassin méditerranéen.

N.B. — Le mot « étage » sera toujours pris dans la suite de ce travail dans le sens d'étage bioclimatique de végétation d'EMBERGER défini ici.

CHAPITRE II

**LE PIN D'ALEP ET SES PEUPEMENTS
DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN**

Le Pin d'Alep est un arbre circumméditerranéen. On le trouve à l'état spontané autour du bassin méditerranéen, sauf en Egypte (voir carte n° 2). Mais c'est en Afrique du Nord, et surtout en Algérie et en Tunisie, qu'il semble avoir actuellement son centre de gravité, où il constitue les massifs les plus importants.

1 — Le Pin d'Alep au Maroc**1.1 — *Distribution géographique.***

Le Pin d'Alep est relativement peu abondant au Maroc. Il couvre 65 000 ha environ (BOUDY, 1950). Son aire est assez réduite et disjointe. Ses stations sont égrenées en îlots, généralement peu importants, jusqu'au terminus du Grand Atlas sur l'Océan atlantique. Les peuplements les plus importants sont tous au Maroc oriental, sur le versant méditerranéen du Pays (Rif Oriental, Moyen Atlas, montagnes du Debdou, presque de la Melila, îlots dans le Grand Atlas oriental et à l'Est du seuil de la Moulouya). Sur le versant atlantique, il est dispersé et disséminé le long des chaînes, le long du Grand Atlas, depuis le seuil de Taza jusqu'aux montagnes d'Amizmiz, et dans le Rif, jusqu'au voisinage de Ouezzane. Les peuplements les plus importants du Grand Atlas sont sans doute ceux de Tillouguit (Ahansal). Il existe aussi dans l'Atlas saharien, mais on ne l'a pas vu dans l'Anti-Atlas, ni sur le versant Sud du Grand Atlas (EMBERGER, 1939). Cette absence n'est pas due à une raison climatique, mais doit être recherchée dans les vicissitudes historiques de la végétation et peut-être dans l'action de l'homme qui a colonisé ces régions depuis une époque très lointaine.

Au Maroc, la majorité des peuplements naturels de Pin d'Alep est située dans l'étage bioclimatique subhumide (Debdou, Ouezzane,

Oued el Abid, Asif, bassin de l'Oued Tessaout). Le reste (Melila, Tallat n'Yakoub, Tizin'Test et autres peuplements du Grand Atlas) relève de l'étage bioclimatique semi-aride.

Les stations suivantes, choisies dans l'aire du Pin d'Alep, montrent les conditions climatiques moyennes sous lesquelles vivent les peuplements de Pin d'Alep au Maroc.

Station	M	m	M-m	P	PE	Q	Etage bioclimatique
Ouezzane	35,1	5,3	29,8	866	17	99	subhumide moyen tempéré
Sefrou	32,9	2,6	30,3	646	21	74	subhumide inférieur frais
Amizmiz	34,7	3,1	31,6	481	22	53	semi-aride moyen tempéré

Le Pin d'Alep serait une espèce relique au Maroc atlantique (EMBERGER, 1939) et spécialement pour certains peuplements comme ceux de la Tessaout et de la vallée d'Ahansal. Ces petits foyers reliques représenteraient des restes d'une extension beaucoup plus importante d'une époque lointaine (voir 1^{re} partie). Actuellement, ils servent de centre de dispersion de l'espèce, laquelle, à la suite de la destruction de la végétation par l'homme, qui amène une diminution nette de la concurrence et un assèchement relatif du climat et du sol, va à la conquête des stations qu'elle ne pouvait pas conquérir avant. Cette extension a été vue par EMBERGER dans l'Oued el Abid, où les cédraies incendiées et dépérissantes sont parsemées de jeunes semis de Pin issus de graines amenées par les vents d'Ouest. Jadis, lorsque les forêts de Cèdre étaient en bon état, leur envahissement par des semis de Pin d'Alep n'était pas possible, mais aujourd'hui, l'assèchement considérable du milieu et surtout du sol et la disparition de l'ambiance forestière a favorisé les semis de Pin d'Alep au détriment des semis de Cèdre, lesquels sont plus exigeants en humidité et nécessitent un certain abri pendant leur germination.

Au Maroc oriental, c'est-à-dire sur le versant méditerranéen, on assiste à un phénomène différent, à la suite de la destruction primitive. Alors que sur le versant atlantique on assistait à une extension du Pin d'Alep, on assiste sur le versant méditerranéen — où pourtant *m* est assez élevé — à une extension du Thuya de Barbarie (*Callitris articulata*) qui est plus xérophile que le Pin d'Alep et plus résistant au feu que lui, grâce à sa faculté de rejeter vigoureusement de souche et à un pouvoir comparable de colonisation dû à ses graines ailées. Le Thuya envahit même les stations climatiques de Pin d'Alep après leur destruction par l'homme, comme il a lieu dans la presqu'île de Melila.

1.2 — *Les groupements.*

EMBERGER (1939) distingue deux types de peuplements de Pin d'Alep au Maroc :

- Les Pinèdes méditerranéennes de versant méditerranéen,
- Les Pinèdes atlantiques de versant atlantique.

1.2.1 — Les pinèdes méditerranéennes.

1.2.1.1 — La pinède littorale.

La pinède la plus typique du versant méditerranéen est la pinède littorale de la presqu'île de Melila, au Cap des Fourches, où le Pin d'Alep est accompagné du Thuya de Barbarie et s'avance jusqu'au rivage. Cette pinède repose sur roche-mère calcaire et sur roches récentes d'origine interne. Elle représente la végétation climacique dans cette presqu'île, comme en témoignent les restes de la végétation autour des Marabouts et sur le versant Nord où on trouve du Pin d'Alep à l'état pur. Le Thuya n'y a pris pied qu'à la suite de la dégradation qui a créé des clairières.

Dans cette pinède, le Pin d'Alep est accompagné des espèces suivantes : *Callitris articulata*, *Rosmarinus tournefortii*, *Quercus coccifera*, *Erica multiflora*, *Pistacia lentiscus*, *Lavandula dentata*, *Cistus villosus*, *Phillyrea media*, *Fumana laevipes*, *Helianthemum lavandulifolium*, *Globularia alypum*, *Brachypodium ramosum*, *Avena bromoides*, *Coris monspeliensis*, *Lonicera implexa*, *Smilax aspera*, *Rubia peregrina*, etc...

1.2.1.2 — Les pinèdes d'Aknoul.

Ces pinèdes ne sont pas pures, et le Pin d'Alep se mélange à *Callitris articulata* et à *Quercus ilex*. Il occupe ici l'horizon supérieur de la Callitriaie.

1.2.1.3 — Les pinèdes du Moyen Atlas oriental.

Ici, le Pin d'Alep est en mélange avec *Callitris articulata*, *Juniperus phoenicea* et *Quercus ilex*, suivant l'altitude.

1.2.1.4 — Les pinèdes du Pays de Debou.

Ici aussi le Pin d'Alep est en mélange avec *Callitris articulata*.

N.B. — D'après TREGUBOV, les espèces caractéristiques de l'association du Pin d'Alep sont ici : *Helianthemum racemosum*, *Bupleurum rigidum* et *Genista retamoides*.

1.2.2 — Les pinèdes atlantiques.

Dans ces pinèdes, le Pin d'Alep est en mélange avec *Juniperus phoenicea* ou *Quercus ilex* suivant l'altitude et les expositions. Ces pinèdes n'ont pas de caractère en général. On y trouve des espèces de la Callitriaie, de la Juniperaie ou de la Chênaie de Chênes verts suivant l'horizon occupé par le Pin d'Alep.

2 — Le Pin d'Alep en Algérie

2.1 — Distribution géographique.

Le Pin d'Alep est un arbre très commun en Algérie. Il y couvre 855 000 ha environ (BOUDY, 1950) et y constitue des massifs forestiers très importants. Sa répartition est la suivante :

a) à l'Est, on le trouve dans la région de Tebessa (Région algéro-tunisienne), où il constitue des forêts assez importantes (forêts de Ouled Sidi Yahia ben Thaleb, 50 000 ha), de Ouled Sidi Abid, 26 000 ha, de Brarcha Allouna, 40 000 ha).

b) En tirant vers l'Ouest, on le retrouve dans la région des Plateaux constantinois et de l'Aurès formant des forêts d'une superficie de 80 000 ha d'un seul tenant (Aurès et Biban). Dans le secteur de l'Aurès, on peut citer les forêts de Beni Imboul, Ouled Yacoub, Beni Oudjana. Dans ce secteur, il est, en général, en bon état, mais de croissance ralentie. Dans le secteur de Biban, on rencontre les grands massifs de la région de Bordj bou Arreridj et de Bourira, bien venants mais très incendiés.

c) Dans la région d'Alger, en région algéro-ouarsenienne, il est très commun et constitue des peuplements assez importants. Dans le secteur littoral, il se mélange avec *Quercus suber*, comme dans les forêts de Cherchell, Miliiana, Tenès, Medea, d'Aumale et ne constitue pas de grands massifs. Plus au Nord et à l'Ouest, le Pin d'Alep constitue des peuplements très importants dans le secteur de l'Ouarsenis. De l'Ouest à l'Est, on peut citer le massif de Boghar (52 000 ha), où le Pin d'Alep se mélange au *Quercus ilex*, puis celui de Teniet el Haad de même composition. Dans le massif de l'Ouarsenis proprement dit, le Pin d'Alep constitue des peuplements purs, bien venants, à l'état de futaie jardinée et y couvre 35 000 ha environ (BOUDY, 1950). C'est le domaine exclusif du Pin d'Alep. L'Ouarsenis se termine par de très belles futaies à Ammi Moussa, s'étendant sur 47 000 ha et où la croissance est plus forte qu'ailleurs. Dans ces régions, *Quercus coccifera* forme un sous-étage.

d) En Oranie, le Pin d'Alep atteint son développement maximum et forme des massifs très importants de 200 000 ha environ. Ces peuplements sont souvent incendiés, ce qui fait qu'il ne reste plus que des peuplements jeunes avec *Quercus ilex* et *Q. coccifera* en sous-étage. Les forêts les plus importantes sont celles de Zégala (56 000 ha) et de Slissen (38 000 ha).

e) La région de l'Atlas saharien est la dernière région où se rencontre le Pin d'Alep en Algérie. Il couvre 108 000 ha environ dans la région de Djelfa, et forme de beaux peuplements de vieille futaie sous les monts de Ouled Nail. Dans la région de Bou Saada, il est en mélange en proportion égale avec le genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*).

Le Pin d'Alep a sa limite altitudinale maximale dans l'Atlas tellien entre 1 300 et 1 400 m, dans les Aurès septentrionaux vers 1 600 m, dans l'Atlas saharien entre 2 100 et 2 200 m. Dans les Aurès, il peut arriver au contact de la Cédraie.

La majeure partie des pinèdes de Pin d'Alep d'Algérie relève de l'étage bioclimatique semi-aride tempéré et frais. Le reste relève de l'étage bioclimatique subhumide chaud et tempéré.

2.1.1 — Les pinèdes semi-arides.

Se rattachent à ces groupes, les forêts de l'Aurès, de l'Ouarsenis, de l'Oranie (Saïda, Telagh, Mascara, Bel Abbès) et de l'Atlas saharien comme le montre le tableau suivant :

Station	M	m	M-m	P	PE	Q	Etage bioclimatique
Mascara	34,2	4,1	30,7	511	18	56	Semi-aride moyen tempéré
En Nouadeur (Ouarsenis, Tell central)	34,5	3,2	31,3	526	?	57,5	semi-aride inférieur tempéré
Maillot	37	3,3	33,7	571	32	57,3	semi-aride inférieur tempéré
Ain el Gotia (région de Djelfa)	37,6	0,9	36,7	375	?	35	semi-aride inférieur frais
Djelfa	35,5	0,8	34,7	302	?	30,5	semi-aride inférieur frais
Douhlia (région de Saïda)	32,5	0,2	32,3	381	?	43	semi-aride inférieur frais
Slissen (Tell Oranais)	35,1	0,6	34,5	355	?	35,3	semi-aride inférieur frais
Batna	33,3	0,3	33	346	50	36	semi-aride inférieur frais

2.1.2 — Les pinèdes subhumides.

Ce sont les pinèdes des massifs de Biban, Tablat, Médéa, Cherchel, Miliana, et d'une façon générale, celles de la région tellienne algérienne. Les stations choisies pour caractériser ces pinèdes sont inscrites dans le tableau suivant avec leurs caractéristiques bioclimatiques :

Station	M	m	M-m	P	PE	Q	Etage bioclimatique
Alger (Université)	29,2	9,3	19,9	762	21	131	subhumide supérieur chaud
Medea	32,2	3,2	29	800	33	94,8	subhumide moyen tempéré
Blida	33,6	7,3	26,3	954	47	124	subhumide supérieur chaud
Miliana	31,1	4,6	26,5	950	24	123	subhumide supérieur tempéré
Bougie	30,9	8,1	22,8	972	42	146	limite étage subhumide et humide chaud

2.2 — Les peuplements.

R. MAIRE (1925) distingue dans l'association du Pin d'Alep divers faciès (1) :

2.2.1 — Faciès littoral.

Ce faciès est caractéristique des dunes littorales (environs d'Alger, Zéralda). En avant vers la mer, les Pins sont peu élevés, déformés par le vent, avec *Juniperus phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea media*, *Quercus coccifera*, *Helichrysum Fontanesii*, etc... En arrière et sur les pentes des dunes tournées vers l'intérieur des terres, les arbres sont plus hauts, plus droits et plus serrés. Dans le sous-bois de ces pinèdes on rencontre les espèces suivantes : *Juniperus phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea media*, *Rhamnus alaternus*, *R. oleoides*, *Olea europaea*, *Chamaerops humilis*, *Osyris lanceolata*, *Lavandula stoechas*, *Cistus salviaefolius*, *Asparagus acutifolius*, *Arum italicum*, *Arisarum vulgare*, etc...

2.2.2 — Faciès sublittoral.

On peut prendre comme exemple de ce faciès la forêt de Tala ou Malou, au-dessus de Mouzaïaville, sur les collines marneuses entre 300-400 m d'altitude. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 900 mm (étage subhumide). Le Pin d'Alep y constitue une fu-

(1) Le mot *faciès* désigne ici une variante importante d'un vaste ensemble que MAIRE considérait comme une *association*, en l'espèce, l'*association* du Pin d'Alep.

taie claire d'arbres plus ou moins tortueux. Dans le sous-bois on rencontre: *Callitris articulata*, *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea media*, *Olea europaea*, *Arbutus unedo*, *Osyris lanceolata**, *Calycotome spinosa*, *Erica multiflora**, *Rosmarinus tournefortii**, *Globularia alypum*, *Cistus albidus**, *Cistus salviaefolius*, *Helianthemum lavandulifolium**, *Fumana calycina**, *F. thymifolia*, *Argyrolobium grandiflorum**, *Lonicera implexa*, *Tamus communis*, *Rubia peregrina*, etc...

2.2.3 — Faciès continental.

le faciès de l'intérieur des terres.

Ce faciès se présente en arrière des premières chaînes de l'Atlas tellien: du Sud du Djurdjura, à Boghar, au-dessus de Teniet-el-Had, entre Saïda et les monts de Tlemçen. On peut prendre comme exemple la forêt de Doualia au S-E du Telagh, située entre 1 200 et 1 300 m d'altitude, dans l'étage semi-aride frais. La roche-mère est constituée de calcaire et de grès. Le Pin d'Alep est parfois mélangé à *Quercus ilex*, dont la présence souligne le caractère « montagnard » de l'association. Dans le sous-bois on rencontre: *Quercus ilex*, *Q. coccifera*, *Pistacia terebinthus*, *Juniperus oxycedrus*, *Phillyrea media*, *Arbutus unedo*, *Pistacia lentiscus*, *Colutea arborescens*, *Chamaerops humilis*, *Cistus clusii*, *C. villosus*, *C. salviaefolius*, *Dorycnium suffruticosum**, *Genista quadriflora**, *G. ramosissima**, *Rosmarinus tournefortii**, *Globularia alypum*, *Fumana ericoides*, *Thymelaea cartonraira*, *Clematis flammula*, *Rubia peregrina*, *Ampelodesma mauritanica*, *Stipa tenacissima*.

2.2.4 — Faciès de l'Atlas saharien.

Ce faciès est surtout bien développé dans les Aurès et les monts des Oulad Naïl, de Bou Saada à Aflou. On peut prendre pour exemple les peuplements du Djebel Ougtaïa à l'Ouest de Djelfa (Alt.: 1 400-1 500 m; moyenne annuelle des pluies: 308 mm; m = 0,8; Q = 30,5) situés dans l'étage semi-aride frais. C'est là qu'on trouve les plus belles futaies d'Algérie, denses et à fûts droits et élancés. Dans le sous-bois on rencontre: *Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus*, *J. phoenicea*, *Pistacia terebinthus*, *P. lentiscus**, *Phillyrea angustifolia*, *Crataegus monogyna*, *Rosmarinus tournefortii**, *Globularia alypum**, *Cistus clusii*, *C. villosus*, *Jasminum fruticosum*, *Coromilla pentaphylla*, *Genista pseudopilosa**, *Dorycnium suffruticosum**, *Thymelaea nitida**, *Fumana ericoides*, *Lonicera implexa*, *Stipa tenacissima* (dans les clairières). Dans les parties les plus basses, le Pin d'Alep se mélange progressivement à *Quercus ilex* et à *Pistacia atlantica*.

* Les espèces marquées d'un astérisque peuvent être considérées, d'après R. MAIRE, comme des caractéristiques locales de l'association du Pin d'Alep.

D'après R. MAIRE, *Rosmarinus* et *Globularia alypum* sont des caractéristiques remarquablement fidèles de ce qu'il appelle l'association du Pin d'Alep, qu'elles n'abandonnent pas, si ce n'est sur les dunes littorales.

3 — Le Pin d'Alep en Tunisie

3.1 — *Distribution géographique.*

Le Pin d'Alep est un arbre abondant en Tunisie. Il y couvre une superficie de 340 000 ha environ (BOUDY, 1950). Il est spécialement concentré dans la région de l'Oued Mellègue, principal affluent de la Medjerda et dans la Dorsale tunisienne. C'est dans la Dorsale tunisienne qu'il constitue les massifs les plus importants avec les forêts du Djebel Mansour, de Bou Arada, Kesra, Thala ou Ouled Nagi (29 000 ha). Haidra, Oum Djeddour ou des Madjeurs (40 000 ha) et de Feriana Dernaïa (60 000 ha). Ces peuplements sont à l'état de futaie jardinée, quelquefois en futaie pleine avec *Quercus ilex* en sous-étage. L'alfa est presque toujours présent.

En Tunisie, le Pin d'Alep relève de l'étage bioclimatique semi-aride tempéré et frais, où la continentalité du climat est assez accusée, comme le montrent les stations suivantes choisies à l'intérieur de son aire. On ne le trouve que très rarement dans les régions côtières, sauf dans quelques petites stations du Cap Bon où il est d'origine artificielle.

Station	M	m	M-m	P	PE	Q	Etage bioclimatique
Maktar	32,2	1,7	30,5	490	54	56,5	semi-aride supérieur frais
Le Kef	34,1	3,1	31,0	509	52	56,3	semi-aride supérieur tempéré
Thala	34,4	1,8	32,6	473	63	49,8	semi-aride moyen frais
Zaghouan				500			

3.2 — *Les peuplements.*

SCHOENENBERGER (1957) distingue en Tunisie les pinèdes suivantes :

3.2.1 — Les pinèdes de la région de Zaghouan.

Dans cette région, le Pin d'Alep monte rarement au-dessus de 500 m et évite les versants Est et Sud, où il subit une influence maritime qui ne lui convient pas. Il préfère les versants Nord, mais dès que la pente s'accroît, il cède la place à *Quercus ilex*. Lorsque l'influence maritime se fait sentir, *Callitris articulata* le

concurrence. On le trouve spécialement sur les formations marno-calcaires du Crétacé. Les forêts sont très dégradées. Lorsqu'elles sont protégées, elles présentent un étage dominant de Pins et un sous-étage où dominent *Rosmarinus officinalis*, *Cistus monspeliensis* et *Calycotome intermedia*. Parmi les plantes caractéristiques qui accompagnent ici le Pin d'Alep, on peut citer : *Rosmarinus officinalis*, *Globularia alypum*, *Erica multiflora*, *Fumana thymifolia*, *Ebenus pinnata*, *Thymelaea nitida*, *Avena bromoides*, *Helianthemum racemosum*, *Bupleurum balansae*, *Teucrium pseudochamaephytis*, *Genista cinerea*, *Bupleurum gibraltaricum*, *Fumana ericoides*, *Leuzea conifera*, *Sideritis incana*, *Onobrychis venosa*, *Juniperus phoenicea*, *Genista argentea*.

Suivant les stations, on trouve encore : *Quercus ilex*, *Q. coccifera*, *Ceratomia siliqua*, *Olea europaea*, *Callitris articulata*, etc...

Les forêts dégradées se présentent sous la forme d'une garrigue où dominent *Rosmarinus officinalis*, *Cistus villosus*, *Cistus monspeliensis*, *Erica multiflora* avec une maigre pelouse de plantes annuelles (*Stipa retorta*, *Plantago lagopus*).

3.2.2 — Les pinèdes de la région de Fikirine et du Djebel Mansour.

Dans cette région, le Pin d'Alep évite les fonds d'Oued et les pentes Nord à forte déclivité, où il cède la place, en partie ou totalement, au Chêne vert. On le trouve surtout sur les formations marno-calcaires du Crétacé.

Les forêts sont en très mauvais état. Elles présentent en général deux étages : un étage supérieur composé de Pins très espacés et un étage inférieur composé de *Rosmarinus officinalis*, *Erica arborea*, *Ampelodesma mauritanica* (Diss), *Calycotome villosa*, *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, etc... La dégradation des forêts donne naissance à une garrigue de Romarin, puis à des landes à *Fumana thymifolia*, *Thymus algeriensis*, *Globularia alypum*, puis à une pelouse à *Hedysarum coronarium* (sur les marnes) ou à une pelouse à *Stipa retorta* (sur les terres légères).

3.2.3 — Les pinèdes de la région de Maktar-Kesra-Ouesselat.

Les forêts de Pin d'Alep dépassent les 1 000 m dans les stations arides et rentrent en concurrence avec la forêt de Chêne vert. A partir de 700 m, elles sont éliminées, dans les endroits frais, par le groupement connu sous le nom d'association à olivier-caroubier.

Ces forêts reposent sur plusieurs étages géologiques, mais se rencontrent le plus souvent sur les calcaires intercalés de marnes. Elles sont en mauvais état à la suite des incendies et du pâturage excessif.

La dégradation de ces forêts donne naissance à une garrigue à romarin puis, dans le cas extrême, à une steppe à *Artemisia campestris* ou à *Artemisia herba-alba*.

3.2.4 — Les pinèdes du Mellègue.

SCHOENENBERGER (1957) distingue dans la région sise entre Le Kef et la frontière algérienne une association du Pin d'Alep comportant les sous-associations suivantes :

— la sous-association à *Juniperus phoenicea*: caractéristique des régions recevant 300-400 mm de pluies, où *Juniperus phoenicea* forme le sous-bois dans les forêts bien conservées. La strate inférieure est caractérisée par *Rosmarinus officinalis* et *Teucrium polium*. Elle est indifférente à la nature du sol.

— la sous-association à *Cistus clusii* surtout concentrée là où la pluviométrie dépasse 400 mm. Elle est indifférente à la nature du sol.

— la sous-association à *Quercus ilex* se rencontre dans les régions où la pluviométrie est comprise entre 500 et 600 mm, surtout sur le versant Nord - Nord-Ouest entre 650 et 900 m. Elle est indifférente à la nature du substratum, mais évite les formations gypseuses du Trias. Elle se présente sous la forme d'une futaie jardinée avec un sous-bois dense. Les arbres sont très beaux et bien élagués.

3.2.5 — Les pinèdes de la région de Thala, Djebel es Sif, Haïdra.

Ces pinèdes sont situées dans l'étage semi-aride froid. Dans cette région, une sous-association à *Retama sphaerocarpa* Boiss. de l'association du Pin d'Alep a été décrite par SCHOENENBERGER (1957). Elle recouvre les séries du Crétacé et est insensible au relief. Primitivement, elle devait recouvrir toute la région, si ce n'est les versants Nord des plus hauts sommets où le *Quercetum ilicis* s'est maintenu.

La sous-association type se présente sous la forme d'une futaie claire et équienne. Le sous-bois se compose spécialement de *Rosmarinus officinalis* et de *Retama sphaerocarpa*. On y note l'absence totale de *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Olea europaea*, *Erica multiflora* qui accompagnent toujours les associations de Pin d'Alep dans le Nord et le Centre de la dorsale tunisienne.

Le Pin d'Alep de cette sous-association est beau, avec des fûts peu tortueux, malgré l'absence d'élagage à la suite du manque de sous-bois élevé. Ces peuplements présentent donc une valeur réelle pour la Tunisie. La dégradation de ces forêts donne naissance à une garrigue à Romarin et, dans le cas extrême, à une steppe à *Artemisia herba-alba*.

D'après SCHOENENBERGER toujours, la forêt de Pin d'Alep représente, sans aucun doute, dans ces régions la forêt climax.

4 — Le Pin d'Alep en Lybie

Le Pin d'Alep est un arbre peu abondant en Lybie. On le trouve à l'état spontané en Cyrénaïque, sur le versant méditerranéen du Djebel Akhadar. Les pinèdes ne sont pas en très bon état et sont, le plus souvent, à l'état de futaie jardinée. Il relève de l'étage semi-aride supérieur tempéré.

Dans le sous-bois des pinèdes on rencontre: *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*, *Calycotome intermedia*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea*, *Rhus oxycantha*, *Phillyrea media*, etc...

5 — Le Pin d'Alep en Egypte

Le Pin d'Alep n'existe pas à l'état spontané en Egypte. On le trouve cultivé dans les jardins et les parcs.

6 — Le Pin d'Alep en Palestine et Jordanie

6.1 — Distribution géographique.

Les forêts de Pin d'Alep sont concentrées dans les régions suivantes: entre Ajloun et Nord de Wadi Zarka, dans les montagnes entre Salt et Wadi Zarka, au Mont Carmel, aux environs de Hebron, Jarash, Yirka.

Le Pin d'Alep se rencontre surtout sur les formations marneuses et marno-calcaires. Cependant, on le rencontre quelquefois sur *Terra rossa* reposant sur du calcaire dur fissuré, principalement aux environs de Ajloun. Sur ces sols il est accompagné de *Quercus calliprinos* et *Q. infectoria*.

Les forêts naturelles de Pin d'Alep relèvent de l'étage bioclimatique subhumide tempéré comme le montrent les stations suivantes (1):

Station	M	m	M-m	P	PE	Q	Etage bioclimatique
Ajloun	28,2	3	25,2	693	0	95,4	subhumide moyen tempéré
Salt	32,1	4,5	27,6	725	0	90,1	subhumide inférieur tempéré
Jérusalem	29,6	5,2	24,4	617	0	86,4	subhumide inférieur tempéré

(1) Données du département de l'irrigation et des forces vives pour la période 1937-55.

6.2 — *Les peuplements.*

Le Pin d'Alep constitue des forêts climaciques sur les formations marneuses et marno-calcaires. Ces forêts peuvent être pures ou mixtes : Pin d'Alep - Chênes (*Quercus calliprinos*, *Q. infectoria*). On admet maintenant (ZOHARY, 1951) que toutes les formations marneuses et marno-calcaires des montagnes de Galilée et de Nablus, actuellement dépourvues de forêts de Pin d'Alep, portaient, à l'origine, une végétation climacique à base de Pin d'Alep. En dehors de ces formations, et dans le même étage bioclimatique, le Pin d'Alep cède la place à *Quercus calliprinos*, qui constitue alors des forêts climaciques sur *Terra rossa*. Cependant, le Pin d'Alep arrive quelquefois à envahir les stations de *Quercus calliprinos* à la suite des coupes des Chênes, mais, sur ces stations, il ne domine les Chênes que grâce à l'intervention humaine.

6.2.1 — Les pinèdes sur marnes et calcaires-marneux.

Nous pouvons prendre, comme exemple de ces pinèdes, le peuplement de Dibbin (950 m), aux environs de Ajloun, qui est protégé depuis une vingtaine d'années. Il est constitué d'un étage supérieur de Pins de 8 m de hauteur, un sous-étage de feuillus de 2 m de hauteur et une strate inférieure de 10-70 cm. On y trouve les espèces suivantes (LONG, 1957) :

Arbutus andrachne, *Pistacia palaestina*, *Calycotome villosa*, *Cistus salviaefolius*, *Smilax aspera*, *Quercus calliprinos*, *Oryzopsis miliacea*, *Cynodon dactylon*, *Thesium bergeri*, *Fumana arabica*, *Helianthemum lavandulifolium*, *Styrax officinale*, *Thymbra spicata*.

Ici, le Pin d'Alep représente l'essence climacique de la région sur formations marneuses et marno-calcaires.

6.2.2 — Les pinèdes sur *Terra rossa*.

Ces pinèdes sont assez répandues dans la région de Ajloun. Dans ces pinèdes le Pin d'Alep est étroitement associé aux Chênes (*Quercus calliprinos* et *Q. infectoria*). Une pinède bien protégée depuis une vingtaine d'années aux environs de Dibbing montre la composition suivante (LONG, 1957) :

Un étage dominant de Pin d'Alep clair avec en sous-étage des feuillus et une strate herbacée très dense. On y trouve : *Ceratonia siliqua*, *Quercus calliprinos*, *Q. infectoria*, *Pyrus syriaca*, *Calycotome villosa*, *Arbutus andrachne*, *Pistacia palaestina*, *Lonicera etrusca* var. *viscidula*, *Styrax officinalis*, *Cistus villosus*, *C. salviaefolius*, *Smilax aspera*, *Asparagus aphyllus*, *Scrophularia scantoglossa*, *Teucrium polium* s.l., *Ononis natrix*, *Asphodelus microcarpus*, *Avena barbata*, *Helichrysum sanguineum*, *Rubia tenuifolia* var. *stenophylla*, *Micromeria juliana* var. *myrtifolia*, etc...

Dans cette forêt, le Pin d'Alep trouve une certaine difficulté à se régénérer naturellement à cause de la nature physique du sol et de la grande concurrence entre les espèces.

7 — Le Pin d'Alep au Liban

7.1 — *Distribution géographique.*

Le Pin d'Alep se rencontre surtout au Liban Sud, entre 0 et 600 m d'altitude. Il est peu abondant. Selon P. MOUTERDE, le petit peuplement qui existe au nord de Beyrouth, vers Jbaïl, ne semble pas être naturel, mais d'origine artificielle. Cependant le problème n'est peut-être pas encore résolu. On le rencontre aussi dans le Nord du Liban à Akkar et à Dounnié où il est en mélange avec *Quercus calliprinos* ou *Pinus brutia* et très rarement à l'état pur (BERJAOUI, 1952).

Il relève de l'étage bioclimatique subhumide chaud et tempéré.

7.2 — *Les peuplements.*

Les pinèdes sur marnes et calcaires marneux sont les plus fréquentes. Sur ces formations, le Pin d'Alep constitue des forêts climaciques pures ou mixtes.

Sur *Terra rossa*, le Pin d'Alep s'est installé après la destruction de la végétation de Chênes. Il continue à dominer ces derniers grâce à l'intervention humaine continue.

A Aïn Traz, au Liban Central, un peuplement de Pin d'Alep sur calcaire marneux montre la composition floristique suivante (FEINBRUN, 1959) : *Pinus halepensis* de 15-20 m de hauteur formant un étage supérieur assez clair, *Quercus calliprinos*, *Pistacia palaestina*, *Rhamnus palaestina*, *Calycotome villosa*, *Spartium junceum*, *Hypericum serpyllifolium*, *Poterium spinosum*, *Salvia triloba*, *Thymbra spicata*, *Fumana thymifolia*, *Majorana syriaca*, *Onosma frutescens*, *Smilax aspera*.

Des jeunes Pins d'Alep, issus de semis naturels, y sont fréquents.

8 — Le Pin d'Alep en Syrie

Le Pin d'Alep est une essence extrêmement rare à l'état naturel en Syrie où il est remplacé par *Pinus brutia*. Jusqu'à maintenant, il n'a été rencontré que dans une seule station côtière dans la montagne des Alaouites, à gauche de la route qui relie Baniyas à Qadmous (NAHAL, 1962), et où il n'occupe qu'une très faible superficie de quelques dizaines d'hectares seulement. Il pousse sur calcaire dolomitique alternant quelquefois avec de la marne dolomitique et relève de l'étage bioclimatique subhumide tempéré.

Ce peuplement de Pin d'Alep est clair et en très mauvais état. Les arbres sont assez jeunes et chétifs. Le sous-étage, assez dense, est composé de: *Quercus calliprinos*, *Pistacia palaestina*, *Juniperus oxycedrus*, *Phillyrea media*, *Cistus salviaefolius*, *Cistus villosus*, *Calycotome villosa*.

Ce petit bois de Pin d'Alep isolé au milieu d'une autre végétation (association à *Quercus calliprinos* et *Pistacia palaestina*), permet de penser que c'est un îlot relique, témoin d'une extension autrefois plus importante qu'aujourd'hui.

9 — Le Pin d'Alep en Turquie

Comme en Syrie, le Pin d'Alep est extrêmement rare à l'état naturel en Turquie. Il n'a été trouvé, jusqu'à maintenant, que dans une seule localité, aux pieds du Taurus, à 32 km de la côte méditerranéenne dans Sariçaaen Forest de Adana, où il est en mélange avec *Pinus brutia* (KAYACIK, 1954).

La surface occupée par le Pin d'Alep est très restreinte, de l'ordre de 500 ha environ. Cette localité est située dans l'étage subhumide tempéré avec une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 550 mm.

Les peuplements de Pin d'Alep sont d'âges variés et en général clairsemés et en mauvais état. En sous-étage on trouve: *Quercus calliprinos*, *Arbutus andrachne*, *Arbutus unedo*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea media*, *Myrtus communis*, *Cistus villosus*, *Cistus salviaefolius*, etc...

La présence de ce petit boisement de Pin d'Alep en mélange avec *Pinus brutia*, au milieu de l'aire géographique de ce dernier, indique bien que c'est un îlot relique, témoin d'une extension autrefois plus grande qu'aujourd'hui.

10 — Le Pin d'Alep en Grèce

Le Pin d'Alep est très répandu en Grèce, où il recouvre une superficie de 334 000 ha environ (PAPAJOANNOU, 1954). Il occupe les régions littorales et les basses montagnes et va du niveau de la mer jusqu'à 1 000 m d'altitude. Il est fréquent dans les régions suivantes: Attique, Megaride, Beotie, Loeride, Salamine, Aegine, Angistri, Eubée, Peloponèse, région de Corinthe, Argolide.

Il relève des étages bioclimatiques subhumide et semi-aride.

Les forêts de Pin d'Alep ont été, dans beaucoup d'endroits, endommagées par l'homme. On les trouve sous la forme de forêts claires jardinées. Pourtant de beaux peuplements existent encore avec un sous-étage dont la composition floristique dépend étroitement de l'influence de l'homme, donc du stade d'évolution régressive ou progressive de la végétation.

Dans les forêts peu dégradées, le sous-étage est composé essentiellement de: *Quercus ilex*, *Q. coccifera*, *Arbutus unedo*, *Smilax aspera*, *Erica verticillata*. Quand la dégradation s'accroît, ces espèces diminuent alors que d'autres comme *Cistus villosus*, *Cistus salviaefolius*, prennent de l'importance.

11 — Le Pin d'Alep en Albanie

En Albanie, le Pin d'Alep occupe une aire très restreinte, sur la zone littorale de l'Adriatique. Il est situé dans la zone des feuillus à feuilles persistantes.

Il relève de l'étage méditerranéen subhumide.

12 — Le Pin d'Alep en Yougoslavie

Le Pin d'Alep occupe, en Yougoslavie, les parties les plus chaudes de la côte Adriatique. Il est situé dans la zone méditerranéenne des feuillus à feuilles persistantes qui occupe une bande littorale très étroite à partir de Sibenik, ce qui correspond à l'étage bioclimatique subhumide. Cet étage va du niveau de la mer jusqu'à 1 000 m d'altitude en Dalmatie méridionale et jusqu'à 300 m en Dalmatie septentrionale. Le Chêne vert et le Pin d'Alep sont les essences les plus importantes de cet étage, le Chêne vert dans le Nord et le Pin d'Alep dans le Sud.

D'après ADAMOVIĆ (1911), la forêt autochtone de Pin d'Alep s'étend sur le continent dalmate au Sud de Split et sur les îles dalmates, au Sud de Solta et de Brac. Dans ces régions, la forêt de Pin d'Alep occupait une surface beaucoup plus grande qu'aujourd'hui.

En Dalmatie septentrionale, les forêts de Pin d'Alep paraissent être d'origine artificielle.

Le Pin d'Alep ne s'éloigne pas du littoral et ne monte pas beaucoup en altitude. Sa limite altitudinale maximale ne dépasse pas 200 m en Dalmatie méridionale.

Il relève de l'étage bioclimatique subhumide.

Il constitue des peuplements très variés, allant de la futaie pure dense avec un sous-étage très peu développé, jusqu'à la futaie très claire avec un sous-étage très abondant dont les éléments les plus importants sont: *Juniperus oxycedrus*, *J. macrocarpa*, *J. phoenicea*, *Smilax hispida*, *Asparagus acutifolius*, *Quercus coccifera*, *Q. ilex*, *Spartium junceum*, *Erica verticillata*, *Arbutus unedo*, *Viburnum tinus*, *Paliurus australis*, *Laurus nobilis*, etc...

On le trouve quelquefois en mélange avec *Pinus pinea*.

Le Pin d'Alep a été largement utilisé pour les reboisements des terrains arides par les forestiers yougoslaves.

13 — Le Pin d'Alep en Italie

13.1 — *Distribution géographique.*

Le Pin d'Alep couvre en Italie une superficie de 20 000 ha environ. Ses plus grands massifs se rencontrent sur la côte ionienne dans la Province de Tarante et en Gargano. On le trouve également en Ligurie, sur la côte méditerranéenne, en Ombrie où il pénètre à l'intérieur du pays (Haute vallée du Néra, affluent du Tibre, jusqu'à 700 m d'altitude), et sur la côte occidentale de la Sicile (E. MAGINI, 1955).

Il relève de l'étage humide en Ligurie et en Ombrie, de l'étage subhumide en Gargano et de l'étage semi-aride dans la Province de Tarante.

13.2 — *Les peuplements.*

13.2.1 — Les pinèdes humides.

Ces pinèdes sont situées sur calcaire dur fissuré. Dans la vallée du fleuve Néra, le Pin d'Alep se mêle aux Chênes à feuilles caduques, au Charme (*Carpinus betulus*) et à l'Orme (*Ulmus campestris*). En Ombrie, on trouve tous les stades entre la futaie pure de Pin d'Alep et le taillis de Chênes et de Charme parsemés de quelques pieds de Pin d'Alep.

Ces pinèdes ne sont pas climaciques. En effet, le Pin d'Alep n'a pu s'installer sur ces terrains et au milieu de cette végétation qu'à la suite de la dégradation des forêts feuillues qui a amené une diminution de la concurrence et un assèchement local du milieu. Il s'y maintient grâce à l'intervention humaine qui le favorise, au moment de l'exploitation, au détriment des feuillus.

13.2.2 — Les pinèdes subhumides.

En Gargano, le Pin d'Alep croît du niveau de la mer jusqu'à 600 m d'altitude. Il y constitue le plus souvent des forêts pures, denses et presque dépourvues de sous-étage; on y voit aussi de véritables taillis de Chêne vert parsemés de quelques pieds de Pin d'Alep.

Très souvent, la forêt de Pin d'Alep ne représente pas le climax, mais elle se maintient grâce à l'intervention humaine.

13.2.3 — Les pinèdes semi-arides.

Ces pinèdes sont dans la Province de Tarante. Elles sont toutes pures et se caractérisent par l'absence du Chêne vert. Leur régénération naturelle est facile.

D'après MAGINI, ces pinèdes de Pin d'Alep pourraient représenter le climax de la région.

Ces pinèdes sont remarquables par la présence d'un Chêne qui rappelle étroitement le *Quercus calliprinos* Webb. de la Méditerranée orientale. L'existence de ce chêne dans cette région ne serait pas surprenante, car la flore qui accompagne ces pinèdes rappelle énormément la flore de l'Attique (Grèce).

14 — Le Pin d'Alep en Espagne

14.1 — *Distribution géographique.*

Le Pin d'Alep est assez répandu en Espagne. On le trouve sur presque toute la côte méditerranéenne. Il pénètre même à l'intérieur du pays, mais ne s'éloigne pas beaucoup de la côte. Les pinèdes ne sont pas toutes naturelles, car cette essence a été très utilisée par les forestiers espagnols pour le reboisement des terrains arides.

Le Pin d'Alep est présent dans 24 Provinces (Gerona, Lerida, Huesca, Barcelona, Tarragona, Zaragoza, Guadalajara, Murcia, Valencia, Cuenca, Alicante, Albacete, Almeria, Granada, Malaga, etc...) (E.G. VAZQUEZ, 1957).

Il forme des peuplements assez importants, dans les Provinces de Barcelona, Valencia et Malaga. On le trouve aussi aux Iles Baléares où il forme des forêts et monte jusqu'à 1 200 m en Majorque.

En Espagne, le Pin d'Alep relève de l'étage semi-aride et de l'étage subhumide, comme le montrent les stations suivantes. On ne le trouve pas dans l'étage humide.

Station	P	PE	M	m	M-m	Q	Etage bioclimatique
Barcelone	526	43	28,5	4,8	23,7	76,6	subhumide inférieur tempéré
Malaga	490	43	30,2	8,6	21,6	84	limite semi-aride super. et subhumide inférieur chaud
Valence	472	43	30,0	4,6	25,4	64	semi-aride supérieur tempéré
Carthagène	340	?	28,8	6,2	22,6	52	semi-aride moyen tempéré
Saragosse	295	43	32,9	1	31,9	52	semi-aride inférieur froid
Murcia	357	43	33,9	4,5	28,6	50,7	semi-aride inférieur tempéré

14.2 — *Les peuplements.*

Pour avoir une idée moyenne des pinèdes naturelles de Pin d'Alep en Espagne, nous allons les étudier dans 2 Provinces, l'une au Nord (Province de Catalogne) et l'autre au Sud (Province de Malaga).

14.2.1 — *Les pinèdes de la Catalogne (1).*

La quasi totalité de ces pinèdes est située dans l'étage subhumide. Cependant, le Pin d'Alep se hasarde quelquefois et pénètre dans l'étage humide, mais, ici, il est très rare et se trouve à sa limite altitudinale maximale et se fait fortement concurrencer par *Pinus salzmannii* et exceptionnellement par *P. sylvestris*.

Dans les régions aux environs de Barcelone, le Pin d'Alep a profité des déboisements faits par l'homme et a envahi les groupements provenant de la dégradation des forêts primitives comme dans les massifs de Tibidabo, Garraf, Ordal, Montsenay, San Lloren, Berti, Levant.

C'est ainsi qu'on le trouve installé dans les associations à *Rosmarinus officinalis*, *Aphyllanthes monspeliensis*, *Erica scoparia* et *Lavandula stoechas*, *Andropogon hirtus* et *A. pubescens*, etc... (LAPRAZ, 1956).

a — On le trouve sur des surfaces importantes dans l'association à *Rosmarinus officinalis* sur des terrains éocènes. Les caractéristiques de cette association décrite par LAPRAZ (1956) sont: *Erica multiflora*, *Orobanche latisquama*, *Bupleurum fruticosens*, *Fumana thymifolia* ssp. *glutinosa*, *Centaurea linifolia*, *Thymelea tinctoria*, *Helianthemum pilosum*, *Atractylis humilis*, *Helianthemum lavandulifolium*; elle fait phytosociologiquement partie, dans la classification de BRAUN-BLANQUET de l'association à *Rosmarinus officinalis*, *Stachelina dubia*, *Coris monspeliensis*, *Globularia alypum*, *Stipa juncea* et de « l'ordre » à *Fumana ericoides*, *Avena bromoides*, *Lavandula latifolia*, *Pistacia lentiscus*.

Dans cette association le Pin d'Alep se régénère très bien.

b — Il est assez fréquent sur les landes et pelouses à *Aphyllanthes monspeliensis* et *Scorzonera graminifolia* et se trouve localisé sur l'ubac. Il relève de l'étage subhumide, et occupe les terres de l'Eocène, Oligocène et Miocène, ainsi que les calcaires marneux de l'Albien et les marnes triasiques (Marschelkal continental et Keuper). Dans le sous-étage, on rencontre les espèces suivantes: *Anacamptis pyramidalis*, *Polygala vulgaris* ssp. *pedemontana*, *Onobrychis saxatilis*, *Astragalus incanus*, *Brachypodium phoenicoides*, *Chlora perfoliata*, *Avena bromoides*, *Lavandula latifolia*, *Centaurea*

(1) D'après LAPRAZ, 1956.

conifera, *Linum narbonense*, *Rosmarinus officinalis*, *Euphorbia nicaensis*, *Helianthemum italicum*, *Fumana ericoides* et quelquefois *Quercus ilex*.

A la limite altitudinale de cette association, le Pin d'Alep est remplacé par le Pin de Salzmann et exceptionnellement par le Pin sylvestre. Il pénètre légèrement dans l'étage humide, mais ici, il est très rare et se trouve à sa limite altitudinale supérieure.

c — On le trouve aussi dans l'association à *Erica scoparia* et *Lavandula stoechas* qui se développe sur granite et dans l'étage subhumide (600-700 mm par an). Dans le sous-bois on rencontre *Orchis picta*, *Carex oedipostyla*, *Cistus salviaefolius*, etc...

d — Sur les alluvions anciennes, on le trouve dans l'association à *Cistus catalanicum*, dans l'étage subhumide. Dans le sous-bois, on trouve fréquemment : *Cistus salviaefolius*, *C. monspeliensis*, *C. crispus*, *C. ladanifera*, etc...

e — On le trouve aussi colonisant l'association à *Andropogon hirtus* et *A. pubescens* dans l'étage subhumide.

N. B. — Il est intéressant de signaler qu'aux environs de Valence existent des pinèdes de Pin d'Alep à *Stipa tenacissima* (L. EMBERGER, renseignement verbal). C'est un type de Pinèdes très original pour l'Europe.

14.2.2 — Les pinèdes du S.E. de l'Espagne (1).

Dans cette région, le Pin d'Alep va du niveau de la mer (Nerja, Province de Malaga) jusqu'à 1 200 m d'altitude en Sierra de Caparian et Sierra de la Nieve. Les massifs les plus importants de Pin d'Alep de la Province de Malaga sont situés dans la Sierra de la Nieve (Tolox et Yunquera). Le Pin d'Alep arrive à se mélanger avec *Abies pinsapo*, en montagne, dans la Sierra de Caparian (Carratraca, Ardales et Casarabonela) et avec *Pinus pinaster* dans la Sierra Almijara (Nerja, Frigiliana et Competa).

D'autres massifs, mais beaucoup moins importants, se rencontrent dans les régions suivantes : Golanles, Gaucèn, Cerro Beaters, Archidonia, Hoz de Marin.

a — Sierra de la Nieve :

Ici, le Pin d'Alep occupe principalement l'étage semi-aride, mais étant donné sa plasticité biologique, il arrive à pénétrer dans l'étage subhumide. Mais, dans cet étage, il est très concurrencé par d'autres essences beaucoup plus adaptées que lui.

Il va du niveau de la mer jusqu'à 1 200 m d'altitude, dans les montagnes de Tolox et Yunquera ; mais à partir de 700 m d'alti-

(1) D'après CEBALLOS et VICIOSO (1933).

tude, il commence à se localiser sur les versants Sud et occupe les terrains calcaires. A basse altitude, la forêt de Pin d'Alep représente le climax de la région. Elle se présente sous la forme d'une futaie claire, de 8 à 10 m de hauteur, avec des arbres tortueux et un sous-étage formé de *Juniperus*, *Rhamnus*, *Pistacia*.

b — Sierra de Caparian :

Ici, le Pin d'Alep se localise sur le versant oriental. Il occupe les formations calcaires triasiques et monte jusqu'à 1 000 m d'altitude.

Il forme des futaies claires avec un sous-étage assez développé dont les principaux éléments sont : *Cistus monspeliensis*, *Cistus albidus*, *Helianthemum glaucum*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus granatensis*, *Fumana glutinosa*, *Ulex baeticus*, *Pistacia lentiscus*, *P. terebinthus*, *Rhamnus oleivales*, *Corydithymus capitatus*, *Quercus coccifera*, *Juniperus phoenicea*, *J. oxycedrus*, *Lithospermum fruticosum*.

c — Montes de Nerja, Frigiliana et Competa :

Ici, on le trouve mélangé à *Pinus pinaster*, dans l'étage semi-aride. La pluviosité moyenne annuelle est inférieure à 500 mm (CEBALLOS et VICIOSO, 1933).

d — Galantes :

Le Pin d'Alep relève ici de l'étage semi-aride. La pluviosité moyenne est inférieure à 500 mm. On le trouve sur mollasses et arènes miocènes. Son extension est relativement considérable. Il forme, dans certaines régions, comme dans Cumbres del Almorchon, des peuplements denses, bien équilibrés et représentant le climax (CEBALLOS et VICIOSO, 1933). Il occupe aussi des stations très dégradées, comme dans Mesas de Villaverde. *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* et *Rosmarinus officinalis* sont fréquents sous les peuplements de Pin.

e — Gausèn, Cerro Beaters.

Le Pin d'Alep se rencontre ici sur le versant Sud-Ouest et relève de l'étage subhumide.

15 — Le Pin d'Alep au Portugal

Le Pin d'Alep existe au Portugal, mais il n'y est pas spontané.

TROISIEME PARTIE

Le pin d'Alep en France

CHAPITRE I

AIRE GEOGRAPHIQUE DU PIN D'ALEP EN FRANCE

Le Pin d'Alep y est limité à la région méditerranéenne, où il occupe 135 000 ha environ (PARDÉ, 1957) (voir carte n° 4).

C'est dans le département des Bouches-du-Rhône qu'il constitue les massifs les plus importants, où il couvre 60 000 ha (ARBAUD, 1957). Il couvre massivement les chaînes littorales et sublittorales à l'Est de Marseille et autour d'Aix-en-Provence, jusqu'à la Durance. On le trouve sur des roches-mères variées: marnes, calcaires marneux, calcaires gréseux, et *terra rossa* recouvrant le calcaire dur de l'Urgonien. Sur cette dernière, il forme des peuplements importants (Gineste, Gardiole, etc...). Les incendies répétés ont beaucoup dégradé ces peuplements sur calcaire dur, en rendant le milieu édaphique impropre à la régénération naturelle. C'est ainsi qu'à Gineste, à l'Est de Marseille, où il y avait des forêts denses de Pin d'Alep il y a 100 ans encore (renseignement verbal de M. de CARMENTRAND), on ne trouve actuellement qu'une garrigue basse, très claire, de Chêne kermès, où le calcaire dur apparaît en surface dans beaucoup d'endroits, à la suite de la disparition de la *terra rossa*; le Pin d'Alep ne se maintient que dans les endroits humides (bas-fonds, pieds de collines), comme à Luminie. Sur calcaire marneux, les massifs de Pin d'Alep sont moins dégradés que ceux du calcaire urgonien du fait de la facilité de régénération du Pin d'Alep sur ce substratum.

Dans le département des Alpes-Maritimes, il occupe les collines calcaires du littoral, entre 0 et 800 m d'altitude environ. Il remonte un peu dans la vallée du Var; sa limite supérieure y est située à la latitude de la région Puget-Théniers-Entrevaux. Il pénètre très peu dans les bassins de la Tinée et de la Vésubie et remonte l'Estéron, jusque vers Cuébris (SALVADOR, 1910). Enfin, il existe un peuplement pur de Pin d'Alep qui occupe le versant Sud de la chaîne calcaire dominant Villefranche, Beaulieu et Eze.

Dans le département du Var, le Pin d'Alep est abondant dans la région des coteaux et basses montagnes calcaires autour de Draguignan, Le Luc, Brignoles et au Nord-Ouest de Toulon. Il est remplacé par le Pin maritime sur les massifs cristallins des Maures de l'Estérel. Cependant, on le trouve sur les terrains périphériques schisteux et gréseux.

Il est assez répandu dans les îles d'Hyères. A Porquerolles, il occupe la côte Nord, où il est assez abondant et forme de beaux peuplements sur la côte, notamment entre l'ancien fort de l'Alicastre et le Cap des Mèdes. A Port-Cros, il est également assez fréquent et en voie d'expansion.

Dans le département des Basses-Alpes, il existe dans la vallée de la Durance et la basse vallée du Verdon, mais à l'état localisé, en raison des températures trop basses, qui lui sont défavorables. A partir de Manosque, le Pin d'Alep se localise surtout sur la rive droite de la Durance qui est exposée au Sud et Sud-Est, et ne s'éloigne pas de la vallée. A l'intérieur, il est remplacé par le Pin sylvestre. Un important massif de Pin d'Alep se trouve dans la région de Peyruis, et c'est probablement le massif le plus important que l'on trouve dans cette partie septentrionale de son aire en Provence. Après Peyruis, on ne trouve plus de Pin d'Alep qu'à l'état sporadique dans le taillis de Chêne pubescent. Il disparaît complètement à la latitude de Sisteron.

Dans le département du Vaucluse, l'essentiel des peuplements de Pin d'Alep occupe les stations au Sud du Massif du Lubéron, le long de la boucle de la Durance (Merindol, Cadenet, Cavaillon, Pertuis, Vitrolles, Bastide des Jourdans). Il contourne le Mont Ventoux dont il n'occupe que la base au Nord du Village de Bédoin (MAURY, 1956). On le retrouve ensuite, au Nord de Carpentras, en peuplements assez importants dans la boucle de l'Ouvèze (massifs de Vaison, Seguret, Sablet, etc...) et entre Aygues et Ouvèze (massif de Buisson-Rasteau) (PARDÉ, 1957).

Dans les départements de la Drôme et de l'Ardèche, il est moins fréquent dans le paysage; il y atteint sa limite la plus septentrionale dans la région de Montélimar. C'est une région de transition, où le climat passe, un peu plus au Nord, à un climat non méditerranéen.

Dans le département du Gard, le Pin d'Alep est très commun. Dans le Nord-Ouest du département, on le trouve autour de Bagnols-sur-Cèze, Gaujac, Sabran, Saint-Nazaire, etc... On le trouve dans la région d'Uzès. Il est fréquent dans la région de Nîmes, notamment à Courbessac, Massilan, Lédénon, forêt communale de Nîmes. La plupart de ces massifs sont d'origine artificielle. Enfin, on le retrouve à l'Ouest du département, dans la région de Crespian et Sommières.

Dans le département de l'Hérault, il est assez fréquent. On le trouve sur des roches-mères variées (sur calcaire marneux, marnes, calcaire dur, complexe argilo-gréseux, etc...). L'essentiel des peuplements de Pin d'Alep est cantonné dans les régions suivantes: Fontfroide, Fontanès, La Roque, région de Clapiers, Montmaur, source du Lez, où il se trouve sur substratum calcaire; la Bruyère, la Devèze, Bois de Vitargues, Bois « Les Chênes », où il se trouve sur substratum siliceux. Il ne s'éloigne pas beaucoup de la côte. Il est contenu, dans sa progression vers le Nord, par les températures trop basses et l'humidité. En effet, la station la plus septentrionale est du côté Nord-Ouest de Fontanès, sur le versant chaud de la colline « La Côte ». Sa station la plus occidentale dans ce département se situe aux environs de Lodève.

Dans le département de l'Aude, il est assez fréquent au Sud-Est de Narbonne, dans la Montagne de la Clape. On le trouve aussi sur le versant Sud de la Montagne Noire, dans les basses Corbières entre Têt et Agly, où il est d'origine artificielle.

Enfin, signalons que le Pin d'Alep existe, à l'état de rareté, en Corse, dans la région de Saint-Florent, sur le côté nord de l'île. Il est, en effet, extrêmement localisé en Corse, sans doute pour des raisons historico-géologiques (DE LITARDIÈRE et MALCUIT, 1946). Le Pin d'Alep s'est installé là où les conditions écologiques (température et sécheresse) correspondent, sur certaines étendues, à celles de l'étage semi-aride (CONTANDRIOPOULOS, 1962), et, en particulier, sur la côte des Agriates où le sous-bois des pinèdes est dépourvu de *Quercus ilex*. Plus loin, dans la vallée de Poggio et sur les premières pentes du Sant' Angelo de St. Florent, *Quercus ilex* apparaît dans le sous-bois, accompagné de: *Arbutus unedo*, *Myrtus communis*, *Pistacia lentiscus*, etc...

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, le Pin d'Alep cède la place à *Quercus ilex*.

CHAPITRE II

AUTOÉCOLOGIE DU PIN D'ALEP DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE FRANÇAISE

Le mot écologie est employé dans ce travail dans le sens d'études des rapports entre les organismes vivants et le milieu ambiant et divisé en deux parties :

- 1) *l'autoécologie* qui traite des rapports d'une plante avec le milieu ambiant ;
- 2) *la synécologie* qui traite des rapports des groupements végétaux avec le milieu ambiant.

Pour la commodité de l'exposé, nous allons étudier successivement les facteurs qui déterminent le milieu, c'est-à-dire les facteurs physiques qui se divisent à leur tour en facteurs climatiques, facteurs édaphiques et facteurs biotiques.

1 — Le Pin d'Alep et les facteurs biotiques

1.1 — Spontanéité du Pin d'Alep en France.

Le Pin d'Alep a été observé à l'état fossile dans le bassin méditerranéen français dans des dépôts des époques Pliocène et Pleistocène (voir 1^{re} partie, chap. II). D'après FLAHAULT (1897), des 169 espèces de végétaux fossiles de l'époque Pliocène observés en France, un petit nombre seulement s'est maintenu jusqu'à nos jours, parmi lesquelles se trouve le Pin d'Alep. Ces espèces sont :

<i>Pinus halepensis</i> Mill.	<i>Laurus nobilis</i> L.
<i>Quercus ilex</i> L.	<i>Buxus sempervirens</i> L.
<i>Quercus pseudo-suber</i> Desf.	<i>Nerium oleander</i> L.
<i>Quercus coccifera</i> L.	<i>Phillyrea media</i> L.
<i>Populus alba</i> L.	<i>Phillyrea latifolia</i> L.
<i>Populus tremula</i> L.	<i>Fraxinus ornus</i> L.
<i>Fagus sylvatica</i> L.	<i>Acer opulifolium</i> Vill.

C. et J. COTTE (1908) et DE SAPORTA pensent que l'extension définitive du Pin d'Alep serait en fait relativement récente et qu'il aurait remplacé le type *laricio*, dans l'Europe méridionale, à la faveur du climat plus chaud et plus extrême, au Quaternaire moyen Tyrrhénien, après l'*Elephas antiquus*.

MOLINIER (1954) précise que le Pin d'Alep aurait pu se réfugier, lors des dernières grandes glaciations, accompagné de l'Olivier, du Caroubier, de la Vigne, du Figuier, du Laurier-rose, dans l'étage de l'Olivier-Lentisque-Caroubier, étage climacique chaud situé sur le littoral méditerranéen français, entre l'Ouest de Sausset (dans la chaîne de la Nerthe à l'Ouest de Marseille) et la frontière italienne, ce qui aurait permis son maintien à l'état spontané en France. De là, il serait parti pour s'étendre de nouveau largement en Provence et en Languedoc.

E. BONNIFAY et R. MOLINIER (1955) précisent qu'ESCALON DE FONTON a recueilli des écailles de Pin et des chatons attribués au Néolithique (3 000 ans avant Jésus-Christ), au Mésolithique (3 000 à 3 500 ans avant Jésus-Christ) et à l'Épipaléolithique (6 000 à 7 000 ans avant Jésus-Christ) de Ventabren.

D'après MOLINIER, cette essence était largement représentée dans la chaîne de la Nerthe autour de Marseille aux temps Néolithiques, et l'étude des tufs de l'âge du Bronze, dans la région de Roquevaire, à 25 km de cette ville, permet de dire que le Pin d'Alep était abondant à cette époque, en mélange avec le Chêne vert sur les pentes rocheuses exposées au Sud du Massif de Garlaban.

D'après L. LAURENT, le Pin d'Alep existait dans la banlieue actuelle de Marseille depuis l'époque Pliocène en compagnie d'un *Magnolia*.

STRABON décrit les collines de Sète comme hérissées d'une forêt de Pins à l'époque romaine. Ce Pin ne pouvait être que le Pin d'Alep (FLAHAULT, 1911).

REICHLING (1949), rappelle que le Pin d'Alep existait aux environs de Montpellier au XVI^e siècle, signalé par MAGNOL.

Des découvertes archéologiques récentes ont apporté des arguments nouveaux en faveur de la spontanéité du Pin d'Alep dans notre région. On a trouvé en mer, à quelque distance au large du Cap d'Agde, une amphore contenant des restes de résine, datant du début de l'ère chrétienne. Les observations et conclusions archéologiques que nous devons, à ce sujet, à R. ARIS (1961) ont montré :

— qu'il s'agissait d'une amphore qui, d'après sa forme et sa facture n'a été fabriquée et utilisée qu'aux environs de cette localité, à un siècle près de l'aube de l'ère chrétienne.

— que le contenu se révélait être une résine brute, qui, d'après tout ce que l'on sait sur l'économie antique locale, ne pouvait être

qu'un produit du cru, récolté aux environs assez immédiats de l'antique cité agathoise et que l'on acheminait vers un centre d'utilisation lorsque l'amphore a été perdue en mer.

A. PONS (1962) a effectué une analyse pollinique et une étude sur le contenu d'origine végétale de cette amphore. Celui-ci était un produit brut renfermant du sable, des fragments végétaux, parmi lesquels dominant des morceaux d'écorces de grande dimension, des éclats de bois, de feuilles, de cônes, etc...

L'étude anatomique des feuilles et de quelques éclats de bois et de fragments de rameaux jeunes ont montré qu'ils appartiennent à l'espèce *Pinus halepensis* Mill.

L'examen des cônes a montré également qu'il s'agissait de Pin d'Alep.

Parmi les restes macroscopiques, on a pu isoler quelques feuilles appartenant à l'espèce *Quercus coccifera* L.

L'analyse pollinique a été plus riche en renseignements. Les végétaux dont le pollen a été rencontré dans la résine sont :

<i>Pinus halepensis</i> M.	<i>Bupleurum</i> cf. <i>fruticosum</i>
<i>Quercus ilex</i>	<i>Corylus avellana</i>
<i>Quercus coccifera</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>
<i>Quercus pubescens</i>	<i>Cornus</i> cf. <i>sanguinea</i>
<i>Erica arborea</i>	<i>Juniperus</i> ?
<i>Erica cinerea</i> ?	<i>Rhamnus alaternus</i>
<i>Erica multiflora</i>	<i>Aphyllanthes monspeliensis</i>
<i>Tilia</i> sp.	<i>Rosmarinus officinalis</i>
<i>Olea</i> cf. <i>europaea</i>	<i>Iris</i> sp.
<i>Cupressus</i> (<i>sempervirens</i>)	<i>Plantago</i> sp.
<i>Phillyrea angustifolia</i>	

Certaines familles y étaient largement représentées, comme les Graminées, Cistacées, Labiées, Légumineuses, etc... mais les espèces correspondantes n'ont pas pu être identifiées.

Enfin, dix grains, dont le corps est plus petit (40 à 50 μ) et les ballonnets pourvus d'une exine à mailles régulières mais de diamètre moyen, ont été attribués à *Pinus sylvestris* L.

On pourrait penser que cette résine provenait de Grèce ou du Moyen-Orient, ou d'Afrique du Nord, pour être utilisée à Agde. Mais l'étude de la répartition géographique des végétaux trouvés dans la résine montre clairement qu'ils voisinaient avec des peuplements de Pin d'Alep et contredit cette hypothèse. Il semble plus correct d'admettre qu'il s'agit d'une résine récoltée dans le bassin méditerranéen occidental. En effet, *Pinus sylvestris* et *Quercus pubescens* n'existent pas en Afrique du Nord; *Aphyllanthes monspeliensis* ne pénètre pas en Grèce et au Moyen Orient; *Erica arborea* et *Erica multiflora* existent en Grèce, mais ne pénètrent

pas en Syrie, Liban et Palestine. L'ensemble du spectre n'existe donc pas ni dans la Méditerranée orientale ni en Afrique. Il est spécial à la Méditerranée occidentale. Cette preuve botanique, à laquelle s'ajoutent les conclusions archéologiques, montre donc :

- que cette résine est bien un produit récolté dans les environs d'Agde à partir de peuplements de Pin d'Alep locaux.
- que le Pin d'Alep est une essence indigène dans la région, car on peut difficilement admettre qu'il y a 2 000 ans, l'homme se soit intéressé à planter du Pin d'Alep. Ainsi serait peut-être résolu le problème déjà ancien, sur l'indigénat de cette essence dans cette partie de la France.

L'étude des étages bioclimatiques dans la région méditerranéenne nous a permis de déceler deux zones littorales restreintes relevant de l'étage semi-aride, l'une autour de Marseille et l'autre autour de Narbonne (La Clape). Nous pensons que cet étage semi-aride aurait pu être à l'origine, c'est-à-dire avant l'intervention de l'homme, le territoire où le Pin d'Alep existait à l'état spontané, et où il formait des noyaux de forêts climaciques très probablement sur les formations marneuses et marno-calcaires. Le Pin d'Alep ne pouvait pas occuper l'étage bioclimatique subhumide, parce qu'il entraînait en concurrence avec des essences plus exigeantes que lui en humidité, comme le Chêne vert.

Signalons toutefois que tous les peuplements actuels de Pin d'Alep de La Clape ne sont pas tous d'origine naturelle. On y trouve beaucoup de peuplements d'origine artificielle, issus de plantations de la fin du siècle dernier.

Le Pin d'Alep des environs de Nîmes, Uzès, Sommières, Fontfroide, Fontanès, ne nous paraît pas spontané. Ces peuplements de Pin d'Alep sont très vraisemblablement issus de plantations artificielles de la fin du siècle dernier. Le déboisement a favorisé l'extension naturelle de cette essence.

1.2 — *L'homme et le dynamisme actuel du Pin d'Alep.*

Le Pin d'Alep est donc une essence spontanée en France, même dans le Bas Languedoc, mais, étant donné le caractère particulier de la région méditerranéenne française (voir 2^e partie, chap. I), cette essence n'y occupait sans doute, à l'origine, avant l'intervention humaine, qu'une très faible superficie, des îlots dans l'étage semi-aride de la région S.-E. de Narbonne et autour de Marseille.

Ce sont, probablement, les déboisements des forêts de Chênes verts, qui ont commencé depuis le Néolithique (*in* ARBAUD, 1957), et qui se sont poursuivis jusqu'à nos jours, qui ont permis au Pin

d'Alep de s'étendre en occupant la place laissée par le Chêne vert. Cependant, la grande extension du Pin d'Alep est récente et date de la fin du XIX^e siècle.

En effet, le Chêne vert était considéré comme essence très précieuse dans les siècles derniers, beaucoup plus que le Pin d'Alep, car les chemins de fer n'existant pas encore, et les routes étant rares, le transport de bois à grande distance était commercialement impossible. Dès lors, le Pin, bois d'industrie, n'avait donc de valeur qu'aux environs des lieux de consommation, autour des grandes villes. Cette consommation d'ailleurs, était faible, car l'industrie de la caisserie utilisant le bois de Pin pour l'emballage restait alors très limitée. En outre, le Chêne vert carbonisé donnait un produit excellent, et ses écorces étaient recherchées pour la tannerie, donnant ainsi une grande valeur commerciale aux coupes de taillis de Chênes, tandis que le charbon de bois de Pin est de mauvaise qualité. Signalons, à ce sujet, que le Chêne kermès jouissait de la même réputation que le Chêne vert.

En raison de ces diverses circonstances, le Chêne vert était plus apprécié que le Pin d'Alep et favorisé dans les exploitations. Dans les taillis de Chênes où le Pin d'Alep s'installait, on le détruisait systématiquement. Enfin, le pacage intensif freinait l'installation du Pin en raison de la destruction des jeunes semis par les animaux et, en particulier, par la chèvre.

A la fin du siècle dernier, les conditions économiques commencèrent à changer et devinrent plus favorables à la production de bois de Pin, en général. En raison du développement de l'irrigation et la création d'herbages, l'élevage des vaches laitières s'est accru aux dépens des troupeaux de chèvres. Grâce au développement des chemins de fer et des routes, qui ont facilité les échanges commerciaux, l'industrie de la caisserie s'est développée et le bois de Pin d'Alep prenait ainsi de la valeur. En outre, le charbon minéral et les tanins synthétiques sont venus concurrencer le charbon de bois et l'écorce de Chênes, ce qui a défavorisé le Chêne vert sur le plan économique.

Le terrain était donc tout préparé pour un envahissement intensif, par le Pin d'Alep, des taillis de Chênes verts et des peuplements provenant de la dégradation de la forêt climacique de Chêne vert (*Quercetum galloprovincialis* Br.-Bl.). En effet, les statistiques montrent que la surface occupée par le Pin d'Alep est passée de 36 000 ha en 1878, à 105 000 ha au début du siècle et à plus de 130 000 ha plus tard, c'est-à-dire que la surface a triplé en un siècle environ (PARDÉ, 1957). Ces chiffres montrent bien la vigueur d'expansion du Pin d'Alep dans le Sud de la France.

Cet envahissement du Pin d'Alep et son extension dans l'étage du Chêne vert s'explique par :

- la diminution de la concurrence biologique à la suite de l'exploitation par l'homme de l'espèce climax et de ses compagnes ;
- l'augmentation relative de la sécheresse atmosphérique et édaphique à la suite de la dégradation des forêts, ce qui a rendu difficile le retour du Chêne vert et préparé la place à l'installation du Pin d'Alep. Maintenant, sous les peuplements de Pin d'Alep, le Chêne retrouve une ambiance qui lui est favorable et réoccupe de nouveau les stations d'où il a été chassé par l'homme.

Le Pin d'Alep a donc pris depuis un siècle une place très importante dans la région méditerranéenne française.

Il ne faut pas négliger, dans cette extension du Pin d'Alep, la place due aux plantations artificielles, lesquelles, en beaucoup de points, étaient le foyer de la dissémination de cette essence.

2 — Le Pin d'Alep et les facteurs climatiques

2.1 — *La température.*

Nous avons choisi des températures qui ont une valeur biologique significative, comme la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m) ; l'amplitude thermique extrême ($M-m$) et la température absolue extrême.

N.B. — Pour l'étude de l'influence des facteurs climatiques sur la répartition du Pin d'Alep en France et sur sa biologie, nous avons choisi des stations météorologiques situées à l'intérieur de son aire et de préférence au voisinage des massifs de Pin d'Alep. Dans le cas où des stations météorologiques n'existent pas au voisinage des massifs forestiers, nous avons procédé à des extrapolations par comparaison avec des stations situées dans le voisinage. Les stations qui nous ont servi dans cette étude sont celles de : Monaco, Nice, Draguignan, Digne, Toulon, Sisteron, Donzère, Marseille, Aix-en-Provence, Avignon, Carpentras, La Ciotat, Cap Croisette, Cassis, Porquerolles, Merindol, La Bastide des Jourdans, Nyons, Orange, Montélimar, Nîmes, Montpellier, Saint-Martin-de-Londres, Uzès, Narbonne.

Nous avons utilisé les données météorologiques de SANSON qui sont ramenées à la période de 1891-1930, afin de faciliter les comparaisons, sauf pour certaines stations qui ne figurent pas dans SANSON, comme Nyons, Porquerolles, Uzès, La Bastide des Jourdans, Mérindol.

2.1.1 — La moyenne des minima du mois le plus froid (m).

Sauf de très rares exceptions, le mois qui a (m) le plus élevé dans l'aire du Pin d'Alep en France est le mois de janvier. Les moyennes des minima du mois le plus froid des stations étudiées

se répartissent entre $-0^{\circ}5$ (Fontanès) et $8^{\circ}C$ (Monaco), comme le montre le tableau suivant :

Station	<i>m</i>	Station	<i>m</i>
Fontanès	$-0^{\circ}5$	Avignon	$0^{\circ}9$
St. Martin de Londres	$-0^{\circ}5$	Orange	$1^{\circ}0$
Nyons	$-0^{\circ}2$	Nîmes	$1^{\circ}9$
Draguignan	$0^{\circ}0$	Marseille	$2^{\circ}2$
Aix	$0^{\circ}1$	Narbonne	$3^{\circ}5$
Montélimar	$0^{\circ}5$	Toulon	$4^{\circ}5$
Carpentras	$0^{\circ}9$	Nice (jardin public)	$5^{\circ}5$
Montpellier	$0^{\circ}9$	Porquerolles	$6^{\circ}1$
Uzès	$0^{\circ}9$	Monaco	$8^{\circ}1$

Le Pin d'Alep paraît ne pas résister en France à des « *m* » inférieurs à $0^{\circ}C$. Ses stations les plus froides sont dans les régions de Fontanès, Valflaunès, Draguignan, Aix, puis viennent celles de Carpentras, Orange, Sud de Montélimar, Uzès, Nîmes, Montpellier (*m* entre $0^{\circ}5$ et 2°), puis celles de Marseille, Narbonne (*m* entre 2° et $3^{\circ}5$), puis celles de Nîmes et Toulon (*m* entre $4^{\circ}5$ et 6°), enfin les stations les plus chaudes sont celles du voisinage de Monaco, Porquerolles (*m* entre 6° et 8°). Les stations chaudes de Pin d'Alep sont rares en France.

La moyenne des minima du mois le plus froid est très instructive et nous permet d'expliquer et de tracer la limite septentrionale du Pin d'Alep en France :

Dans le département des Alpes-Maritimes les stations les plus septentrionales du Pin d'Alep sont situées dans la région de Puget-Thénières-Entrevaux, le long du Var. La moyenne des minima du mois le plus froid est de l'ordre de $0^{\circ}C$.

Dans le département du Var, le Pin se concentre dans la région de Draguignan (*m* = $0^{\circ}0$) et ne monte pas beaucoup plus au Nord. Au Nord-Ouest de Draguignan et au Sud du Verdon, il colonise quelques stations qui sont considérées comme sa limite septentrionale dans ce département.

Dans les Basses-Alpes, il remonte la vallée de la Durance et dépasse le confluent Durance-Bléone. On le trouve par bouquets en forêt communale de Château-Arnoux, forêt domaniale de Volonne, forêt domaniale d'Aubignosc et jusque sur le versant Sud du rocher de la Beaume au défilé de Sisteron. Cette progression vers le Nord est arrêtée par les températures trop basses. Par comparaison avec les stations voisines, la limite septentrionale du Pin d'Alep dans la vallée de la Durance doit correspondre à (*m*) voisin de $0^{\circ}C$, surtout qu'à cette latitude, il est localisé sur les versants chauds.

Dans les départements de la Drôme et de l'Ardèche, il remonte assez haut la vallée du Rhône, profitant des influences adoucissantes méditerranéennes, jusqu'au défilé de Donzère, au sud de Montélimar (où $m = 0^{\circ}4$). Cette station est considérée comme la station la plus septentrionale du Pin d'Alep en France. Il ne se hasarde que très peu au nord, à cause de l'abaissement notable de la température et la disparition des influences méditerranéennes.

Cependant, d'après le Conservateur MOURRAL (*in* PARDÉ, 1957), il y aurait 2 petites parcelles de Pin d'Alep, de 2 ha environ, sur l'adret des hauteurs qui bordent la Drôme, entre Crest et Saillans, ce qui correspond à une latitude géographique de $44^{\circ}33'$, approximativement. Ce sont des Pins d'origine artificielle, introduits il y a une soixantaine d'années. Ils ont peu souffert du froid de 1956. De plus, à 24 km au Nord-Est de Montélimar, au-dessus de la route de Puy-Saint-Martin à Crest, existe un massif de Pin d'Alep, mais qui a beaucoup souffert du froid de février 1956.

Ces stations au Nord de Montélimar sont les stations les plus septentrionales du Pin d'Alep dans le bassin méditerranéen et constituent les limites écologiques pour l'introduction de cette espèce. Les peuplements ne sont pas intéressants du point de vue économique et ne sont pas stables du point de vue biologique. Il est certainement préférable d'utiliser d'autres essences pour le reboisement de ces régions, comme les Pins noirs et les Cèdres.

Dans le département du Gard, il monte assez haut dans le Nord-Est (Laudum, Sabran, Saint-Nazaire, etc...). Dans la région d'Uzès ($m = 0^{\circ}9$), il ne se hasarde pas trop au Nord. A l'Ouest, Crespien constitue sa limite Nord.

Dans le département de l'Hérault, le Pin d'Alep ne s'éloigne pas beaucoup de la côte. Les stations les plus septentrionales de ce département sont les jeunes peuplements situés sur le versant Sud de la colline « La Côte », au Nord-Ouest du village Les Cours, à une trentaine de kilomètres de la mer. Légèrement au Sud-Est de cette station, le Pin d'Alep s'accroche sur le versant Sud - Sud-Est de la colline les Travers au Nord-Ouest du village de Fontanès et constitue ici la limite la plus septentrionale des massifs importants de Pin d'Alep dans l'Hérault. La moyenne des minima du mois le plus froid de la plaine de Fontanès est égale à $-0^{\circ}5$, calculée par interpolation (SUNNAA, 1962). C'est pour cette raison que le Pin d'Alep se réfugie sur les versants chauds. En effet, sur ces versants, la moyenne des minima du mois le plus froid (m) est un peu inférieure à $-0^{\circ}5$ et s'approche de $0^{\circ}C$.

Au Nord-Ouest du département, il s'arrête sur le versant Sud de la Montagne d'Hortus, à 7 km environ à l'Est de Saint-Martin-de-Londres, où (m) est $-0^{\circ}5$. Cette station correspond à un m voisin de $0^{\circ}C$.

2.1.2 — La moyenne des maxima du mois le plus chaud (M).

Le Pin d'Alep est une espèce thermophile pouvant résister à des températures élevées. La moyenne des maxima du mois le plus chaud (juillet) M des stations choisies se répartissent entre 25°4, pour Monaco, et 30°9 pour Uzès, comme le montre le tableau suivant :

Station	M	Station	M
Monaco	25°4	Orange	29°7
Nice	26°	Aix	29°9
Toulon	27°	Avignon	30°2
Porquerolles	27°3	Carpentras	30°2
Narbonne	28°2	Montpellier	30°3
Marseille	28°7	Nîmes	30°3
Montélimar	29°3	Uzès	30°9

Nulle part en France la température M est déterminante.

2.1.3 — L'amplitude thermique (M-m).

L'amplitude thermique est la différence entre la moyenne des maxima du mois le plus chaud et la moyenne des minima du mois le plus froid.

L'amplitude thermique des stations choisies se répartit entre 17°4 pour Monaco et 30°9 pour Draguignan :

Station	M — m	Station	M — m
Monaco	17°4	Carpentras	29°3
Porquerolles	21°2	Avignon	29°3
Toulon	23°0	Montpellier	29°4
Narbonne	24°7	Aix	29°8
Marseille	26°5	Uzès	30°0
Nîmes	28°4	Nyons	30°5
Orange	28°7	Draguignan	30°9
Montélimar	28°8		

Ces chiffres nous montrent que le Pin d'Alep en France supporte une certaine continentalité du climat, ce qui est confirmé par le comportement général de l'espèce dans le bassin méditerranéen.

2.1.4 — Température minimale absolue extrême.

L'étude des températures absolues extrêmes est très intéressante pour l'écologiste. Toutefois, l'action des extrêmes absolus (c'est-à-dire la température minimale et maximale extrême) ne persiste généralement que pendant un laps de temps très court, insuffisant

pour influencer l'ensemble de la végétation spontanée. Au contraire, la moyenne des extrêmes annuels, c'est-à-dire la moyenne des températures minimales et maximales extrêmes annuelles, donne une idée plus convenable de la plasticité des espèces végétales. Nous n'avons pas pu nous procurer, pour les stations intéressantes de Pin d'Alep, les températures absolues extrêmes pour un nombre suffisant d'années, ce qui nous a amené à négliger le calcul de la moyenne des extrêmes absolus.

Nous avons relevé, cependant, les températures minimales absolues, observées pendant des années très froides, comme par exemple l'année 1956.

Station	minima absolu en 1956
Uzès	— 18°8
Montpellier	— 16°9
Montélimar	— 15°0
Orange	— 14°5
Toulon	— 9°0

A la suite de ce froid très fort, les peuplements de Pin d'Alep situés dans la partie Sud de l'aire ont gelé, alors que ceux situés dans la partie Nord n'ont pas été touchés, pour la raison très simple qu'avant les froids, les arbres dans la partie Sud de l'aire étaient déjà entrés en végétation en raison des températures anormalement douces survenues au mois de janvier, avant le froid, ce qui les a rendus plus sensibles au gel; le froid de 1956 a montré clairement le caractère thermophile du Pin d'Alep et sa faible résistance aux températures basses prolongées. Il arrive à supporter des froids accidentels de — 15° à — 18° à condition qu'ils restent tout à fait exceptionnels et de courte durée.

2.2 — Les précipitations.

2.2.1 — La pluviosité moyenne annuelle.

Les pluviosités moyennes annuelles des stations choisies sont inscrites dans le tableau suivant :

Station	P	Station	P
Cap Croisette	378 mm	Nyons	730 mm
Cassis	553	Montpellier	732
Narbonne	568	Toulon	743
Merindol	584	Monaco	749
Marseille	572	Fontanès	850
Aix	573	Donzère	855
Porquerolles	605	Orange	812
Avignon	615	Draguignan	931
La Ciotat	618	Montélimar	956
Carcassonne	643	Sisteron	962
Carpentras	655	St Martin de Londres	990
Nîmes	691		

D'après la tranche pluviométrique annuelle, on peut diviser les pinèdes en France, en trois catégories :

- 1) les pinèdes des régions de Grasse, Montélimar, Draguignan, Monaco, Orange, relativement très arrosées ;
- 2) les pinèdes des régions de Montpellier, Marseille, Aix, Avignon, Nîmes, moyennement arrosées ;
- 3) les pinèdes de la zone littorale du Sud et Sud-Est de Marseille et du S.-E. de Narbonne, dans la montagne de la Clape, où la pluviosité annuelle est de l'ordre de 350 à 400 mm, relativement sèches.

Même à Narbonne, la pluviosité annuelle tombe certaines années à moins de 400 mm. Sur 20 années (1941-1960), on a pu relever à Narbonne 9 années où la pluviosité était inférieure à 400 mm.

Année	P	Année	P	Année	P
1941	341, mm	1950	395,6	1956	382,0
1945	299,5	1952	289,4	1958	376,12
1946	377,2	1954	382,0	1960	367,3

Ces pineraies seront mieux définies quand nous parlerons du quotient pluviothermique d'EMBERGER et des étages bioclimatiques.

2.2.2 — Le régime pluviométrique.

Pour élucider les régimes pluviométriques auxquels est soumis le Pin d'Alep dans la région méditerranéenne française, nous allons étudier en détail les régimes de certaines stations typiques, à l'intérieur de son aire.

Chaque régime est caractérisé par 4 lettres initiales des saisons, A H P E, placé par ordre de *pluviosité décroissante* :

- M_1 = premier maximum pluviométrique
- M_2 = deuxième maximum pluviométrique
- m_1 = premier minimum pluviométrique
- m_2 = deuxième minimum pluviométrique

A = automne

H = hiver

P = printemps

E = été

A l'intérieur de l'aire du Pin d'Alep, nous avons pu distinguer les régimes suivants :

1. A P H E
 M_1 M_2 m_2 m_1

Dans ce régime, l'été est la saison la plus sèche ; l'hiver est la 2^e saison sèche. Sont soumises à ce régime, les forêts de Pin d'Alep

voisines des stations suivantes: Marseille, Aix-en-Provence, Draguignan, Montpellier, Narbonne (voir tableau), Nîmes.

2. A H P E
M₁ M₂ m₂ m₁

Dans ce régime, l'été est toujours la saison la plus sèche, mais la deuxième saison sèche est le printemps. Sont soumises à ce régime les forêts situées au voisinage des stations suivantes : Grasse, Monaco, Toulon, Antibes.

3. A .P E H
M₁ M₂ m₂ m₁

Dans ce régime, l'été n'est plus la saison la plus sèche, c'est l'hiver. Mais l'été reste toujours une saison à pluviosité assez faible pour que le climat reste méditerranéen. Nous ne sommes plus dans le régime méditerranéen typique, mais dans un régime de transition à tendance méditerranéenne. Sont soumises à ce régime les forêts situées au voisinage des stations suivantes: Avignon, Carpentras, Orange, Montélimar, Sisteron.

Dans ces 3 régimes, le maximum pluviométrique est toujours l'automne. L'hiver et le printemps sont soit des saisons sèches, soit des saisons humides.

Stations	H	P	E	A	Régime pluviométrique
Marseille	135	144	61	232	A P H E
Aix	119	147	95	212	
Draguignan	214	238	138	343	
Nîmes	129	186	129	247	
Narbonne	140	141	73	214	
Montpellier	161	187	115	269	
Toulon	219	191	57	266	A H P E
Grasse	237	232	131	358	
Monaco	202	182	87	278	
Montélimar	162	234	195	365	A P E H
Orange	141	199	175	297	
Carpentras	111	163	143	238	
Avignon	108	165	120	223	

Ces trois régimes que nous venons d'analyser représentent une moyenne. Si nous essayons de les analyser année par année, nous constaterons qu'ils ne sont pas stables et que pendant certaines années la répartition saisonnière des pluies peut complètement chan-

ger. Pour préciser ceci, nous allons analyser, année par année, le régime de 3 stations choisies dans les 3 catégories de régimes pluviométriques que nous venons de distinguer.

1. Montpellier: régime A P H E

Le régime pluviométrique moyen à Montpellier pour la période 1891-1930 est méditerranéen de la forme A P H E avec l'été comme saison la plus sèche.

A	269 mm
P	187 mm
H	161 mm
E	115 mm

Total 732 mm

En analysant ce régime année par année (A. BAUDIÈRE et L. EM-BERGER, 1959), on constate que certaines années la répartition saisonnière des pluies n'est plus méditerranéenne, la saison estivale devenant une saison humide. La courbe pluviométrique ne présente plus le creux estival caractéristique du régime climatique méditerranéen.

	Années	H	P	E	A
1892	247	145	185	126
1893	54	64	331	285
1897	166	82	169	172
1900	149	98	270	289
1903	90	109	137	193
1908	161	109	222	181

Ces années sont cependant noyées dans le nombre d'années nettement méditerranéennes, de sorte que leur influence ne se fait pas beaucoup sentir. Elles sont cependant révélatrices d'un état climatique relativement instable.

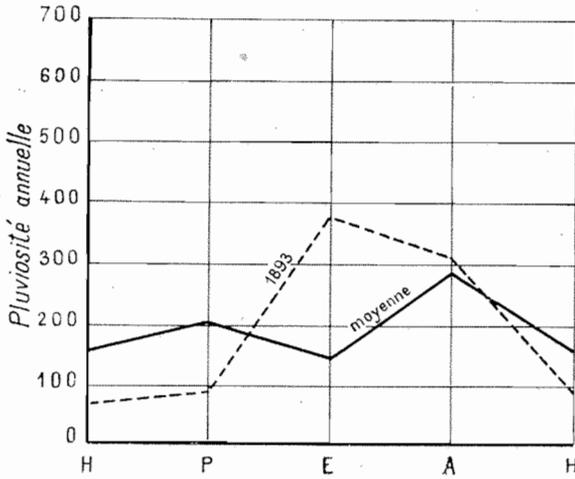
2. Antibes: régime A H P E

Le régime pluviométrique d'Antibes (villa Thuret) calculé sur la période 1937-1958 est typiquement méditerranéen, avec une saison sèche assez prononcée située en été:

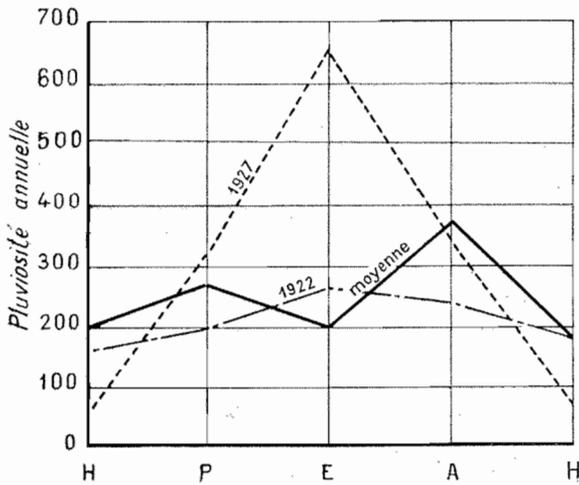
A	296 mm
H	237
P	199
E	77

808 mm

MONTPELLIER



MONTÉLIMAR



Sur ces 22 années, une seule année (1913) n'est pas méditerranéenne; son régime pluviométrique est le suivant:

A	328 mm
E	233
H	141
P	55
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
	757 mm

mais cette année à régime non méditerranéen est complètement noyée dans les années à régime méditerranéen, de telle sorte que le régime d'Antibes paraît relativement plus stable que celui de Montpellier.

3. Montélimar: régime A P E H

A Montélimar (Drôme), la répartition saisonnière des pluies, calculée sur la période 1921-1934 indique un régime méditerranéen très atténué; l'été est la saison la plus sèche, mais elle est relativement humide.

A	360 mm
P	266
E	187
H	155
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
	868 mm

L'analyse détaillée de la répartition saisonnière des pluies sur cette période nous montre des années à régime méditerranéen (1923, 1926, 1929, 1933), des années à régime continental (1922, 1927) et des années à régime moins bien défini.

Années	H	P	E	A
1921	6,3	122	155	56
1922	152	174	243	219
1923	96	289	66	426
1924	151	145	202	464
1925	182	272	197	173
1926	139	311	44	494
1927	66	308	608	290
1929	109	114	85	271
1930	303	324	167	430
1931	108	259	163	451
1932	162	336	287	205
1933	215	176	77	719
1934	105	429	207	374

Dans cette station, le régime méditerranéen tend donc à s'effacer par augmentation de la pluviosité estivale. Le creux estival caractéristique du climat méditerranéen tend à se combler. Les années 1925 et 1932 nous montrent clairement ce phénomène.

A Montélimar, nous ne sommes donc plus sous un régime méditerranéen franc, mais sous un régime de transition entre le climat méditerranéen et le climat continental.

D'après BENEVENT (1926), nous sommes dans la zone de transition à tendance méditerranéenne.

Les forêts de Pin d'Alep dans cette zone de transition sont soumises alternativement à deux régimes pluviométriques opposés, méditerranéen et continental; ce qui leur confère une biologie toute particulière, différente de celle des forêts de la zone méditerranéenne littorale où le régime climatique est relativement stable et surtout de celle des forêts de la Méditerranée orientale et de l'Afrique du Nord où le régime climatique méditerranéen est très stable et ne montre aucun changement.

2.3 — *Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques.*

Le quotient pluviothermique correspondant aux stations étudiées est inscrit dans le tableau suivant. Il a été calculé d'après la formule

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

où m et M sont calculés en partant du zéro absolu (+ 273°). La position de chaque station sur le climogramme en fonction de Q et m permet de préciser l'étage bioclimatique auquel elle appartient.

Station	M	m	M-m	P	Q	Etage bioclimatique
Monaco	25,4	8,0	17,4	749	148	humide infér. chaud
Draguignan	30,9	0,0	30,9	911	104	- - frais
Fontanès	29,5	-0,5	30,0	850	102	- - froid
Montpellier	30,3	0,9	29,4	732	86	subhumide supér. frais
Nyons	30,3	0,2	30,5	730	83	- moyen froid
Nîmes	30,3	1,9	28,4	691	84	- - frais
Uzès	30,9	0,9	30,0	694	80,7	- - -
Carpentras	30,2	0,9	29,3	655	77	- - -
Aix	29,9	0,1	29,8	573	67	- - -
Cap Sicié	26,9	4,4	22,5	593	91	- - tempéré
Toulon	27,5	4,5	23,0	733	110	- - -
Porquerolles	27,3	6,1	21,2	605	95,4	- - -
Avignon	30,2	0,9	29,3	615	73	- infér. frais
Marseille	28,7	2,2	26,5	572	75	- - -
Narbonne	28,2	3,5	24,7	568	80	- - tempéré
La Clape	28,0	4,0	24,0	400	58	semi-aride moyen tempéré
Cap Croisset.	26,5	5,1	21,4	378	61	- - -

Pour certaines stations intéressantes de Pin d'Alep, pour lesquelles il n'existe pas de stations météorologiques, nous avons été obligé le plus souvent d'interpoler les températures et quelquefois la pluviosité, comme par exemple à Fontanèse, Valflaunès, dans la Clape, etc...

Le calcul du quotient pluviothermique, pour ces stations, est donc entaché d'erreur, qu'il est utile de calculer :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta (M-m)}{M+m} + \frac{\Delta (M-m)}{M-m}$$

En supposant que nous faisons la même erreur pour M et m, l'expression précédente devient :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{2 \Delta t}{M+m} + \frac{2 \Delta t}{M-m}$$

Etant donné que nos interpolations des températures et de la pluviosité sont effectuées en plaine, où les variations de la pluviosité, de m et de M sont en général faibles, il est possible d'interpoler m et M avec une erreur de 0°5C et la pluviosité avec une erreur de 5 %.

On peut donc admettre que :

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\pm 5}{100} \quad \Delta t = \pm 0,5$$

Dans la région étudiée nous avons toujours $M + m > 570$ et $M - m > 15$.

La valeur maximale de $\frac{\Delta Q}{Q}$ est :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \left(\frac{5}{100} + \frac{2 \times 0,5}{570} + \frac{2 \times 0,5}{15} \right) = \pm \frac{1,4}{10} = \pm \frac{14}{100}$$

Cela signifie que si l'on obtient pour une station donnée une valeur de Q égale à 70, sa valeur réelle est comprise entre 60,2 et 79,8

$$79,8 > Q > 60,2$$

Si la pluviosité d'une station est connue, et s'il ne faut interpoler que les températures, l'erreur commise dans le calcul de Q se trouve réduite; l'équation devient :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{2 \Delta t}{M + m} + \frac{2 \Delta t}{M - m}$$

$$= \frac{1}{570} + \frac{1}{15} = \pm 0,09 = \pm \frac{9}{100}$$

cela signifie que si l'on obtient pour Q le nombre 70, sa valeur réelle sera comprise entre 63,7 et 76,3 :

$$76,3 > Q > 63,7$$

2.3.1 — Classification des pinèdes d'après le quotient pluviothermique.

D'après le quotient pluviothermique, les pinèdes de Pin d'Alep se classent en trois groupes principaux dont chacun peut être subdivisé en sous-groupes suivant la valeur de m (voir climogramme).

1 — *Les pinèdes humides*

1.1 — Pinèdes humides fraîches : pinèdes des régions de Draguignan, Fontanès, Valflaunès, Donzère, Montélimar, Sisteron, Valion.

1.2 — Pinèdes humides chaudes : pinèdes des régions de Monaco, Nice.

2 — *Les pinèdes subhumides*

2.1 — Pinèdes subhumides fraîches : pinèdes des régions de Montpellier, Fontfroide, Restinclière, Nîmes, Uzès, Carpentras, Aix, Saint-Nazaire, Sablet, Orange, Avignon, Marseille.

2.2 — Pinèdes subhumides tempérées : pinèdes des régions de Toulon, Porquerolles, Cap Sicié, Narbonne, Saint-Angelo (Corse).

3 — *Les pinèdes semi-arides*

Pinèdes semi-arides tempérées : pinèdes des régions de La Clape et Cap Croisette, Côte des Agriates (Corse).

3 — Le Pin d'Alep et les facteurs édaphiques

3.1 — *Les roches-mères.*

3.1.1 — Importance de leur étude.

L'étude des roches-mères est très importante pour le forestier dans la région méditerranéenne pour les raisons suivantes :

1) La végétation primitive a été très influencée et modifiée par l'homme depuis des temps très reculés. Partout, l'influence de l'homme sur la végétation primitive se fait sentir et, en beaucoup de points, cette végétation a complètement disparu et a été remplacée par une végétation secondaire de garrigue, maquis, landes... Le sol climacique qui était en équilibre avec la végétation primitive a suivi une évolution analogue par dégradation et érosion et la roche-mère (ou le sous-sol géologique) s'est trouvée mise à nu, influençant ainsi directement la végétation. La végétation secondaire est étroitement liée à la nature physico-chimique de la roche-mère.

En outre, nous trouvons aussi dans cette région beaucoup de sols jeunes, soit à cause de la pente qui les rajeunit d'une façon permanente, soit à cause d'une nouvelle évolution récente après la reconstitution de la végétation spontanée quand l'influence anthropogène diminue ou cesse. Ces sols jeunes offrent des propriétés voisines de celles de la roche-mère.

2) La roche-mère a une importance secondaire dans les pays tempérés, où le climat est assez puissant pour masquer son influence. Dans ces régions, le climat joue un rôle de première importance, et c'est ainsi qu'on a été amené à parler du sol-climax ou sol analogue (PALIMANN, 1949) qui présente des caractères propres le rendant indépendant de la roche-mère. Ces caractères doivent être imputés à l'action combinée du climat et de la végétation ; cette dernière agissant sur la matière minérale par l'intermédiaire de l'humus qu'elle lui incorpore.

Mais dans la région méditerranéenne, où règne un climat à saison sèche et à pluies tombant en averses et irrégulièrement réparties, le sol reste presque toujours sous la dépendance de la roche-mère qui lui a donné naissance, en raison de l'impuissance de ce climat à modifier radicalement le substratum géologique.

3) Mais, quand il s'agit de sols évolués se rapprochant du sol-climax ou du sol analogue, et qui ont pu se conserver sous certaines végétations proches du climax, donc très peu modifiées par l'homme (très rares dans la région méditerranéenne française), mais provenant de l'évolution de roches-mères différentes, il n'y a

que les couches supérieures qui présentent des caractères morphologiques semblables et des propriétés communes dus à l'action d'un même climat et d'une même végétation. Les horizons profonds conservent des caractères propres qui sont voisins de ceux de la roche-mère, donnant ainsi à ces sols analogues des caractères particuliers. La végétation arborescente est très sensible à cette différence des couches profondes, en raison de ses racines qui vont en profondeur chercher l'eau et les matières minérales.

3.1.2 — Nature des roches-mères.

Le Pin d'Alep est indifférent à la nature physique et chimique du substratum. On le rencontre en France, sur des roches-mères acides ou basiques, argileuses ou sableuses, pourvues en calcaire ou décalcifiées. Mais, sur ces différentes roches, il ne se régénère pas de la même façon et ne donne pas la même production ligneuse. Les roches-mères sur lesquelles se rencontre le Pin d'Alep en France sont les suivantes :

— *Les marnes.*

La marne est une roche tendre, argileuse, occupant les dépressions. Elle est assez bien pourvue en calcaire, mais pauvre en bases. Elle est très affouillable par l'érosion pluviale, quand elle n'est pas fixée par la végétation. Les grandes surfaces marneuses érodées prennent la forme de dos d'éléphant (bad lands).

Ces marnes appartiennent à des étages variés : marnes du Valanginien inférieur dans la région de Fontanès, La Roque ; marnes de l'Aptien dans la région de Narbonne ; marnes du Lutetien moyen et inférieur de la région de Fontfroide ; et marnes du Plaisancien dans le Gard.

Voici, à titre d'exemple, l'analyse de quelques marnes :

	marnes jaunes à <i>Ostrea</i> (Plaisancien)	marnes grises à <i>Armusium</i> (Plaisancien)
Argile	20,5	20,5
Limon	38,0	33,5
Sables	41,0	45,0
Calcaire total	30,0	30,0

— *Les calcaires marneux.*

Ces calcaires se présentent sous la forme de petits bancs de 5 à 10 cm d'épaisseur, alternant avec de la marne grise ou jaunâtre.

Ils sont plus riches en calcaire que les marnes, mais moins pourvus en argiles. Sous forêt, ils donnent naissance à des sols superficiels de type rendzine.

On trouve quelquefois des bancs isolés affleurant la surface. Souvent une couche de marne assez épaisse recouvre les bancs calcaires et affleure à la surface; dans ce dernier cas, c'est la marne qui joue le rôle de roche-mère et donne naissance, sous forêt, à un sol brun calcaire.

Ces calcaires appartiennent à des séries géologiques très variées, par exemple: au Valanginien inférieur et au Berriassien supérieur dans les régions de Fontanès et à l'Aptien dans la région de Narbonne, etc... Ils sont assez tendres et ne sont jamais recouverts de terre rouge. Les phénomènes karstiques n'ont jamais lieu sur ce substratum.

— *Les diluviums* (terrasses à cailloux roulés).

Ce diluvium est une argile de décalcarification plus ou moins remaniée, mélangée à des éléments sableux fins éoliens et à des cailloux roulés et tapissant leurs interstices (BORDAS, 1943). Il a, en général, une épaisseur de 30 à 50 cm. Il forme les terrasses de la vallée du Rhône et de la Durance. Immédiatement en dessous, on rencontre souvent une dalle très dure, imperméable, sous forme de poudingue qui cimente les galets et cailloux roulés.

Ce diluvium et le poudingue imperméable qui se trouve à une petite profondeur, constituent un obstacle à la circulation de l'eau de pluie qui stagne en surface pendant la saison pluvieuse. En effet, il arrive qu'on ne rencontre aucune fissure dans la dalle. Nous avons étudié ce diluvium à Merindol (Vaucluse), dans la région de la garrigue, où il avait 45-50 cm de profondeur, surmontant un poudingue très dur, imperméable et d'épaisseur importante. Ce poudingue modifie l'aspect de la roche initiale que l'on ne rencontre intacte qu'à une certaine profondeur, 1 m à 1,50 m de la surface.

Ce diluvium est de couleur rouge ou brun rougeâtre, ou rouge jaunâtre, assez pourvu en éléments fins (20-26 % d'argile, 18 à 20 % de limon), mais très pauvre en calcaire (0-2,5 %), le calcaire actif y est totalement absent. C'est une roche légèrement acide ou neutre. Ce diluvium se rencontre depuis le défilé de Donzère jusqu'aux abords mêmes du delta du Rhône.

Sur ce diluvium, le Pin d'Alep ne se régénère pas bien par suite de l'asphyxie des jeunes semis. En outre, la présence de la dalle imperméable constitue un obstacle à la pénétration des racines des gros arbres qui s'étalent horizontalement à la surface de la dalle, ce qui rend leur enracinement très peu solide et augmente leur sen-

sibilité aux vents. A Merindol, les chablis sont fréquents par jour de mistral.

Voici, à titre d'exemple, l'analyse du diluvium de Méridol, pris entre 20-50 cm :

	0-20 cm (%)	20-25 cm (%)
Argile	23,25	25,75
Limon	18,75	18,50
Sables	50,30	48,30
Calcaire total	2,5	2,0
Calcaire actif	absent	absent
Cailloux + graviers	16,92	10,29
pH	6,9	7

dans certains diluviums le % de galets peut aller jusqu'à 25-30.

— Complexes argilo-gréseux.

Ce sont des alluvions anciennes du Rhône se rapportant à l'Eocène inférieur ou au Lutétien supérieur et Eocène supérieur. Ce sont, par conséquent, des roches-mères hétérogènes n'ayant pas une composition strictement définie. On leur donne des noms variables : argiles gréseuses, cailloutis siliceux, conglomérats argileux, complexes argilo-gréseux ; nous avons préféré utiliser ce dernier terme.

Les complexes argilo-gréseux sont des roches-mères de couleur brun-rougeâtre, légèrement acides, très caillouteuses (20-30 %), totalement décalcarifiées, moyennement pourvues en argile (19-30 %), riches en sables (60-90 %) et en particulier les horizons superficiels à cause de l'apport éolien. Elles sont moyennement riches en bases. Leur humidité équivalente varie entre 13-17 %, le point de flétrissement entre 9 et 13 %.

La décomposition de ces roches donne des sols acides, assez profonds, suffisamment pourvus en bases et moyennement humides. Ils sont perméables, favorisent la pénétration des eaux de pluie en profondeur et leur stockage à l'abri de l'évaporation et permettent aux racines des arbres d'aller très profondément chercher les éléments minéraux et l'eau.

Nous avons étudié ces roches-mères dans le bois de la Bruyère (Hérault), le bois de la Devèze (Nord-Est de Montpellier) et le bois « Les Chênes » (N.-W. de Montpellier) ; mais, dans ce dernier, le complexe n'est pas épais et recouvre un dépôt argilo-calcaire du Rognacien, il est moins riche en cailloux. Nous don-

nons, à titre d'exemple, les analyses d'une roche-mère du bois de la Bruyère et du bois de la Devèze.

	Bruyère (Eocène inférieur)	Devèze (Lutétien supérieur et Eocène supérieur)
	0-10 cm (%)	0-10 cm (%)
Argile	20,75	10,15
Limon	6,75	19,12
Sables	68,90	47,70
Calcaire total	absent	absent
pH	6,95	5,50
Fer libre	0,93	0,70
Alumine libre	0,8	0,65
Humidité équivalente	19,39	15

— *Les grès glaucomieux.*

Ces grès correspondent à l'Albien (Crétacé inférieur). Ils ont été étudiés dans les bois de Pin d'Alep de la région de Narbonne (Oustalet, Laquirou).

Ces grès sont des roches rougeâtres, légèrement acides, très peu pourvues en calcaire, riches en éléments grossiers (55-85 % de sables), assez pauvres en éléments fins (6,5-25 % d'argile en moyenne, 2-7 % de limon), très peu caillouteuses (1-5 % de cailloux), assez pauvres en bases, perméables, favorisant la pénétration des racines et le développement du système racinaire. Elles conservent bien l'eau: leur humidité équivalente est assez faible (5-10 %); le point de flétrissement varie entre 3,5-9 %.

Ces grès donnent des sols profonds, assez humides, à réaction légèrement acide ou voisine de la neutralité et peu riches en bases.

— *La terra rossa.*

La *terra rossa* comprend en mélange une argile de décalcarification provenant de la roche calcaire dure sous-jacente et un complexe détritique constitué d'éléments grossiers (débris de grès siliceux, de quartz, de pisolithes, restes de loess ou de lehm, etc... (MARCELLIN, 1947). L'ensemble a subi le phénomène de rubéfaction. D'après DURAND (1946), cette *terra rossa* a été formée sous forêt, sous un climat voisin de notre climat actuel, mais légèrement plus humide et plus chaud.

Cette terre rouge se rencontre toujours sur le calcaire dur, fissuré; remplit ses excavations et fissures. C'est donc un sol fossile

qui se comporte comme une roche-mère qui évolue sous l'influence du climat et de la végétation actuels. Sous la forêt climacique de *Quercus ilex*, elle donne un sol brun méditerranéen, comme nous verrons plus loin. C'est une roche rouge, compacte, riche en éléments fins (50-80 % d'argile, 12-15 % de limon), renfermant peu de calcaire, moyennement pourvue en bases et à réaction neutre ou légèrement alcaline. La *terra rossa* est une roche sèche; elle retient l'eau énergiquement et la cède difficilement aux plantes. L'humidité équivalente des roches étudiées varie entre 25 et 36 %, le point de flétrissement entre 21 et 26 %; ce sont surtout les couches superficielles qui sont très sèches en été, à cause de leur durcissement à la suite de l'évaporation superficielle de l'eau et la remontée capillaire. Ceci explique les difficultés de régénération du *Pin d'Alep* sur ces terres.

Mais, en profondeur, l'argile accumulée dans les fissures du calcaire dur, stocke des réserves d'eau, qui sont à l'abri de l'évaporation et sont utilisées par les racines des arbres.

Les bois de Géménos, de la Gardiole, Le Colombier (Narbonne) reposent sur ce substratum. Voici, à titre d'exemple, l'analyse de deux *terra rossa*:

	Bois de Montmaur (Hérault)	Rochefort (Gard) (d'après BORDAS, 1943)
	(%)	(%)
	—	—
Argile	59,5	47,0
Limon	13,25	13,8
Sables	17,80	38,5
Calcaire total	0,50	2,5
pH	7,00	—
Fer libre	1,53	1,43
Humidité équivalente	25,71	—

— Alluvions modernes.

Nous avons rencontré le Pin d'Alep sur des alluvions récentes des rivières comme l'Hérault, le Lez, etc... et sur lesquelles il pousse assez bien.

3.2 — Les sols.

On trouve le Pin d'Alep sur des sols très variés et qui sont à des stades d'évolution variables, suivant l'ancienneté du peuplement, sa composition et son traitement, la fréquence des incendies et l'in-

fluence des pâturages. On le rencontre fréquemment sur des sols peu évolués, jeunes, voire même sur des lithosols, comme les sols bruts sur marnes et les sols calcaires squelettiques. Ceci nous montre la rusticité de cette essence et sa possibilité de vivre dans les sols les plus pauvres. Mais, sur ces derniers, les peuplements sont chétifs, clairsemés et de faible production.

Nous avons rencontré le Pin d'Alep en France sur les sols suivants : bruns calcaires, rendzines vraies, rendzines rouges, bruns méditerranéens jeunes, sols rouges méditerranéens, sols lessivés, sols lessivés podzoliques. Nous allons, dans ce qui suit, décrire les principaux types de sols sur lesquels croît le Pin d'Alep en France et étudier leurs caractéristiques physico-chimiques.

Nous avons adopté la classification internationale des sols de G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOR (1956).

Analyse des sols.

L'analyse physique grossière a été effectuée au Laboratoire des sols du Centre d'Études Phytosociologiques et Ecologiques.

L'analyse physique de la terre fine et l'analyse chimique ont été effectuées à la SOGREAH (Grenoble) (point de flétrissement, stabilité structurale) et au Laboratoire des sols à Arras (pour le reste des mesures : granulométrie, matières organiques, bases échangeables, capacité d'échange, etc...).

Nous donnons ci-après les méthodes suivies dans l'analyse des échantillons :

granulométrie : dispersion à l'hexamétoposphate de soude et sans élimination du calcaire.

humidité équivalente : centrifugation à 1 000 g (PF = 3).

point de flétrissement : méthode RICHARD (15 atmosphères).

carbone organique : méthode ANNE.

azote total : méthode KJELDAHL.

calcaire total : calcimètre DIETRICH FREULHING : attaque HCl.

calcaire actif : méthode DROUINEAU, modifiée par GALET.

capacité d'échange : extraction par l'acétate d'Am. N à pH 7. Rinçage à l'alcool, distillation de l'ammoniaque fixée.

bases échangeables : même extraction. Dosage des différents cations par photométrie de flamme.

pH : Détermination effectuée sur un mélange aqueux présentant les proportions 1/2,5 sol/solution.

fer libre : méthode DEB.

3.2.1 — Classe des sols calcimorphes à profil Ac. Sous-classe des sols calcaires.

a — *Groupe des rendzines*

Ces sols sont très fréquents sous les forêts de Pin d'Alep, et on les trouve surtout sur les pentes. Ils prennent naissance sur les calcaires marneux tendres.

Ils sont superficiels et formés d'un seul horizon de couleur brun noir ou brun noir jaunâtre et riche en cailloux calcaires disséminés dans le profil. Ils ont une bonne structure polyédrique anguleuse stable provenant d'un mélange intime entre le calcaire fin, la matière organique et les éléments silicatés. On y observe souvent des vers de terre, indice d'une activité biologique importante.

Ils ont une teneur élevée en calcaire actif (8-14 %) et un pH voisin de 8. Leur teneur en matière organique est assez élevée, de l'ordre de 5 à 8 % entre 0 et 5 cm de profondeur, et de 3 à 4 % entre 5 et 20 cm. L'humus est de type mull calcique caractérisé par une liaison intime et stable « humus-argile ». Le rapport C/N en surface est, sous forêt, de l'ordre de 11 à 15 %. Il est plus bas en profondeur.

La capacité d'échange est de l'ordre de 14-25 % et le complexe absorbant est saturé en bases et surtout en calcium échangeable. Le Magnésium échangeable est de l'ordre de 1,5-2,5 m.eq. pr. 100 gr. de terre, le potassium de l'ordre de 0,15-0,40 m.eq. et le sodium de l'ordre de 0,04-0,05 m.eq.

Ces sols sont moyennement secs en été. Leur humidité équivalente varie entre 15 et 25 %, mais la porosité de la roche-mère, et surtout sur éboulis, corrige dans une certaine mesure l'insuffisance d'eau de ces sols. Une certaine réserve d'eau est accumulée en profondeur, à l'abri de l'évaporation, rendant ainsi le profil plus frais en été, grâce à l'accumulation de cailloux en surface qui forment écran à l'égard de l'évaporation.

Voici la description et l'analyse d'un profil type :

région: La Roque (Hérault) à 35 km de la Méditerranée

pluviométrie: 850 mm

m: 0°0

altitude: 100 m

pente: 7 %

exposition: S-SW

position topographique: sommet de la pente

roche-mère: calcaire marneux

végétation: bois de Pin d'Alep composé des strates suivantes:

N° et Noms des Plantes	Abondance (1)		Dominan
	Nr	R	
STRATE 6 (R: 65 %; haut: 15,20 m) âge: 75-70 ans			
1 <i>Pinus halepensis</i> Mill.	8	1	65 %
STRATE 5 (R: 5 %; haut: 3,5 m)			
2 <i>Quercus ilex</i> L.	1	1	x (2)
STRATE 4 (R: 90 %; haut: 1 m)			
3 <i>Phillyrea angustifolia</i> L.	3	1	x
4 <i>Juniperus oxycedrus</i> L.		3	10 %
5 <i>Quercus pubescens</i> Willd.	1	1	x
6 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.		1	1
STRATE 3 (R: 20 %; haut: 50-60 cm)			
7 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.		2	5 %
8 <i>Quercus ilex</i> L.	1	1	x
9 <i>Quercus pubescens</i> Willd.	3	2	5 %
10 <i>Juniperus oxycedrus</i> L.		3	5 %
11 <i>Quercus coccifera</i> L.		2	x
12 <i>Lavandula latifolia</i> Vill.		3	5 %
13 <i>Phillyrea angustifolia</i> L.		1	x
14 <i>Stachelina dubia</i> L.		1	x
15 <i>Rubia peregrina</i> L.		1	x
STRATE 2 (R: 60 %; haut: 20-30 cm)			
16 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.		4	20 %
17 <i>Juniperus oxycedrus</i> L.		3	10 %
18 <i>Lavandula latifolia</i> Vill.		2	x
19 <i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.		2	x
20 <i>Phillyrea angustifolia</i> L.		1	x
21 <i>Quercus coccifera</i> L.		2	x
22 <i>Quercus pubescens</i> Willd.		3	3 %
23 <i>Quercus ilex</i> L.		3	3 %
24 <i>Rubia peregrina</i> L.		2	x
25 <i>Stachelina dubia</i> L.		4	15 %
26 <i>Leuzea conifera</i> DC.		2	3 %
27 <i>Thymus vulgaris</i> L.		2	3 %

(1) Abondance: Nr: numérique.

R: relative suivant une échelle de 1 à 5.

(2) x: dominance inférieure à 1%.

Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
28 <i>Fumana spachii</i> Gren. et G.		2	x
29 <i>Brachypodium ramosum</i> Roem. et S. ...		3	10 %
30 <i>Rhamnus alaternus</i> L.		2	x
31 <i>Limodorum abortivum</i> Swartz.		1	x
32 <i>Pistacia lentiscus</i> L.		1	x
33 <i>Bupleurum rigidum</i> L.		1	x
34 <i>Pinus halepensis</i> Mill.		1	x
35 <i>Festuca ovina</i> L.		1	x
STRATE 1 (R: 50 %; haut.: 1-20 cm)			
36 <i>Pinus halepensis</i> Mill.		3	x
37 <i>Quercus ilex</i> L.		3	x
38 <i>Quercus pubescens</i> Willd.		3	x
39 <i>Quercus coccifera</i> L.		2	x
40 <i>Carex halleriana</i> Asso		4	30 %
41 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.		4	10 %
42 <i>Fumana spachii</i> Gren. et G.		2	x
43 <i>Thymus vulgaris</i> L.		3	3 %
44 <i>Rubia peregrina</i> L.		2	x
45 <i>Hipocrepis comosa</i> L.		2	x
46 <i>Brachypodium ramosum</i> Roem. et S. ...		3	10 %
47 <i>Phillyrea angustifolia</i> L.		2	x
48 <i>Pistacia lentiscus</i> L.		2	x
49 <i>Stachelina dubia</i> L.		3	3 %
50 <i>Teucrium polium</i> L.		2	x
51 <i>Hieracium pilosella</i> L.		1	x

Description du profil

2 - 0 cm: litière peu décomposée.

0 - 10 cm: horizon brun noir jaunâtre, caillouteux (15 %), humide, structure à gros grumeaux; présence d'un chevelu radiculaire important; effervescence forte à l'acide chlorhydrique; pH 7,5.

Analyse du profil

% de terre fine	83,33
% de cailloux + graviers	16,67
humidité à 105° %	29,7
argile 0/00 (< 2 μ)	220,0
limon 0/00 (2 à 20 μ)	232,0
sables 0/00	
20-50 μ	42,0
50-100	93,0
100-200	59,0
200-500	86,0
500-1000	85,0
1000-2000	61,0

matières organiques 0/00	82,3
humidité équivalente %	23,6
carbone organique 0/00	47,88
azote total 0/00	2,97
C/N	16,12
calcaire total 0/00	530,0
calcaire actif 0/00	140,0
capacité d'échange	20,2
bases échangeables (m. eq. p. 100 gr).	
Ca	non dosé
Mg	1,80
K	0,26
Na	0,02
pH	7,5
fer libre %	0,56

b. Les sols bruns calcaires

Ces sols sont fréquents sur marnes. Ils sont, en général, dépourvus de cailloux ou en contiennent très peu. Leur degré d'évolution dépend de l'ancienneté de la végétation arborescente, de sa densité et de la fréquence des incendies. On trouve, sous les bois de Pin d'Alep, depuis le sol brun calcaire typique jusqu'au régosol (sol brut sur marne) suivant la composition du peuplement (présence de sous-étage feuillu ou non), la densité et la fréquence des incendies.

Les bois de Pin d'Alep sont très fréquents sur ces types de sols, mais ce n'est pas sur ces sols que le Pin d'Alep donne la meilleure production ligneuse.

Nous prenons comme exemple de ces sols le sol brun calcaire sous peuplement de Pin d'Alep du bois de la Roque, dans la commune de Fontanès (Hérault) :

région: Fontanès (Hérault)

pluviométrie: 850 mm

m: 0,0

altitude: 114 m

pente: 2 %

exposition: E-NE

roche-mère: marne du Valanginien inférieur recouvrant du calcaire marneux

végétation

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
STRATE 5 (R: 30 %; haut.: 14,30 m; âge: 65 ans)			
1 <i>Pinus halepensis</i> Mill.	5	1	30 %
STRATE 4 (R: 15 %; haut.: 1,5-2 m)			
2 <i>Juniperus oxycedrus</i> L.	6	1	12 %
3 <i>Quercus ilex</i> L.	2	1	3 %
STRATE 3 (R: 30 %; haut.: 60-150 cm)			
4 <i>Juniperus oxycedrus</i> L.	25	2	10 %
5 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.		3	15 %
6 <i>Genista scorpius</i> DC.		1	x
7 <i>Lonicera etrusca</i> Santi		1	x
8 <i>Pinus halepensis</i> Mill.	3	1	x
STRATE 2 (R: 60 %; haut.: 15-50 cm)			
9 <i>Rosmarinus officinalis</i> L.		2	10 %
10 <i>Lavandula latifolia</i> Vill.		3	5 %
11 <i>Juniperus oxycedrus</i> L.		1	x
12 <i>Rubia peregrina</i> L.		3	x
13 <i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.		3	2 %
14 <i>Brachypodium phoenicoides</i> Roem. et S.		3	10 %
15 <i>Pinus halepensis</i> Mill.	100	3	2 %
16 <i>Leuca conifera</i> DC.		2	x
17 <i>Argyrolobium linnaeum</i> Walp.		1	x
18 <i>Fraxinus excelsior</i> L. var. <i>angustifolia</i> Vahl.		1	x
19 <i>Chlora perfoliata</i> L.		1	x
20 <i>Dorycnium suffruticosum</i> Vill.		1	x
21 <i>Rubus</i> sp.		1	2 %
22 <i>Pistacia lentiscus</i> L.		1	2 %
23 <i>Quercus ilex</i> L.	2	1	2 %
24 <i>Festuca ovina</i> L.		1	x
25 <i>Catananche coerulea</i> L.		3	x
26 <i>Phillyrea angustifolia</i> L.		1	x
27 <i>Daucus carota</i> L.		1	x
28 <i>Genista scorpius</i> DC.		1	x
29 <i>Smilax aspera</i> L.		1	x
30 <i>Thymus vulgaris</i> L.		1	x
31 <i>Stachelina dubia</i> L.		1	x
32 <i>Polygala vulgaris</i> L.		1	x
33 <i>Avena bromoides</i> Gouan		1	x
34 <i>Genista pilosa</i> L.		2	1
35 <i>Cneorum tricoccon</i> L.		1	x

N° et noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr.	R	
STRATE 1 (R: 20 %; haut.: 1-15 cm)			
36 <i>Pinus halepensis</i> Mill.	100	3	x
37 <i>Rubia peregrina</i> L.		3	1 %
38 <i>Lavandula latifolia</i> Vill.		1	1 %
39 <i>Ononis minutissima</i> L.		1	x
40 <i>Globularia vulgaris</i> L.		1	x
41 <i>Daucus carota</i> L.		1	x
42 <i>Sanguisorba minor</i>		1	x
43 <i>Potentilla verna</i> L.		2	x
44 <i>Catananche coerulea</i> L.		1	x
45 <i>Teucrium polium</i> L.		1	x
46 <i>Teucrium chamaedrys</i> L.		4	5 %
47 <i>Genista scorpius</i> DC.		1	x
48 <i>Hieracium pilosella</i> L.		1	x
49 <i>Carex halleriana</i> Asso.		1	x
50 <i>Scabiosa columbaria</i> L.		1	x
51 <i>Leuzea conifera</i> DC.		1	x
52 <i>Pseudoscleropodium purum</i>		2	
53 <i>Hipocrepis comosa</i> L.		1	x
54 <i>Brachypodium ramosum</i> Roem. et S. ..		1	x
55 <i>Quercus coccifera</i> L.	2	1	x
56 <i>Quercus pubescens</i> Willd.		1	x
57 <i>Seseli montanum</i> L.		1	x
59 <i>Thrinchia hirta</i> Roth.		1	x
60 <i>Carduncellus mitissimus</i> DC.		2	x
61 <i>Coris monspeliensis</i> L.		1	x
62 <i>Coronilla minima</i> L.		1	x
63 <i>Brachypodium phoenicoides</i> Roem. et S.		1	x
64 <i>Cirsium acarna</i>		1	x

Description du profil

2 - 0 cm: litière non décomposée.

0 - 27 cm: horizon de couleur brune, renfermant quelques très rares cailloux (2%), à structure grumeleuse en surface, devenant très rapidement polyédrique en profondeur; réaction très forte à l'acide chlorhydrique.

27 cm et plus: banc de calcaire marneux.

Analyse du profil

humidité à 105°	24,0
argile 0/00	232,0
limon 0/00	267,5
sables 0/00	
25-50 μ	143,0
50-100	134,0
100-200	33,0

200-500	38,0
500-1000	49,0
1000-2000	29,0
matière organique 0/00	10,8
carbone organique 0/00	6,3
humidité équivalente %	20,71
azote total 0/00	0,62
C/N	10,16
calcaire total 0/00	530,2
calcaire actif 0/00	150,0
capacité d'échange	16,70
bases échangeables (m. eq. p. 100 gr).	
Ca	non dosé
Mg	3,30
K	0,30
Na	0,04
pH	7,80

C'est un sol suffisamment riche en éléments fins (23,25 % d'argile, 26,75 % de limon), peu riche en matière organique (1,08 %), assez pourvu en calcaire (53,02 % de calcaire total, 15,0 % de calcaire actif), à capacité d'échange saturée en bases et surtout en calcium. Le pH est alcalin (7,8) et l'humus est un mull calcique (C/N = 10,8). La rétention pour l'eau est peu élevée, l'humidité équivalente étant de l'ordre de 20.

Le Pin d'Alep se régénère très bien sur ces sols.

Dégradation des sols bruns calcaires

Ces sols ne se maintiennent que s'ils sont protégés par la végétation en raison de leur sensibilité extrême à l'érosion pluviale. La dégradation de la végétation à la suite des coupes abusives et des incendies, amène une disparition rapide de l'humus, une destruction de la structure et un entraînement mécanique des éléments fins. Le sol se tasse et sa perméabilité diminue, et, dans le cas extrême, il se trouve réduit à la roche-mère marneuse et se transforme en régosol ou sol brut sur marne. Ces régosols sont très fréquents dans la région méditerranéenne française et le Pin d'Alep les colonise très facilement.

- 3.2.2 — Classe des sols ferrugineux de climats chauds, profil A(B)C ou ABC.
Sous-classe des sols rouges méditerranéens.

a — Les sols sur terra rossa

On trouve ces sols à des degrés d'évolution variables, suivant la nature, la composition et l'ancienneté de la végétation et la fréquence des incendies et l'influence du pâturage.

a.1 — *Les sols rouges brunifiés* (sols bruns méditerranéens)

La *terra rossa* évolue sous l'influence du climat et de la végétation climacique et donne naissance à un sol brun méditerranéen (ou sol rouge brunifié). Nous avons observé ces sols aux environs de Montpellier, sous des bosquets de *Quercus ilex*, représentant la végétation climacique de cette région. Nous l'avons également observé sous des bosquets de *Quercus calliprinos* en Syrie, végétation représentant le climax de la région entre 200 et 800 m d'altitude dans la montagne des Alaouites, ce qui correspond à l'étage bioclimatique méditerranéen subhumide et humide (NAHAL, 1962).

Ce sol brun méditerranéen se présente de la façon suivante :

- A1 : horizon brun, argileux, moyennement pourvu en humus, 2-7 %, structure grumeleuse ; 30-50 cm d'épaisseur. pH supérieur ou égal à 7.
- A2 : horizon rouge argileux, décalcifié, mais à complexe absorbant presque saturé en cations échangeables, en particulier en Ca^{++} . pH égal ou supérieur à 7.
- C : horizon rouge, compact, de mauvaise structure (en mottes anguleuses).
- D : calcaire dur fissuré renfermant dans les fissures de la terre rouge (C).

*Dégradation du sol brun méditerranéen —
les sols rouges méditerranéens*

Ce sol brun méditerranéen, qui représente le sol en équilibre avec la végétation climacique de *Quercus ilex*, est très rare. La dégra-

dition de la chênaie d'Yeuse (*Quercetum galloprovincialis* Br.-Bl.) et son remplacement par une végétation secondaire ont entraîné parallèlement la dégradation du sol brun méditerranéen et donné naissance à des sols de plus en plus dégradés suivant le degré de dégradation de la végétation.

Comme le Pin d'Alep a pris la place du Chêne vert après la disparition de la végétation climacique, il se trouve donc, surtout, sur les sols de dégradation; nous ne l'avons jamais rencontré sur sol brun méditerranéen. Cependant, nous avons remarqué très souvent que le Pin d'Alep, quand il est en peuplements suffisamment denses, favorisait l'évolution de la végétation dans laquelle il s'est installé et favorisait, par conséquent, à la longue une évolution progressive du sol par renouvellement du stock de la matière organique et l'amélioration de la structure.

La dégradation des sols bruns méditerranéens suit le processus suivant: la dénudation fréquente et répétée des sols détruit progressivement la matière organique; l'humus se minéralise et l'horizon A1 brun diminue d'épaisseur graduellement jusqu'à disparaître; les horizons rouges profonds apparaissent en surface et nous obtenons ainsi un sol rouge méditerranéen au sens strict.

La structure disparaît et le sol se tasse, ce qui rend l'infiltration des eaux de pluies très défectueuse.

Entre le sol brun méditerranéen et le sol rouge méditerranéen typique de dégradation, il y a des sols de transition où l'on observe un horizon brun A1 de plus en plus mince.

Caractéristiques écologiques des sols rouges méditerranéens sur Terra rossa

Les sols rouges typiques sur Terra rossa sont des sols compacts, riches en éléments fins (45-60 % d'argile, 13,0 à 17 % de limon) et sans structure; l'eau de pluie les pénètre difficilement. Ils retiennent énergiquement l'eau et la cède difficilement aux plantes. Leurs réserves hydriques sont faibles. L'humidité équivalente est de l'ordre de 25-35 % sous forêt, en raison de l'écran qui diminue l'évaporation de l'eau. Les réserves d'eau sont relativement plus importantes que sur pelouse à *Brachypodium ramosum* par exemple, où, en raison de la remontée capillaire de l'eau à la suite de l'évaporation superficielle pendant la saison chaude, les réserves hydriques

s'épuisent et une croûte sèche et dure se forme à la surface, rendant ainsi le sol défavorable aux semis et aux jeunes plants. Sous végétation forestière, la matière organique est de l'ordre de 4 à 8 %, l'humus a un rapport C/N de l'ordre de 10-15 %. La capacité d'échange de ces sols est assez élevée, de l'ordre de 26-34 % et le complexe absorbant est moyennement saturé en cations échangeables et en particulier en Ca^{++} . Le pH est neutre ou légèrement alcalin (7 à 7,70).

La régénération naturelle du Pin d'Alep présente des difficultés sur ces sols, à cause de leur sécheresse et, en particulier, du durcissement des horizons de surface en été, qui crée un milieu défavorable à la germination des semences et où la concurrence pour l'eau est très importante. Mais, certaines années, l'été est très pluvieux, dans la région méditerranéenne française, et les sols deviennent plus favorables à la germination des semis. Si 3 ou 4 années à été pluvieux se succèdent, les semis arrivent à échapper à la sécheresse, s'établissent mieux dans le sol en envoyant leurs racines profondément dans le sol et la régénération se trouve ainsi acquise sur ces sols.

Le voisinage de la mer, qui a pour effet d'augmenter l'humidité atmosphérique et de diminuer l'évaporation du sol et la transpiration des plantes, compense dans une certaine mesure la sécheresse de ces sols et c'est ainsi que les sols rouges des régions voisines de la mer se montrent écologiquement moins secs pour la végétation et pour les semis de Pin d'Alep.

Une fois que la régénération est acquise, le Pin d'Alep pousse bien sur ces sols crevassés remplis d'argile rouge en envoyant ses racines dans les fissures pour chercher l'eau et les substances minérales. Ces fissures, remplies de terre rouge, parfois très profondes, compensent le manque de profondeur de ces sols sur lesquels le Pin d'Alep arrive à donner une grosse production ligneuse à l'hectare comme à Géménos.

Voici, à titre d'exemple, la description et l'analyse d'un sol rouge sous forêt de Pin d'Alep à Géménos (places d'expériences de la Station de Recherches Forestières de Nancy).

Localité: Géménos, 20 km Est de Marseille; placette n° 1

altitude: 150 m

pluviométrie: entre 600 et 700 mm

roche-mère: terra rossa emplissant les fissures du calcaire fissuré de l'Urgonien

Végétation

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
STRATE 4			
(R: 15 %; haut.: 18,7 m; âge: 70-80 ans)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	2	1	15 %
STRATE 3			
(R: 10 %; haut.: 3-4 m)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	15	1	10 %
STRATE 2			
(R: 70 %; haut.: 20-100 cm)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	5	1	5 %
<i>Quercus coccifera</i> L.		4	45 %
<i>Quercus ilex</i> L.	3	1	2 %
<i>Pistacia terebinthus</i> L.	3	1	3 %
<i>Viburnum tinus</i> L.	1	1	1 %
<i>Rhamnus alaternus</i> L.		1	1 %
<i>Clematis flamula</i> L.		1	1 %
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.		1	1 %
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.		3	2 %
<i>Avena bromoides</i> Gouan.		2	x
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.		1	x
<i>Lonicera implexa</i> Ait.		1	x
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.		1	x
STRATE 1			
(R: 40 %; haut.: 1-15 cm)			
<i>Quercus coccifera</i> L.		3	15 %
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	15	1	2 %
<i>Brachypodium ramosum</i> L.		4	15 %
<i>Pistacia terebinthus</i> L.		1	x
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.		1	x
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.		3	1 %
<i>Fumana spachii</i> Gren. et G.		2	1 %
<i>Cladonia</i> cf. <i>foliacea</i>		2	2 %
<i>Carex halleriana</i> Asso.		1	10 %
<i>Rubia peregrina</i> L.		2	1 %
<i>Genista pilosa</i> L.		2	1 %
<i>Thymus vulgaris</i> L.		2	1 %
<i>Stachelina dubia</i> L.		1	x
<i>Teucrium polium</i> L.		1	x
EXTENSION			
<i>Smilax aspera</i> L.			

Description du profil

2 - 0 cm: litière.

0 - 15 cm: horizon brun rouge à structure grumeleuse, très peu caillouteux, réaction nulle à HCl.

15 - 65 cm: horizon rouge, à structure polyédrique, réaction nulle à HCl.

65 cm et plus: calcaire dur fissuré de l'Urgonien; présence de terre rouge compacte dans les fissures.

Analyses (effectuées à Nancy par la 5^e section de la Station de Recherches forestières)

Horizons	15 cm	15-65 cm
pH	8	7,9
Argile %	42,5	33,5
Limon %	20	23,5
Sables très fins %	18,2	20,4
Sables fins %	12,2	16,6
Sables grossiers	0,4	2
H ₂ O %	3,8	3,9
Matière organique %	2,9	1,1
CO ₂ /Ca	0	0

Remarque: sur les pentes, ces sols évoluent très souvent vers une rendzine rouge par incorporation de cailloux calcaires dans le profil.

a.2 — *Les rendzines rouges*

Les rendzines rouges sont fréquentes sous les bois de Pin d'Alep, taillis de chêne vert et garrigue de chêne kermès. Elles proviennent d'un remaniement de *Terra rossa* et de fragments de roches calcaires. On les rencontre sur les pentes, où ils forment les rendzines rouges de pente. En bas de pente, ils constituent les rendzines rouges de colluvionnement. Les cailloux calcaires, se dissolvant à la longue et s'incorporant à la terre rouge et à la matière organique, donnent à ces sols une structure et un aspect rendziniques. Ce sont donc des sols secondaires.

Nous les avons étudiés sous les bois de Pin d'Alep, taillis de chênes verts et chênes kermès à Montmaur, Fontanès, Clapiers, Vivier, Géménos, Narbonne.

Ce sont des sols suffisamment riches en éléments fins et bien pourvus en cailloux; leur complexe absorbant est saturé en cations échangeables et surtout en calcium. La matière organique est répartie dans tout le profil, mais elle diminue de la surface vers la profondeur et l'humus est de type Mull forestier (C/N entre 10 et 15 %). Ils sont riches en oxydes de fer (jusqu'à 2,8 % de fer libre).

Comme les sols rouges, les rendzines rouges ont une humidité équivalente élevée, ce qui rend leurs horizons supérieurs secs en été. Mais la présence, dans les rendzines rouges, de cailloux calcaires

qui forment écran à l'égard de l'évaporation augmente dans une certaine mesure leurs réserves hydriques et les rend écologiquement moins secs que les sols rouges.

Nous prenons comme exemple de rendzine rouge, le sol suivant :

localité: Clapiers (Hérault), lat. 152,1, long. 724,4

pluviométrie: 700 mm approx.

altitude: 70 m

pente: 15 %

exposition: W

position topographique: mi-pente

roche-mère: terra rossa reposant sur calcaire blanc rosé fissuré du Lutetien moyen et inférieur

Végétation:

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
STRATE 4 (R: 25 %; haut.: 16 m; âge: 65-70 ans)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	4	1	25 %
STRATE 3 (R: 20 %; haut.: 1-3 m)			
<i>Quercus ilex</i> L.	7	1	20 %
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	1	1	x
STRATE 2 (R: 20 %; haut.: 20-80 cm)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	36	3	8
<i>Quercus ilex</i> L.	30	3	10
<i>Quercus coccifera</i> L.	15	2	1
<i>Dianthus caryophyllus</i> L.	20	2	x
<i>Rhamnus alaternus</i> L.	8	1	1
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	2	1	x
<i>Bromus erectus</i> Huds.			
<i>Lonicera etrusca</i> Santi	5	1	x
<i>Scabiosa maritima</i> L.	1	1	x
STRATE 1 (R: 40 %; haut.: 1-20 cm)			
<i>Carex halleriana</i> Asso		3	2 %
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	80	2	3 %
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	50	2	x
<i>Rhamnus alaternus</i> L.	50	1	2 %
<i>Festuca ovina</i> L.		1	x
<i>Quercus ilex</i> L.		2	2 %

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominant
	Nr	R	
<i>Quercus coccifera</i> L.		2	2 %
<i>Fumana spachii</i> Gren. et G.		5	5 %
<i>Brachypodium ramosum</i> L.		5	10 %
<i>Seseli montanum</i> L.		1	x
<i>Dianthus caryophyllus</i> L.		1	x
<i>Ononis minutissima</i> L.		4	x
<i>Hieracium pilosella</i> L.		2	x
<i>Lonicera etrusca</i> Santi		1	x
<i>Rubia peregrina</i> L.		1	x
<i>Hieracium murorum</i> L.		1	x
<i>Leuzea conifera</i> DC.		1	x
<i>Plantago lanceolata</i> L.		1	x
<i>Asparagus acutifolius</i> L.		1	x
<i>Teucrium polium</i> L.		1	x

Description du profil

3 - 0 cm: litière.

0 - 5 cm: horizon rouge jaunâtre, à structure en gros grumeaux, caillouteux (25 %) très pourvu en matière organique; effervescence avec HCl au voisinage immédiat des cailloux calcaires.

5 - 30 cm: horizon rouge jaunâtre à structure en gros grumeaux, caillouteux (30 %) moyennement pourvu en matières organiques; effervescence avec HCl au voisinage de cailloux calcaires.

30 cm et plus: calcaire dur fissuré du Lutétien moyen et inférieur.

Analyse du profil

Strates	I (0-5 cm)	II (5-30 cm)
Humidité à 105 °	35,0	32,7
Argile 0/00	230,0	237,0
Limon	155,0	142,5
Sables		
20-50	85,0	99,0
50-100	88,0	104,0
100-200	57,0	66,0
200-500	80,0	91,0
500-1000	62,0	81,0
1000-2000	39,0	72,0
Matières organiques 0/00	136,9	50,2
Humidité équivalente %	26,95	18,15
Carbone organique 0/00	79,64	29,23
Azote total 0/00	4,0	2,02

C/N	19,191	14,47
Calcaire total 0/00	85,0	190,0
Calcaire actif 0/00	20,0	35,0
Capacité d'échange	23,3	21,5

Bases échangeables (m.eq. p. 100 gr)

Ca	non dosé	non dosé
Mg	2,00	1,60
K	0,18	0,21
Na	0,06	0,10
pH	7,30	7,50
Fer libre %	2,76	2,60

b — Les sols rouges méditerranéens sur diluviums argileux

Le sol rouge sur diluvium provient de la dégradation du sol brun méditerranéen qui représente le sol climax sur cette roche-mère rouge en équilibre avec la forêt de chêne vert. Le déboisement détruit le sol brun méditerranéen et donne naissance au sol rouge méditerranéen.

A Mérindol, où nous avons étudié ces sols, on trouve actuellement un bois de Pin d'Alep d'origine artificielle avec un sous-bois de chêne vert peu dense. Ces sols sont peu évolués, assez pauvres en éléments fins, pauvres en calcaires, à réaction neutre ou légèrement acide, l'humus est du type Mull (C/N entre 10-14).

Comme nous l'avons vu dans l'étude des roches-mères, le sol rouge de Mérindol surmonte un poudingue très dure, imperméable, qui le rend défavorable au développement des racines des arbres, à la circulation de l'eau de pluie qui s'accumule à la surface pendant la saison pluvieuse et cause beaucoup de dégâts aux semis de Pins. Les chablis sont fréquents sur ces sols et les cimes des arbres s'aplatissent à un âge avancé reflétant ainsi le manque de profondeur de ces sols.

Nous prenons comme exemple de ces sols rouges, le sol suivant :

Localité: Mérindol (Vaucluse), lat. 164,9, long. 831,2.

Pluviosité: 550-600 mm.

Altitude: 141 m.

Position topographique: terrasse plate.

Roche-mère: diluvium (alluvions anciennes de la Durance).

Végétation:

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominan
	Nr	R	
STRATE 4			
(R: 10 %; haut.: 15,80 m)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	2	1	10 %
STRATE 3			
(R: 28 %; haut.: 1-3 m)			
<i>Quercus ilex</i> L.	2	1	5 %
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	1	1	20 %
<i>Pistacia terebinthus</i> L.	2	1	1 %
<i>Clematis flammula</i> L.	2	1	x
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	1	1	x
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	1	1	x
<i>Quercus coccifera</i> L.	2	1	x
<i>Hedera helix</i> L.	1	1	x
STRATE 2			
(R: 70 %; haut.: 15-40 cm)			
<i>Quercus coccifera</i> L.		5	50 %
<i>Clematis flammula</i> L.		1	3 %
<i>Melica ciliata</i> L.		1	x
<i>Avena bromoides</i> Gouan.		1	x
<i>Quercus ilex</i> L.		1	2 %
<i>Ruscus aculeatus</i> L.		1	1 %
<i>Asparagus acutifolius</i> L.		1	x
<i>Rubia peregrina</i> L.		1	1 %
<i>Betonica officinalis</i> L.		2	3 %
<i>Brachypodium ramosum</i> L.		2	2 %
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.		1	1 %
<i>Rumex acetosella</i> L.		1	x
<i>Bromus erectus</i> Huds.		1	x
STRATE 1			
(R: 65 %; haut.: 1-15 cm)			
<i>Brachypodium ramosum</i> L.		5	10 %
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.		1	2 %
<i>Cistus albidus</i> L.		1	x
<i>Trisetum flavescens</i> P.		2	6 %
<i>Carex halleriana</i> Asso.		2	5 %
<i>Festuca ovina</i> L.		1	x
<i>Hieracium pilosella</i> L.		1	1 %
<i>Hieracium murorum</i> L.		1	x
<i>Rubia peregrina</i> L.		1	x
<i>Quercus coccifera</i> L.		4	30 %
<i>Quercus ilex</i> L.		1	2 %
<i>Carex glauca</i> Murr.		1	x
<i>Betonica officinalis</i> L.		1	2 %
<i>Lonicera implexa</i> Ait.		1	x
Mousse.			3 %
Lichen.			x

Description du profil:

- 2 - 0 cm: litière.
 0 - 20 cm: horizon brun foncé rougeâtre, structure prismatique (en petites mottes), très caillouteux, très faible effervescence à HCl.
 20 - 45 cm: horizon brun foncé rougeâtre, structure prismatique; présence de gros cailloux ayant 20-30 cm de long; pas d'effervescence à HCl, moins pauvre en matière organique que l'horizon supérieur.
 45 cm et plus: poudingue imperméable.
 Ce sol présente une légère humification en surface.

Analyse du profil:

Strates	I (0-20 cm)	II (20-45 cm)
Humidité à 105°	20,5	13,5
Argile 0/00	210,0	242,5
Limon 0/00	200,0	205,0
Sables 0/00:		
20-50	81,0	156,0
50-100	46,0	114,0
100-200	195,0	80,0
200-500	92,0	87,0
500-1000	37,0	44,0
1000-2000	67,0	24,0
Matières organiques 0/00	37,2	20,8
Humidité équivalente %	15,72	15,41
Carbone organique 0/00	21,67	12,10
Azote total %	1,54	0,98
C/N	14,07	12,34
Calcaire total 0/00	2,50	absent
Calcaire actif 0/00	absent	non dosé
Capacité d'échange	13,50	12,70
Bases échangeables (m. eq. p. 100 gr.).		
Ca	8,40	non dosé
Mg	1,30	1,70
K	0,18	0,21
Na	0,04	0,04
pH	6,90	7,10
Fer libre %	1,42	1,53

- 3.2.3 — Classe des sols évolués à Mull,
 profil A(B)C ou ABC.
 Sous-classe des sols à Mull non hydromorphes.
 Groupe des sols lessivés.

Nous avons rencontré ces sols dans les bois de Pin d'Alep de La Devèze (Hérault), de Laquirou-Fleury près de Narbonne sur roches-mètres siliceuses filtrantes.

Nous prenons comme exemple le sol de La Devèze :

Localité: La Devèze, lat. 157,4, long. 742,6.

Pluviométrie: 700-750 mm.

Altitude: 45 m.

Exposition: N.

Pente: 5 %.

Position topographique: mi-versant.

Roche-mère: complexe argilo-gréseux caillouteux du Lutétien supérieur et Eocène supérieur.

Végétation:

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominan
	Nr	R	
STRATE 5 (R: 80 %; haut.: 14,4 m)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	3	1	80 %
STRATE 4 (R: 20 %; haut.: 4-7 m)			
<i>Quercus ilex</i> L.	2	2	20
STRATE 3 (R: 10-15 %; haut.: 1-2 m)			
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	6	3	20
<i>Lonicera implexa</i> Ait.	1	1	x
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	(1)	1	4
STRATE 2 (R: 60 %; haut.: 25-60 cm)			
<i>Genista candicans</i> L. Amoen.	1	1	x
<i>Brachypodium ramosum</i> L.		5	45
<i>Quercus coccifera</i> L.	25	4	25
<i>Rubia peregrina</i> L.	100	5	20
<i>Stachys officinalis</i> L.	40	4	2
<i>Erica scoparia</i> L.	20	2	1
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	20	4	20
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.		1	x
<i>Lonicera implexa</i> Ait.		3	x
<i>Bupleurum rigidum</i> L.	25	2	x
<i>Hieracium murorum</i> L.	75	4	1
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.	5	1	x
<i>Calluna vulgaris</i> Salisb.	5	1	1
<i>Carex longiseta</i> Brotero	25	2	x
<i>Cistus salviaefolius</i> L.	3	1	x
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	1	1	x
<i>Vincetoxicum officinale</i> Moench	2	1	x
<i>Viburnum tinus</i> L.	5	1	x
<i>Carex halleriana</i> Asso	2	1	x
<i>Erica cinerea</i> L.	1	1	x
<i>Pistacia terebinthus</i> L.	1	1	x
<i>Celtis australis</i> L.	1	1	x
<i>Arbutus unedo</i> L.	1	1	x

Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
STRATE 1 (R: 10 %; haut.: 5-10 cm)			
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	5	1	x
<i>Quercus coccifera</i> L.		4	4
<i>Valerianella olitoria</i> Poll.	5	1	x
<i>Viburnum tinus</i> L.		1	x
<i>Rubia peregrina</i> L.		4	x
<i>Hieracium peleterianum</i> Merat		7	x
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.		5	x
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	10	2	x
<i>Hieracium murorum</i> L.	10	2	x
<i>Lonicera implexa</i> Ait.		3	x
<i>Hypnum</i> sp.	1	4	6
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	5	1	x
<i>Brunella vulgaris</i> L.		2	x
<i>Carex glauca</i> Murr.		1	x
<i>Cladonia furcata</i>	2	1	x

Description du profil:

1 - 2 cm: litière.

A₁: 0 - 5 cm: horizon brun grisâtre, structure particulière lâche, texture sableuse, présence de quelques cailloux; racines très denses; horizon humifié.A₂: 5 - 10 cm: horizon brun clair, structure particulière très lâche, riche en cailloux (50 %), racines denses; peu de matière organique.

B : 10 - 70 cm: horizon rouge, structure compacte à tendance polyédrique, texture limono-argileuse; riche en cailloux (20-30 %); présence de nodules calcaires.

C : 70 cm et plus: roche-mère très caillouteuse.

Analyse du profil:

Strates	I (0-5 cm)	II (5-10 cm)	III (10-70 cm)
Humidité à 105°	17,2	9,0	12,5
% de terre fine	90	50	70
Argile 0/00	100,0	102,5	227,0
Limon 0/00	187,5	195,0	162,5
Sables 0/00:			
20-50	180,0	201,0	120,0
50-100	91,0	92,0	92,0
199-200	50,0	40,0	41,0
200-500	93,0	85,0	97,0
500-1000	108,0	94,0	104,0
1000-2000	84,0	136,0	133,0

Matières organiques 0/00	87,5	39,0	11,7
Humidité équivalente %	18,12	14,42	14,81
Carbone organique 0/00	50,90	22,68	6,80
Azote total 0/00	3,00	1,51	0,88
C/N	16,96	15,01	7,72
Calcaire total 0/00	absent	absent	absent
Calcaire actif 0/00	absent	absent	absent
Capacité d'échange	15,6	8,30	8,20
Bases échangeables (m. eq. p. 100 gr) :			
Ca	11,70	6,30	—
Mg	2,10	1,10	1,10
K	0,40	0,13	0,10
Na	0,05	0,05	0,05
pH	6,35	6,30	7,20
Fer libre 0/00	0,66	0,73	1,71
Alumine libre	5,60	7,20	10,40

Caractères pédologiques et propriétés:

Ce sol se caractérise par les caractères suivants :

- l'humus de l'horizon de surface a un rapport C/N voisin de 17, c'est un Mull acide à minéralisation assez rapide, ce rapport diminue vers la profondeur et passe à 7,72 dans l'horizon B.
- le % de la matière organique diminue de la surface vers la profondeur et passe de 8,75 % dans A₁ à 1,17 % dans B.
- les indices d'entraînement de l'argile et du fer sont supérieurs à 2.
- l'alumine libre passe de 0,56 % dans A₁ à 1,10 dans B.
- le pH passe de 6,35 dans l'horizon A₁ à 6,30 dans A₂, puis augmente à 7,20 dans B.
- absence totale de calcaire dans les horizons supérieurs; présence de nodules calcaires dans l'horizon B.

C'est donc un sol profond, perméable, favorisant la pénétration des eaux de pluie et leur stockage dans le profil. L'horizon B d'accumulation, riche en argile, constitue une réserve d'eau pour les arbres, à l'abri de l'évaporation. Dans ces sols filtrants, les racines des arbres se développent très bien et vont loin rechercher l'eau et les matières minérales. Le Pin d'Alep s'y développe bien et donne une bonne production ligneuse à l'hectare.

La minéralisation rapide de l'humus des horizons supérieurs, leur teneur en bases et leur texture les rend favorables à la germination des semis de Pin d'Alep.

3.2.4. — Classe des sols évolués à humus brut,
profil ABC.

Sous-classe des sols podzoliques
non hydromorphes.

Les sols lessivés podzoliques.

Ce sont des sols de transition entre les sols lessivés et les sols podzoliques. Nous les avons mis dans cette classe parce qu'ils sont plus évolués que les sols lessivés et que le phénomène de la podzolisation commence à avoir lieu dans les horizons de surface.

Nous avons rencontré ce type de sol une seule fois sous des peuplements de Pin d'Alep, dans le bois de la Bruyère, au N-E de Montpellier, sur complexe argilo-gréseux de l'Eocène inférieur, roche-mère siliceuse, très filtrante et pauvre en bases.

Localité: bois de la Bruyère (Restinclière), lat. 157,1, long. 739,2.

Pluviométrie: 700-750 mm.

Altitude: 30 m.

Exposition: W.

Pente: 2 %.

Position topographique: bas de pente.

Roche-mère: complexe argilo-gréseux caillouteux de l'Eocène inférieur.

Végétation:

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
STRATE 5 (R: 10 %; haut.: 6 m)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	5	1	10 %
STRATE 4 (R: 28 %; haut.: 3-4 m)			
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	8	1	15 %
<i>Quercus ilex</i> L.	2	1	12 %
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	1	1	1 %
STRATE 3 (R: 10 %; haut.: 80-200 cm)			
<i>Quercus ilex</i> L.	7	1	3 %
<i>Pinus pinaster</i> Soland.	7	1	2 %
<i>Quercus coccifera</i> L.	5	1	5 %
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	2	1	x
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	2	1	x
<i>Cistus salviaefolius</i> L.		1	x

N° et Noms des Plantes	Abondance		Dominance
	Nr	R	
STRATE 2 (R: 35 %; haut.: 25-80 cm)			
<i>Quercus coccifera</i> L.		3	10 %
<i>Calluna vulgaris</i> Salisb.		4	15 %
<i>Erica cinerea</i> L.		3	4 %
<i>Cistus salviaefolius</i> L.		2	2 %
<i>Quercus ilex</i> L.		2	1 %
<i>Lavandula Stoechas</i> L.	3	1	x
<i>Pinus pinaster</i> Soland.		3	x
<i>Pinus halepensis</i> Mill.		2	x
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.		1	x
<i>Osyris alba</i> L.		3	2 %
<i>Quercus pubescens</i> Willd.		1	x
STRATE 1 (R: 2 %; haut.: < 25 cm)			
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.		1	1
<i>Argyrolobium linnaeanum</i> Walp. (= <i>Cytisus argenteus</i> L.)		1	1
STRATE 1 (R: 25 %; haut.: 1-25 cm)			
<i>Calluna vulgaris</i> Salisb.		3	4 %
<i>Cistus salviaefolius</i> L.		2	1 %
<i>Erica cinerea</i> L.	2	2	1 %
<i>Quercus coccifera</i> L.		4	3 %
<i>Osyris alba</i> L.		1	x
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.		1	x
<i>Cladonia furcata</i>			1 %
Mousse		4	20 %
<i>Quercus ilex</i> L.		2	1 %
<i>Quercus pubescens</i> Willd.		1	x
<i>Carex halleriana</i> Asso		3	2 %
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	1	1	x
<i>Rubia peregrina</i> L.		1	x
<i>Asparagus acutifolius</i> L.		1	x
<i>Ruscus aculeatus</i> L.		1	x
<i>Lavandula stoechas</i> L.		1	x

Description du profil:

A₀ 3 - 0 cm: litière.A₁ 0 - 15 cm: horizon gris, texture sableuse; structure particulière friable, caillouteux; réaction nulle à HCl; chevelu radicaire très dense dans cet horizon.A₂ 15 - 25 cm: horizon gris clair, texture sableuse; structure cendreuse particulière très friable; caillouteux; réaction nulle à HCl; présence de taches jaunes et rouges; très peu de racines.

- B₁ 25 - 45 cm: horizon rouge jaunâtre, avec taches rouges; texture sablo-argileuse; structure polyédrique anguleuse friable; caillouteux; présence d'abondantes racines et radicelles très fines.
- B₂ 45 - 105 cm: horizon de couleur bariolée; la couleur dominante est brun rougeâtre, mêlée de taches jaunâtres; texture sablo-argileuse; structure polyédrique friable; très caillouteux; présence d'abondantes racines et de trainées noires dues à l'humification des racines et radicelles.
- C 105 - 180 cm: roche-mère: horizon brun rougeâtre taché de jaune; structure polyédrique; racines fréquentes.

Analyse du profil:

Strates	I	II	III	IV	V
	A1	A2	B1	B2	E
% de terre fine	98,50	66,76	78,05	81,16	77,32
% de cailloux et graviers	1,50	33,24	21,95	18,84	22,68
Humidité à 105°	12,0	4,2	29,20	24,20	22,00
argile %	47,5	30,0	302,5	252,5	192,5
limon %	20,0	30,0	27,5	32,5	30,0
sables					
20-50	58,0	47,0	30,0	21,0	22,0
50-100	80,0	79,0	38,0	34,0	30,0
100-200	137,0	120,0	71,0	78,0	60,0
200-500	400,00	298,0	242,0	307,0	251,0
500-1000	132,00	216,0	152,0	184,0	225,0
1000-2000	31,0	143,0	99,0	65,0	162,0
matières organiques %	55,40	13,80	10,04	4,70	2,60
humidité équivalente %	8,52	2,87	16,76	15,54	13,54
carbone organique %	32,26	8,06	6,05	2,77	1,55
azote total %	1,46	0,42	0,48	0,25	0,15
C/N	22,09	19,19	12,60	11,08	10,06
Calcaire total %	absent	absent	absent	absent	absent
calcaire actif %	absent	absent	absent	absent	absent
capacité d'échange	8,50	3,10	15,90	13,20	9,30
bases échangeables					
m.eq. p. 100 gr.					
Ca	6,10	2,20	12,00	9,40	6,80
Mg	1,25	0,40	3,35	2,70	1,70
K	0,20	0,12	0,23	0,16	0,09
Na	0,04	0,04	0,06	0,05	0,08
pH	6,10	5,65	5,90	5,10	5,35
Fer libre %	0,24	0,27	2,04	1,92	2,04
Alumine libre %	2,40	3,00	9,60	10,20	10,60

Processus de formation.

La végétation actuelle formée de *Pinus halepensis* et *Pinus pinaster* et de *Calluna vulgaris* favorise la podzolisation en raison de la nature de l'humus qu'elle donne. C'est un humus à minéralisation lente, du type Moder et qui évolue vers le type Mor, plus acide et à minéralisation plus lente sous les taches denses de callunes.

Etant donné que la roche-mère elle-même est totalement dépourvue en calcaire, il est probable que la podzolisation ait été facilitée et favorisée sur un matériau totalement décalcifié. Cette décalcification aurait pu se produire pendant une période pluvieuse ancienne.

Caractéristiques pédologiques et physico-chimiques.

Les caractères pédologiques et physico-chimiques sont les suivants :

1. L'humus de l'horizon A₁ est un Moder (C/N = 22,09) qui évolue vers un Mor sous les touffes de *Calluna vulgaris*.
2. Les indices d'entraînement de l'argile et du fer n'ont pas beaucoup de signification étant donné la nature hétérogène de ces dépôts alluviaux.
3. La capacité d'échange et les bases échangeables ont une valeur assez élevée en B₁ et B₂, très faible en A₂ et assez moyenne en A₁.

*Comportement du Pin d'Alep vis-à-vis de ce sol.*1. *Les jeunes semis.*

L'horizon A₀ est peu épais et ne constitue pas un obstacle pour la germination des graines. L'horizon A₁ est perméable, peu pourvu en éléments fins (4,75 % d'argile, 2 % de limon), facilitant ainsi la pénétration des eaux de pluies vers les horizons plus profonds (B₁, B₂ et C) qui sont plus argileux et où elles se stockent à l'abri de l'évaporation. L'humidité est conservée dans l'horizon A₁, d'autant plus qu'il est assez pourvu en cailloux qui forment écran à l'évaporation. Cette humidité est cédée aux semences pendant leur germination. En outre, sa teneur en bases échangeables n'est pas trop faible, 7,59 %. Sous cet horizon A₁, il y a l'horizon A₂ cendreux, où on trouve très peu de racines et qui est très pauvre en argiles (3 %), donc à réserve d'eau très faible; en outre, sa capacité d'échange et sa teneur en bases échangeables sont très faibles (capacité d'échange 3,10 %, somme des bases échangeables 2,76 %), ce qui constitue un milieu peu propice au développement des racines de Pin d'Alep. Comme le facteur primordial pour les semis de Pin d'Alep à ce stade est l'eau, ces derniers seront sauvés si leurs racines arrivent à pousser assez vite pour traverser cet horizon et atteindre les horizons d'accumulation, riches en réserves d'eau et en bases.

Pendant les années à été humide, ces défauts de l'horizon A₂ sont très atténués et la survie des plantes se trouve accrue.

Signalons, enfin, qu'une remontée d'eau capillaire de l'horizon B vers A₂ est possible.

2. *Les plantes adultes.*

Une fois que les racines des jeunes plantules ont pu atteindre l'horizon B₁, elles peuvent continuer à se développer en utilisant l'eau et les sels minéraux de cet horizon. Progressivement, la plan-

tule envoie ses racines dans toutes les directions à la recherche de l'eau et des matières minérales, profitant de la pénétrabilité relative des horizons B et aussi de la présence des cailloux. La plantule essaie de compenser la pauvreté relative de ces sols en prospectant un volume de sol plus important.

Le Pin d'Alep se plaît assez bien sur ces sols et donne une production ligneuse non négligeable.

4 — Position biologique des pinèdes françaises par rapport à celles de la Méditerranée orientale

4.1 — Particularités du milieu.

— Le régime climatique.

Nous avons vu dans ce qui précède que du point de vue biologique, le régime climatique de la région méditerranéenne française diffère de celui de la région méditerranéenne orientale par les caractères suivants :

- un accroissement très net de la pluviosité estivale. Le creux estival tend nettement à se combler (voir diagramme de Lattaquié et d'Antibes).
- une certaine instabilité du régime climatique méditerranéen, de sorte que certaines années le régime n'est plus méditerranéen. Cette instabilité augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte méditerranéenne.

— La température.

Nous avons vu aussi que la majorité des pinèdes françaises est située dans des régions froides ou tempérées froides, où la moyenne des minima du mois le plus froid est inférieure ou voisine de 3°C. Ces pinèdes sont donc adaptées à supporter des températures assez basses, ce qui n'est pas le cas au Proche-Orient où les pinèdes vivent sous un régime à températures moins basses.

— La luminosité.

Les régions du Proche-Orient jouissent d'une luminosité assez forte, plus élevée que celle de la région méditerranéenne française.

4.2 — Répercussions biologiques.

Ces particularités climatiques ont une large répercussion sur la biologie des pinèdes qui doivent s'adapter à une irrégularité pluviométrique saisonnière, à une instabilité du régime climatique, à des

températures basses et à une luminosité plus faible que celle des pinèdes Nord-Africaines et Proche-Orientales. Elles ont, par conséquent, une écologie assez différente de ces dernières.

— Les pinèdes orientales sont soumises à une saison sèche très prononcée, drastique, dépassant le plus souvent les trois mois de l'été. La saison estivale est une saison d'arrêt de la végétation, laquelle ne reprend qu'en automne. L'hiver étant la saison pluvieuse et relativement chaude, en particulier dans les régions côtières, l'ensemble de la végétation ne subit pas un arrêt complet ; les arbres continuent à croître.

— La sécheresse estivale accentuée qui sévit au Proche-Orient joue un rôle primordial dans la sélection des terrains colonisés par les semis de Pins ; en effet, ces semis colonisent de préférence les terrains qui peuvent leur assurer une certaine alimentation en eau pendant la saison sèche. C'est pour cette raison qu'ils colonisent si vite les marnes crayeuses et les calcaires marneux au Proche-Orient. Par contre, les terres argileuses rouges (*terra rossa* par exemple) ne sont qu'exceptionnellement envahies par le Pin d'Alep au Proche Orient du fait de la grande sécheresse de leurs couches superficielles en été. Dans la région méditerranéenne française, le Pin d'Alep colonise également, de préférence, les terrains marneux et calcaro-marneux, mais étant donné l'instabilité du régime climatique qu'amène une succession d'étés très humides, il peut arriver à coloniser les stations sur *terra rossa*, ce qui nous explique la présence assez fréquente de pinèdes de Pin d'Alep sur calcaire dur, recouvert de *terra rossa*.

— Etant donné la nature thermophile du Pin d'Alep, l'abaissement des moyennes des minima du mois le plus froid dans les pinèdes en France trouve sa répercussion sur la densité des peuplements naturels de Pin d'Alep. Ces peuplements sont, le plus souvent, assez clairs, et les arbres assez espacés, afin de capter le maximum de lumière et de chaleur.

Dans la limite supérieure de son aire en France, les peuplements sont encore plus clairs et n'existent que sur les versants Sud et sur les terrains calcaires, qui sont des terrains chauds. L'exemple le plus clair est celui des jeunes peuplements de Pin d'Alep sur le versant Sud et sur substratum calcaire de la colline La Côte au Nord-Ouest du village Les Cours, dans le département de l'Hérault. Ces peuplements constituent la limite Nord du Pin d'Alep dans cette région. Même au Sud de cette station, le Pin d'Alep n'accepte que le versant Sud et Sud-Est du petit massif Les Treviers, au Nord-Ouest du village de Fontanès. Les versants Nord et Nord-Ouest sont occupés par le Chêne vert accompagné du Chêne pubescent.

4.3 — *Répercussions sylvicoles.*

Le traitement des forêts de Pin d'Alep en France doit prendre en considération la nature thermophile de cette essence dans les étages bioclimatiques frais (m entre 0 et 3°). Dans ces étages, les pinèdes doivent être traitées en futaie claire tout en favorisant, en même temps, l'établissement d'un sous-étage de feuillus pour la protection et l'enrichissement du sol (voir chap. V).

CHAPITRE III

SYNECOLOGIE DU PIN D'ALEP ET REGENERATION NATURELLE

1 — La méthode

La méthode que nous avons appliquée dans ce travail pour l'étude synécologique du Pin d'Alep en France est celle qui est actuellement en usage au *Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier*. C'est une méthode qui consiste en une analyse aussi détaillée que possible de la végétation et du milieu permettant ultérieurement une élaboration statistique des données pour la mise en évidence des corrélations entre végétation et milieu.

1.1 — *La notion de groupe écologique.*

Cette méthode est basée sur la notion de groupe écologique, qu'il convient d'expliquer. La notion de groupe écologique n'est pas comprise de la même manière par tous les auteurs. On lui attache une signification tantôt sociologique, tantôt auto-écologique, tantôt statistique. Mais, il y a un point commun entre toutes les manières de voir ; elle se traduit par la manière de comprendre l'association végétale telle qu'elle est définie classiquement (BRAUN-BLANQUET). Dans celle-ci, on oppose essentiellement les *espèces caractéristiques* et les *compagnes*, celles-ci ayant une signification phytosociologique faible. Dans la nouvelle conception, l'association est composée de groupes écologiques, chaque groupe ayant sa signification écologique dans le groupement (association) considéré, de telle sorte que les compagnes se trouvent considérablement réduites ou supprimées, ayant pu être intégrées dans les divers groupes écologiques.

I.1.1 — La tendance sociologique.

Le terme de groupe écologique a pris un sens phytosociologique chez DUVIGNEAUD (1946). Pour DUVIGNEAUD, un groupe écologique est un groupe d'espèces qui ont tendance à se trouver groupées dans la nature, qui ont une *affinité sociologique*, due en premier lieu à une similitude d'exigences écologiques.

Cette affinité résume les tendances écologiques, géographiques ou autres qu'ont certaines plantes à se grouper (DUVIGNEAUD, 1946). Le groupe écologique a une certaine autonomie vis-à-vis des autres espèces des phytocénoses où on les rencontre. Les groupes peuvent, en particulier, passer d'un groupement végétal à l'autre et l'association est conçue, non pas comme un bloc monolithique, mais comme un enchevêtrement de groupes écologiques, dont l'un, dominant, donne son nom au groupement, les autres subordonnés, servent à définir les unités inférieures et précisent les affinités entre groupements.

I.1.2 — La tendance auto-écologique.

Cette tendance se rattache à la notion ancienne de « *plante indicatrice* » et a été développée par plusieurs auteurs qui ont travaillé dans des domaines différents et plus ou moins indépendamment, en particulier DUCHAUFOUR (1950, 1957) en France, ELLENBERG (1954, 1956) en Allemagne, IONESCO (1956), R. NÈGRE au Maroc, LONG (1951) et LE HOUÉROU (1960) en Tunisie.

Le point de départ est moins la reconnaissance directe de groupement de certaines espèces sur le terrain, que l'analyse du comportement écologique des espèces prises une à une dans les relevés ordonnés suivant l'intensité croissante d'action d'un facteur. On réunit ensuite les espèces de même comportement écologique pour différents facteurs de milieu (y compris éventuellement les facteurs biotiques). Les groupes définis, préalablement aux associations, se retrouvent (plus ou moins complets) dans les associations qui sont alors caractérisées par des assemblages de groupes écologiques.

I.1.3 — La tendance statistique.

C'est GOUNOT (1958, 1959, 1961) qui a consolidé la notion de groupes écologiques en la rendant solidaire de qualités statistiques précises. Les principes de GOUNOT s'inspirent des deux méthodes précédentes, mais ils visent l'élimination au maximum possible, de tout ce qui peut être entaché de subjectivité ou intuitif, notamment dans la définition des facteurs du milieu, dans la recherche de la similitude des exigences écologiques des espèces et dans la détermination de l'affinité sociologique. GOUNOT définit donc les groupes éco-

logiques statistiquement, et c'est ainsi que nous les avons compris dans le présent mémoire. Nos groupes écologiques sont donc des « *groupes écologiques statistiques* ».

1.2 — *Base théorique de la recherche des groupes écologiques statistiques.*

Plaçons-nous au départ dans des conditions un peu théoriques et faisons 2 hypothèses; supposons (GOUNOT, 1959):

1 — Que la notion de présence (pourcentage des relevés où l'espèce est présente) d'une espèce dans un groupe de relevés effectués sur des aires floristiquement et écologiquement homogènes, égales à l'aire minimale du groupement étudié, ait un sens; c'est-à-dire que l'espèce, quel que soit son mode de distribution dans le détail, ait une distribution de présence sensiblement au hasard, quand on l'étudie sur des surfaces supérieures à l'aire minimale dans les phytocénoses où le groupe est représenté; donc que le degré de présence de l'espèce soit bien défini et constant.

2 — Qu'il soit possible de définir sans ambiguïté les conditions écologiques nécessaires et suffisantes pour que les espèces du groupe puissent se développer. On suppose donc qu'aucune espèce du groupe ne se développe avec un degré de présence appréciable hors de ces conditions et que toutes les surfaces comprenant les conditions favorables aient la même probabilité *a priori* de contenir une espèce quelconque du groupe.

Après ces 2 hypothèses, considérons maintenant deux espèces A et B de mêmes exigences écologiques vis-à-vis de tous les facteurs du milieu et indépendantes, c'est-à-dire telles que la présence ou l'absence d'une de ces espèces n'ait aucune influence sur la présence de l'autre dans un relevé.

Si nous considérons tous les relevés (n) où les exigences écologiques des deux espèces sont satisfaites, nous savons, d'après les 2 hypothèses faites, que ces deux espèces ne peuvent être présentes que dans ces relevés et ont une probabilité d'apparition dans un des relevés, égale à leur degré de présence, donc bien déterminée. Comme ces deux espèces sont indépendantes, la probabilité *a priori* de leur présence simultanée dans un même relevé est égale au produit de leurs probabilités d'apparition: $PAB = P_A \times P_B$. Dans les (n) relevés nous devons nous attendre à les trouver dans

$$n \times P_A \times P_B = c \text{ cas.}$$

Un test de χ^2 d'homogénéité permet de calculer, si la différence entre la valeur observée O et la valeur calculée C a une probabilité suffisante pour qu'il soit admissible qu'elle soit due au hasard. Les

seuils de probabilités les plus utilisés sont 1 % et 5 %. On a ainsi un moyen de vérifier l'hypothèse de l'indépendance à un seuil de probabilité déterminée.

1.3 — Définition du groupe écologique statistique.

Un groupe écologique statistique est défini (GOUNOT, 1959) par un groupe d'espèces :

1) ayant un comportement écologique semblable et ne se rencontrant qu'avec un degré de présence négligeable hors des relevés présentant les caractéristiques écologiques du groupe.

2) qui sont en liaison positive entre elles dans les relevés faits sur des surfaces égales ou supérieures à l'aire minimale, quand on étudie l'ensemble des relevés sans tenir compte des conditions du milieu.

3) mais qui sont statistiquement indépendantes les unes des autres (au seuil de probabilité choisi), si l'on étudie seulement l'ensemble des relevés effectués dans des milieux favorables à l'installation du groupe (la condition 3 inclut *ipso facto* la condition 2).

4) le groupe est défini par un certain *territoire* ou *domaine* (1). Si les espèces du groupe ont la même aire de répartition et satisfont partout aux conditions ci-dessus dans l'aire étudiée, le groupe peut être qualifié de *groupe primaire*. Si les aires des espèces ne coïncident pas entièrement, ou si les espèces ne satisfont pas à la définition du groupe dans toute leur aire, elles forment un groupe à domaine ou territoire limité. Deux cas sont alors particulièrement importants :

Cas des *groupes « bornés »*, c'est-à-dire des groupes dont les espèces satisfont à la définition, sauf quand un (ou plusieurs) groupe déterminé est présent dans les relevés. Par exemple, le groupe A est borné par un groupe B, si les espèces du groupe A satisfont aux conditions de la définition proposée pour le groupe écologique, si on ne prend pas en considération les relevés contenant des espèces du groupe B.

Cas des *groupes « secondaires »*, dont le domaine est limité au cas où un (ou plusieurs) groupe déterminé est présent dans les relevés. C'est-à-dire que le groupe secondaire A satisfait aux conditions de la définition, si on ne considère que les relevés contenant des espèces d'un groupe B.

(1) Le terme « domaine » n'est pas pris ici au sens phytogéographique.

2 — Description sommaire de la méthode de travail suivie pour la recherche des groupes écologiques statistiques

Voici les différentes phases suivies pour la recherche des groupes écologiques.

2.1 — *Inventaire de la végétation.*

Nous avons effectué sur le terrain des relevés de la végétation d'après un formulaire (n° 1) adopté par le *Centre Phytosociologique et Ecologique*. Le relevé de la végétation est accompagné de l'étude du profil du sol et d'un prélèvement d'échantillon de chaque horizon en vue de l'analyse.

Les relevés sont au nombre de 120 et répartis dans les régions suivantes : Narbonne (La Clape), Montpellier (Fontanès, Fonfroide, Restinclière, etc...), Avignon (Mérindol, Bastide des Jourdans, etc...), Marseille (Géménos).

Le dépouillement des relevés a été fait par l'emploi de cartes perforées mécanographiquement (voir GOUNOT, 1959).

2.2 — *Etablissement de cartes espèces.*

On utilise une carte (carte standard) par espèce de chaque strate dans chaque élément d'un relevé. On y porte les caractères analytiques des espèces à partir des relevés, d'après un code établi, à ce sujet, par le *Centre Phytosociologique et Ecologique*.

2.3 — *Etablissement des bordereaux et des cartes détails.*

A partir des relevés et de l'analyse des sols, on établit 4 bordereaux en vue de l'exploitation mécanographique des résultats, en suivant le code précité. Ces bordereaux serviront à la transcription des données concernant la végétation et le sol, sur les cartes perforées. Sur ces bordereaux, on transcrit les données générales communes pour tout le relevé :

Le bordereau n° 1 résume les données suivantes : numéro du relevé, topographie, stratification, recouvrement, physionomie, etc... Il servira à l'établissement de la carte maîtresse n° 1.

Le bordereau n° 2 résume les données concernant l'étude de sol en place (profondeur, horizons, couleur, texture, pH, réaction à HCl). Il servira à la carte maîtresse N° 2.

Le bordereau n° 3 résume la pluviosité, la géologie, la lithologie, *M, m*, Quotient d'EMBERGER, « séries » de végétation, etc... Il servira à l'établissement de la carte maîtresse N° 3.

Le bordereau n° 4 concerne uniquement les analyses physiques et chimiques des sols et servira à l'établissement de la carte maîtresse N° 4 (1).

A l'aide de la reproductrice on transcrit toutes les données des cartes maîtresses sur les cartes espèces.

2.4 — Recherche des groupes écologiques.

2.4.1 — Les groupes écologiques provisoires.

La ventilation des cartes donne des tableaux portant le numéro de code des espèces et, pour chaque facteur écologique étudié, le nombre de fois (cartes) où chaque espèce se trouve dans une des classes du facteur envisagé. Les facteurs écologiques qui nous ont servi à établir nos groupes écologiques sont: la texture du sol, l'humidité équivalente, le pH, et le couvert des strates de 2-4 m, 4-8 m, 8-16 m, 16-32 m.

Le dépouillement de ces bordereaux en vue de la recherche des groupes se fait par tâtonnement, en groupant les espèces qui ont apparemment la même écologie par rapport aux facteurs qui paraissent les plus importants sur la végétation. On obtient ainsi des groupes qui paraissent ne pas se modifier en faisant intervenir d'autres facteurs. Par exemple, nous avons arrangé nos groupes au départ par rapport à la *texture*, au *pH* et au *couvert des strates* et constaté que cet arrangement ne changeait pas en faisant intervenir un nouveau facteur qui est l'humidité équivalente, car cette dernière est liée à la texture.

On porte ensuite ces groupes provisoires sur un tableau à double entrée. Sur un côté, on inscrit les groupes provisoires et sur l'autre les relevés groupés par affinité écologique en tenant compte des facteurs écologiques pris en considération pour l'établissement des groupes provisoires.

Chaque fois qu'une espèce des groupes est présente dans un relevé on inscrit son abondance ou un signe plus. L'ensemble de ces signes délimite à la fois des régions où chaque groupe est le plus représenté.

Ce tableau nous permet d'effectuer un léger remaniement des espèces avant de passer aux tests statistiques.

2.4.2 — Etablissement des groupes écologiques définitifs.

— Les tests statistiques.

Nous avons utilisé un test d'indépendance appliqué aux tables de contingence 2×2 . Pour tester l'indépendance de deux espèces

(1) Pour l'exploitation mécanographique des relevés, voir: GOUNOT (1957, 1959, 1961).

ces, on peut utiliser une table de contingence qui se présente sous la forme suivante :

		Espèce A		
		Présence	Absence	
Espèce B	Présence	a	b	a + b
	Absence	c	d	c + d
		a + c	b + d	n = a+b+c+d

ou a = nombre de co-occurrences des espèces A et B = fréquence de A + B

b = nombre de relevés contenant B en l'absence de A

c = nombre de relevés contenant A en l'absence de B

d = nombre de relevés ne contenant ni A ni B

a + c = nombre de relevés contenant l'espèce A

a + b = nombre de relevés contenant l'espèce B

n = nombre total de relevés étudiés :

Les valeurs a + b, c + d, a + c, b + d sont appelées totaux marginaux ou (fréquences marginales).

Ce sont, dans le cas envisagé ici, les sommes de valeurs de présence ou d'absence pour chacune des 2 espèces.

Quand les nombres inclus dans la table de contingence ne sont pas trop grands, on peut utiliser des tables établies par FINNEY (1948) et LATSCHA (1953). Ces auteurs écrivent cette table avec la notation suivante :

		Espèce A		
		Présence	Absence	
Espèce B	Présence	a	A - a	A
	Absence	b	B - b	B
		a + b	A + B - a - b	A + B

Pour pouvoir entrer dans ces tables, il faut $A \geq B$ et $aB > bA$. Nous avons utilisé ces tables pour le seuil de probabilité de 2,5 % (équivalent au seuil de 5 % avec le test χ^2).

— test de χ^2

Ce test est utilisé quand il n'est pas possible d'entrer dans la table de FINNEY et LATSCHA, c'est-à-dire quand les nombres sont élevés.

La formule χ^2 est la suivante :

$$\chi^2 = \frac{n \left[(a d - b c) - \frac{n}{2} \right]^2}{(a+b) (a+c) (c+d) (b+d)}$$

Pour le seuil de probabilité choisie (5 %), la valeur de χ^2 est de 3,84.

Si la valeur de χ^2 calculée est inférieure à 3,84, l'hypothèse de l'indépendance entre les 2 espèces est admise au seuil de 5 %.

Sinon, il y a une liaison positive ou négative suivant que $(a - m)$ est positif ou négatif :

a = nombre de co-occurrences observé des deux espèces,

m = nombre de co-occurrences théorique et qui est donné par la formule suivante :

$$m = \frac{(a+c) (a+b) n}{n} = \frac{(a+c) (a+b)}{n}$$

— test de signification pour tables de contingence de FISCHER et YATES (1957).

Ce test est utilisé quand un des nombres figurant dans les cases de la table, ou résultant du calcul des valeurs attendues, est trop petit (< 5).

On peut, moyennant un petit calcul supplémentaire, utiliser le χ^2 pour rentrer dans la table de FISCHER et YATES. Elle nécessite le calcul de $\sqrt{\chi^2}$.

Pour pouvoir rentrer dans la table, il faut que la table de contingence se présente de la manière suivante :

a	b	$a+b$	avec $a+c \leq b+d$
c	d	$c+d$	$a+b \leq c+d$
$a+c$	$b+d$	n	$a+c \leq a+b$

A partir de la table de contingence, on calcule les 2 quantités :

$$m = \frac{(a+b) \cdot (a+c)}{n}$$

$$p = \frac{a+b}{n}$$

Si $a > m$, on doit entrer dans la table par la queue longue

Si $a < m$, on doit entrer dans la table par la queue courte

Si $p = 0,5$, il n'y a pas de différence entre queue longue ou courte.

Pour différentes valeurs de p et m , la table donne 2 valeurs qui correspondent aux valeurs les plus grandes et les plus petites qui peuvent se réaliser par χ^2 dans l'hypothèse de l'indépendance au seuil de 2,50 %. En effet, pour une valeur déterminée de p et de m , les 3 totaux marginaux indépendants de la table ne sont pas complètement déterminés.

Ceci entraîne toute une série de valeurs possibles et toute une série de valeurs possibles pour χ^2 (sauf quand $p = 0$, où il n'y a qu'un cas possible, donc une seule valeur de la table).

Dans le cas où p et m correspondent exactement à des valeurs de la table, on lit les 2 chiffres de la table. Si χ^2 est inférieur au chiffre le plus faible, il n'y a pas de différence significative entre a et m , il y a indépendance. Si χ^2 est supérieur au chiffre le plus élevé, il y a une différence significative entre a et m , il y a une liaison entre les 2 espèces. Si χ^2 est égal à l'un des 2 chiffres de la table ou compris entre eux, il y a doute et on doit utiliser le test exact pour pouvoir conclure.

3 — Les différents groupes écologiques

3.1 — Introduction.

Les groupes écologiques ont été définis uniquement pour les pinèdes méditerranéennes françaises. Cette remarque est très importante. On sera surpris de trouver dans nos groupes écologiques des espèces qui ont une aire géographique qui dépasse celle du Pin d'Alep (comme Buxus sempervirens, Eryngium campestre, Bromus erectus), mais, localement, c'est-à-dire pour les pinèdes méditerranéennes françaises, ces espèces ont la valeur indicatrice indiquée. Il est certain que la constitution des groupes écologiques sera différente lorsqu'on pourra étendre ces recherches à l'ensemble des pinèdes de la région méditerranéenne.

Nos groupes écologiques ont été établis comme nous l'avons déjà dit, en tenant compte de la texture du sol, du pH et du couvert des strates, c'est-à-dire par rapport aux facteurs les plus importants qui peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur l'alimentation en eau et en sels minéraux des plantes et dans un but bien précis: c'est l'étude de la régénération naturelle du Pin d'Alep et la productivité des stations sur lesquelles cette essence pousse.

L'humidité équivalente des sols étudiés et la roche-mère se sont montrées en corrélation avec la texture et le pH et ont consolidé la définition de nos groupes écologiques.

Sous le climat méditerranéen caractérisé par sa sécheresse estivale accentuée, parmi les caractères physicochimiques des sols jouant un rôle dans la biologie des plantes, la texture est des plus importantes. La production des éléments fins dans le sol joue un rôle capital dans l'économie de l'eau et peut donc avoir une grande influence sur les possibilités d'alimentation en eau des jeunes plants pendant la saison sèche.

En outre, les fissures des roches remplies d'argile constituent des réserves hydriques non négligeables à l'abri de l'évaporation et que les arbres utilisent pendant la saison sèche. Le couvert des différentes strates s'est avéré un facteur important dans l'établissement des groupes écologiques. En effet, en réglant la quantité de rayons solaires parvenant au sol, il influe sur le bilan hydrique du sol et son utilisation ainsi que sur le milieu ambiant de la station.

3.2 — *Les groupes écologiques (1).*

3.2.1 — Groupe écologique n° 1.

Ce groupe comprend les espèces suivantes :

Asphodelus cerasifer Gay.

Convolvulus cantabrica L.

Phlomis lychnitis L.

Sedum nicaeense All.

(*S. altissimum* Poir.).

Caractéristiques écologiques

Ce groupe caractérise les sols lourds (sols renfermant 45 à 60 % d'argile), tassés, et les stations découvertes à végétation très dégradée. Ces sols sont extrêmement secs en été, en particulier dans les couches supérieures, du fait de leur richesse en éléments fins qui détermine une remontée capillaire continue de l'eau, à la suite de l'évaporation superficielle. Il se forme ainsi, en surface, une croûte dure et sèche défavorable à la germination des graines, à la pénétration des jeunes racines et à leur alimentation en eau, et où la concurrence pour l'eau est très élevée. Il s'ensuit que la végétation de ces stations est clairsemée. L'humidité équivalente varie entre 25 et 36 %. C'est le groupe écologique le plus xérique et le plus héliophile. Le pH varie entre 7 et 7,7. Ces sols sont le plus souvent décalcarifiés : la teneur en calcaire actif est faible et varie entre 0 et 5 %.

Ce groupe se rencontre sur les sols rouges, très dégradés, qui sont souvent réduits à la roche-mère (*terra rossa*).

(1) N.B. Pour délimiter les groupes écologiques sur le terrain, il faudra le faire sur une surface au moins égale à l'aire minimale. Il faudra également choisir une surface représentative du peuplement.

Rapport avec les autres groupes

Ce groupe peut se rencontrer avec le groupe n° 2, mais, comme nous le verrons plus loin, quand les 2 groupes sont ensemble, la station reflète les caractéristiques écologiques du groupe n° 2, car ce dernier supporte moins l'argile que le groupe n° 1.

Rapport avec les groupements végétaux

Ce groupe caractérise les pelouses sèches à *Brachypodium ramosum* et *Phlomis lychnitis* (*Brachypodietum ramosi* Br. Bl., 1924) qui constituent un des termes finaux de la dégradation de la chênaie à chênes verts (*Quercetum gallo-provincialis* Br. Bl., 1915, 1936), après la disparition du chêne kermès.

On le rencontre aussi dans les garrigues à chêne kermès et *Brachypodium ramosum* (*Cocciferetum brachypodietosum* Br. Bl., 1953) qui, par dégradation, aboutit à la pelouse à *Brachypodium ramosum*.

Liaison entre espèces

Les tests statistiques ont montré que ces espèces sont toutes indépendantes entre elles.

3.2.2 — Groupe écologique n° 2.

Ce groupe comprend les espèces suivantes :

- Bromus erectus* Huds.
- Eryngium campestre* L.
- Festuca ovina* L. ssp. *duruiscula* Koch.
- Ononis minutissima* L.
- Psoralea bituminosa* L.

Caractéristiques écologiques

Ce groupe caractérise les stations à sols argileux (renfermant 15-40 % d'argile), sèches en été et à couvert léger. Mais il peut supporter une proportion d'argile plus élevée, supérieure à 40 %.

Le pH de ces stations est > 7 et le complexe absorbant est presque saturé en bases et surtout en calcium. Ce groupe est indifférent à la présence du calcaire actif dans le sol. La structure est meilleure que celle des sols du groupe précédent ; elle est polydrique anguleuse ou subanguleuse. On le rencontre principalement sur marne et calcaire marneux et accessoirement sur *terra rossa*.

Rapport avec le groupe n° 1

Ce groupe peut se rencontrer avec le groupe n° 1. Mais, étant donné que le groupe n° 1 se rencontre essentiellement sur les sols

renfermant 40 à 60 % d'argile, donc plus exigeants en argile que le groupe n° 2, quand les 2 groupes sont en présence dans une même station, celle-ci reflète les conditions écologiques caractéristiques du groupe n° 2.

Liaison entre espèces

Ces espèces sont indépendantes entre elles.

Rapport avec les groupements végétaux

Ce groupe peut se rencontrer dans les pelouses à *Brachypodium ramosum* et *Phlomis lychnitis* et dans la garrigue à chêne kermès et *Brachypodium ramosum*. On le rencontre surtout dans les landes à *Rosmarinus officinalis* et *Lithospermum fruticosum* (*Rosmarineto-lithospermetum* Br. Bl., 1924). C'est une lande qui, sur le calcaire marneux, remplace généralement certains groupements de l'alliance du *Quercion ilicis* (au sens de BRAUN-BLANQUET).

Ce groupe est très fréquent dans les landes à romarin boisées de Pin d'Alep.

3.2.3 — Groupe écologique n° 3.

Ce groupe comprend les espèces suivantes :

- Buxus sempervirens* L.
- Cneorum tricoccum* L.
- Coris monspeliensis* L.
- Dianthus caryophyllus* L.
- Genista pilosa* L.
- Helichysum stoechas* L.
- Hippocrepis comosa* L.
- Lavandula latifolia* Vill.
- Leuzea conifera* D.C. (*Centaurea conifera* L.)
- Plantago coronopus* L.
- Teucrium polium* L.

Caractéristiques écologiques

Ce groupe caractérise les stations à sols argileux (15-40 % d'argile), mais à l'inverse du groupe n° 2, ne supporte pas une proportion d'argile plus forte dans le sol. Il caractérise donc les stations moyennement sèches (l'humidité équivalente varie entre 15 et 23 %).

En plus de leur texture argileuse, ces sols sont toujours pourvus en CO₂Ca dont la proportion peut aller jusqu'à 65 % et en calcaire actif dont la teneur peut atteindre 23 %. Le pH est > 7, et peut atteindre 8,2. La structure est, en général, subanguleuse.

Ce groupe se rencontre sur marne et calcaire marneux. Les sols sont du type brun calcaire et rendzine.

Rapport avec le groupe n° 2.

Ce groupe peut se rencontrer avec le groupe n° 2, mais, dans ce cas, étant donné que le groupe n° 3 ne peut pas supporter une proportion d'argile supérieure à 40 %, alors que le groupe n° 2 le peut, la station indique les conditions écologiques caractéristiques du groupe n° 3.

Liaison entre espèces

Les espèces de ce groupe sont indépendantes entre elles.

Rapport avec les groupements végétaux

Ce groupe se rencontre dans les landes à Romarin et dans les landes boisées de Pin d'Alep.

3.2.4 — Groupe écologique n° 4.

Le groupe se compose des espèces suivantes :

Asplenium adiantum - nigrum L.

Calluna vulgaris Salisb.

Cistus salviaefolius L.

Erica arborea L.

E. cinerea L.

E. scoparia L.

Lavandula stoechas L.

Caractéristiques écologiques

Ce groupe caractérise les sols sableux, acides ou neutres. Mais, dans la majorité des stations où l'on rencontre ce groupe (dans les régions que nous avons étudiées), les horizons inférieurs de ces sols sont argileux et constituent ainsi une réserve hydrique à l'abri de l'évaporation. Ces sols sont dépourvus de calcaire actif et sont du type brun lessivé, lessivé ou lessivé podzolique. L'humus est un Moder ou un Moder évoluant vers un Mor. Une mention spéciale doit être faite pour *Cistus salviaefolius* que nous avons rencontré quelquefois sur des sols à $\text{pH} > 7$ et argileux. Mais, lorsque dans une station déterminée, on le trouve avec une ou plusieurs espèces de ce groupe, il indique des sols acides ou neutres et ayant une teneur en calcaire actif extrêmement faible.

La structure de ces sols est particulière en surface et devient polyédrique en profondeur.

Rapport avec les groupements végétaux

Ce groupe caractérise les landes à *Erica scoparia* et *Lavandula stoechas* (*Ericeto-Lavanduletum stoechidis*, Br. Bl., 1931); c'est un stade avancé de dégradation de la chênaie mixte à chênes verts et

pubescents (*Quercetum ilicis pubescentosum*) et riche en lichens fruticuleux. On le rencontre aussi dans les landes à *Erica arborea* et les landes à *Cistus salviaefolius*.

Rapport avec les groupes écologiques
(voir le groupe n° 5)

Liaison entre espèces

Les espèces de ce groupe sont indépendantes entre elles.

3.2.5 — Groupe écologique n° 5.

Clematis flammula L.
Rosa sempervirens L.
Ruscus aculeatus L.
Viburnum tinus L.

Caractéristiques écologiques

Ce groupe a une écologie spéciale. Il recherche avant tout l'ombre et la fraîcheur et ne se rencontre que dans les bois ombragés. On le trouve sur différents types de sol. Les sols sont bien pourvus en humus et ont une bonne structure en gros grumeaux dans les horizons de surface. Ce groupe caractérise un stade assez avancé de l'évolution de la végétation vers la chênaie de chêne vert (*Quercetum gallo provincialis* Br. Bl.). On le rencontre dans les taillis de chêne vert et les bois de Pin d'Alep à étage de chêne vert.

Rapport avec les groupes écologiques

Ce groupe peut se rencontrer avec le groupe n° 3 et le groupe n° 4. On le trouve très rarement avec le groupe n° 2 et, dans ce cas, ses éléments sont très peu fréquents. On le rencontre avec le groupe n° 1.

Liaison entre les espèces

Les espèces du groupe sont indépendantes entre elles.

N.B.: Ces groupes écologiques caractérisent autant de types de pinèdes. Nous les rappellerons plus loin.

3.3 — *Les espèces ne figurant pas dans les groupes écologiques.*

Les espèces suivantes se sont montrées indifférentes aux facteurs écologiques qui ont servi à la définition des groupes écologiques: *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Q. coccifera*, *Phillyrea angustifolia*,

Juniperus oxycedrus, *Genista scorpius*, *Aphyllanthes monspeliensis*, *Stachelina dubia*, *Brachypodium ramosum*, *Bupleurum rigidum*, *Carex halleriana*, *Fumana coridifolia*, *Rosmarinus officinalis*, *Dorycnium suffruticosum*, *Teucrium chamaedrys*, *Pistacia lentiscus*, *Cistus monspeliensis*, *Daphne gnidium*, *Thymus vulgaris*.

Cependant certaines d'entre elles, comme *Quercus ilex*, *Q. coccifera*, *Brachypodium ramosum*, *Rosmarinus officinalis* ont présenté dans certains relevés une dominance élevée et servent ainsi à caractériser les unités physionomiques; par exemple: taillis de *Quercus ilex*, garrigue de *Q. coccifera*, lande à *Rosmarinus officinalis*, pelouse à *Brachypodium ramosum*. Chacune de ces unités physionomiques peut renfermer un ou plusieurs groupes écologiques comme nous l'avons déjà vu.

4 — Groupes écologiques et régénération naturelle du Pin d'Alep

Nous avons parlé, dans le chapitre deuxième, du comportement des différents types de sols vis-à-vis de la germination du Pin d'Alep. Nous avons montré que les propriétés physiques du sol, en influant sur les mouvements de l'eau dans le sol, et, par conséquent, sur l'économie de cette eau et sa distribution dans le profil, étaient le facteur le plus important dans la réussite ou l'échec de la régénération naturelle de cette essence.

Les groupes écologiques que nous avons définis reflètent assez fidèlement ces propriétés physiques du substratum édaphique et nous permettent par une simple tournée dans la nature, de classer les stations où la régénération naturelle est, facile, difficile ou accidentelle.

Nous allons passer en revue (et d'une façon rapide, parce que nous avons déjà défini les conditions écologiques de chaque groupe) les différents groupes écologiques et montrer leur comportement vis-à-vis de la régénération du Pin d'Alep.

Groupe écologique n° 1

La régénération naturelle est très difficile sur les stations caractérisées par le groupe n° 1. La couche superficielle du sol sur laquelle va germer la graine du Pin d'Alep est dure et très sèche en été, et cette sécheresse augmente au fur et à mesure que l'on avance dans la saison sèche. Mais, comme nous l'avons déjà vu dans l'étude du climat, certaines années, l'été devient une saison humide dans la région méditerranéenne française. Si une succession de 3 ou 4 années à étés humides se produit, la régénération naturelle du Pin d'Alep peut avoir lieu sur ces stations. En effet, pendant les années humides, les jeunes plants auront échappé à la sécheresse

des couches superficielles du sol, pendant leur première phase de développement, et atteint les horizons inférieurs qui sont légèrement humides.

Groupe écologique n° 2

La régénération naturelle du Pin d'Alep est facile sur les stations caractérisées par le groupe n° 2. L'alimentation en eau des jeunes semis pendant la saison sèche est suffisamment assurée pendant les années à répartition saisonnière normale des pluies.

Groupe écologique n° 3

Dans les stations caractérisées par ce groupe, la régénération du Pin d'Alep est également facile et se produit d'une façon régulière.

Groupe écologique n° 4

Ce groupe caractéristique des stations siliceuses est assez favorable à la régénération du Pin d'Alep.

Les jeunes semis y trouvent un milieu édaphique pouvant leur assurer un développement normal, sauf pendant les années excessivement sèches.

En effet, le milieu est filtrant et facilite ainsi la pénétration des eaux de pluies vers les horizons inférieurs. Etant donné leur faible teneur en argile et, par conséquent, leur manque de capillarité, l'eau se trouve en grande partie conservée dans le profil d'autant plus que les sols possèdent des horizons inférieurs plus riches en éléments fins qui stockent l'eau. En outre, les radicules des jeunes plants n'éprouvent pas de difficultés pour traverser la couche superficielle du sol et pour prospecter le maximum de volume, afin de profiter de toute l'eau disponible dans le profil.

Groupe écologique n° 5

Les stations caractérisées par ce groupe sont, en général, à couvert dense, ombragées et fraîches. Les couches superficielles du sol ont une bonne structure et sont assez bien pourvues en humus qui est du type Mull. Le substratum est donc favorable à la germination des graines, mais, étant donné le caractère très héliophile des graines du Pin d'Alep, qui exigent une grande luminosité pour germer, la régénération naturelle du Pin d'Alep ne peut être assurée qu'en pratiquant des coupes dans le taillis, dans le but de donner de la lumière au sol.

Une fois les coupes pratiquées, ces stations deviennent très favorables à la germination des graines de Pin d'Alep et même à leur développement.

CHAPITRE IV

ETUDE DE LA PRODUCTIVITE DES BOIS DE PIN D'ALEP

1 — Recherche d'un critère de station convenable aux bois de Pin d'Alep

I.1 — *Définition de la station.*

Station et groupes écologiques.

La station peut être définie comme une *unité écologique*, c'est-à-dire une surface sur laquelle les conditions du milieu sont homogènes. La station évoque donc l'idée d'un milieu local, dans les caractéristiques duquel entrent, d'une part les conditions d'écologie générale d'une région plus ou moins vaste: climat général, rochemère, par exemple, d'autre part des conditions de milieu strictement limitées dans l'espace: topographie, pente, ombrage ou insolation, conditions de drainage, etc... A la limite, il est possible de définir des « microstations », de l'ordre de quelques mètres carrés sans intérêt pratique, mais d'un grand intérêt théorique (DUCHAUFOR, 1960).

Mais si la notion de station fait avant tout appel aux conditions du milieu: sol, climat local, etc..., il est possible de l'élargir à la végétation qu'elle supporte: il existe, en effet, une liaison étroite entre la station-milieu et la végétation naturelle qui la caractérise; lorsque la station change, la végétation change aussi.

Dans son sens le plus large, la station correspond donc à un ensemble bien défini, comprenant à la fois milieu et végétation caractéristiques. Prise dans cette conception, la définition de la station devient: « *surfaces à conditions écologiques homogènes caractérisées par une même végétation naturelle* ».

Une station déterminée peut être caractérisée par un ou plusieurs groupes écologiques.

1.2 — *Notion de productivité (1) naturelle ou potentielle et productivité artificielle ou actuelle.*

Pour une essence forestière (2) donnée, et sous un climat déterminé, la production ligneuse dépend de deux groupes de facteurs: l'un, naturel ou potentiel, inhérent à la station et l'autre artificiel, dépendant du Forestier, c'est le mode de traitement. Si le milieu intrinsèque de la station n'a pas été modifié par l'homme, nous parlerons de sa *productivité naturelle* ou *potentielle*; dans le cas contraire, nous parlerons de sa *productivité artificielle* ou *actuelle*.

La productivité naturelle n'est pas celle de la forêt vierge, non touchée par l'homme, mais bien la production ligneuse de forêts gérées où cependant les phénomènes vitaux et leur corrélation jouent comme dans la forêt naturelle.

Comme le milieu a été largement modifié par l'homme dans la région méditerranéenne française et que le Pin d'Alep occupe souvent des terrains qui ont été abandonnés par l'agriculture ou des stations caractérisées par des groupements de dégradation, nous parlerons dans cette étude de la productivité artificielle ou actuelle des stations de Pin d'Alep.

L'étude de la productivité actuelle des stations est très utile aux forestiers, tant au point de vue de l'aménagement, de la gestion, du remplacement d'une essence moins productive par une autre plus productive que du point de vue de la biocénose forestière. C'est seulement quand on connaît la fertilité d'une station qu'on peut déterminer l'essence, la révolution et le mode de traitement les plus rémunérateurs.

1.3 — *Recherche d'un critère de productivité actuelle des stations de Pin d'Alep.*

Nous appelons critère de productivité, ou aussi critère de fertilité d'une station, ou, tout simplement, critère de station, certaines caractéristiques intrinsèques de la station ou certaines caractéristiques simples du peuplement qui permettent de déterminer avec une précision suffisante, la productivité de la station.

1.3.1 — *Caractéristiques intrinsèques de la station.*

Beaucoup d'auteurs ont essayé de trouver une corrélation entre la productivité d'une station et certaines de ses caractéristiques édaphiques, pouvant être déterminée facilement par l'analyse du sol.

(1) La *production* est le volume total du produit au moment où l'on considère le peuplement; la *productivité* est caractérisée par le volume produit à un âge de référence, ou par l'accroissement annuel moyen à cet âge.

(2) Espèce, variété ou même race.

a) *Caractéristiques chimiques:*

Certaines études ont été tentées dans différents pays en vue de trouver une corrélation simple entre la fertilité de la station et certaines propriétés chimiques de la roche-mère ou du sol: c'est ainsi que TOUNBERG et SCHOLZ (1949) ont trouvé que le volume moyen des arbres dominants et codominants dans les chênaies du Sud-Ouest du Wisconsin est en relation très étroite avec la somme des bases échangeables du complexe absorbant du sol.

ILVESSALO (1923) a mis en évidence une corrélation entre l'accroissement de l'Épicéa, du Pin sylvestre et du Bouleau des forêts boréales et certaines caractéristiques chimiques des sols, comme la quantité totale de matière organique, d'azote, de potassium et de calcium.

b) *Caractéristiques physiques:*

L'eau étant un facteur important de la production ligneuse, beaucoup d'auteurs se sont attachés à l'étude des caractéristiques physiques des sols dont dépend étroitement l'alimentation en eau des arbres, pour l'étude de la productivité.

COILE a montré, en étudiant les peuplements de *Pinus echinata* et *P. taeda*, de la Caroline du Sud et de l'Alabama, qu'il y avait une corrélation étroite entre l'épaisseur de l'horizon A et l'eau d'imbibition de l'horizon B et l'indice de station. Il donne une formule simple permettant de calculer cet indice en fonction de ces deux facteurs, facilement mesurables sur le terrain:

$$SI_e = 77,32 - \frac{45}{x_1} - 1,00 x_0$$

$$SI_t = 100,04 - \frac{75}{x_1} - 1,39 x_0$$

où SI_e : indice de station de *Pinus echinata*

SI_t : indice de station de *Pinus taeda*

x_1 : épaisseur de l'horizon A

x_0 : l'eau d'imbibition de l'horizon B

VIRO (1947) a montré, en Europe que le pourcentage d'éléments de grosseur supérieur à 20 mm, est le principal facteur limitant, en corrélation négative avec la fertilité des strates du Pin sylvestre.

c) *Types de sols:*

Il est plus difficile de trouver une corrélation entre la productivité et le type de sols, car les critères de la classification des sols

différent suivant les auteurs et aussi, parce que les critères de classification des types de sols ne sont pas obligatoirement des facteurs limitants ou du fait de l'équivalence biologique de types de sols différents.

d) *Valeur de ces méthodes pour notre étude:*

Pour que ces méthodes conviennent à notre travail, il faut consacrer une étude très approfondie des caractéristiques des sols et choisir avec succès les facteurs limitants de la productivité. La profondeur du sol et sa texture sont sûrement des facteurs limitants de la productivité, mais dans beaucoup de stations où nous avons travaillé et, en particulier sur calcaire dur, fissuré, la profondeur du sol est difficilement mesurable, étant donné la présence de fissures parfois très profondes remplies de terre rouge où les racines vont puiser l'eau et les sels minéraux.

1.3.2 — Caractéristiques des peuplements forestiers.

Les méthodes d'études des caractéristiques des peuplements forestiers en vue de l'établissement de critères de fertilité d'une station sont de 2 sortes :

— Les méthodes directes, qui consistent à estimer directement la production en volume du bois. On considère comme critère de fertilité d'une station, soit le volume total produit à un âge donné, soit l'accroissement annuel moyen total à cet âge de référence.

— Les méthodes indirectes, qui consistent à caractériser la fertilité de la station par un critère quelconque, qualitatif ou quantitatif, en relation étroite avec la production en volume.

1.3.2.1 — Méthodes directes

1. *Les classes de productivité.*

L'établissement de classes de fertilité est basé sur l'étude de la croissance en volume de peuplements purs, équiens, et de densité normale dans un certain domaine de croissance.

Cette méthode a été utilisée depuis longtemps par les forestiers (VON BAUR, 1877; CAJANDER, 1926; SCHAEFFER, 1944). Des tables de productivité ont été établies déjà depuis le début du siècle pour les essences forestières principales et sont d'utilisation courante. Généralement, on détermine cinq classes de productivité, numérotées de 1 à 5, la classe 1 étant la meilleure, l'âge de référence, pour lequel on établit le volume total est de cent ans.

Il est inutile d'entrer dans le détail de ces méthodes qui sont devenues maintenant classiques, et dont le développement nous entraî-

nerait trop loin, d'autant plus qu'elles sont longues et difficilement applicables, dans le Midi de la France, aux forêts de Pin d'Alep, jardinées et de densité irrégulière.

La méthode initiale, décrite par VON BAUR en 1877, a été progressivement améliorée et utilisée dans beaucoup de pays.

2. *Accroissement en volume.*

L'accroissement en volume d'un peuplement équien peut servir de critère de station. En effet, l'accroissement annuel moyen total en volume (volume du matériel sur pied et volume prélevé en éclaircies) est en relation avec le volume total produit (PHILIPP, 1931).

Cette méthode présente les mêmes inconvénients pour notre travail que la précédente.

1.3.2.2 — Méthodes indirectes

1. *Diamètre des arbres.*

— Diamètre moyen du peuplement principal: Ce critère ne dépend pas seulement de la fertilité de la station, mais aussi et dans une grande mesure, du mode de traitement; le diamètre est largement influencé par la densité du peuplement qui règle la quantité de lumière mise à la disposition des cimes des arbres.

— Accroissement en diamètre: Ce critère est largement influencé par le traitement et en particulier par l'éclaircie.

2. *Densité du peuplement.*

La densité du peuplement est fortement influencée par le mode de traitement et ne peut donc pas être utilisée comme critère de station.

3. *Surface terrière.*

Les surfaces terrières du peuplement principal, de même que l'accroissement en surface terrière, sont influencés par le mode de traitement et doivent être écartés.

Le volume du peuplement principal et le taux d'accroissement en volume sont à écarter aussi, car ils dépendent beaucoup du traitement.

4. *La hauteur des arbres.*

— Nous avons vu plus haut qu'il existe une liaison étroite entre la fertilité d'une station — définie par les caractéristiques écologiques — et sa capacité de production ligneuse. En outre, il existe une relation simple et unique entre la hauteur d'un peuplement équien et la production en volume, indépendante du mode de traitement, et, en première approximation, de la qualité de la station et de l'âge des arbres: des arbres ayant atteint la même hauteur

dans des stations de toutes fertilités, ont produit sensiblement le même volume de matière igneuse (*in* DAGNELIE, 1956).

Cette constatation a été vérifiée par de nombreux auteurs.

Connaissant la hauteur d'un peuplement, il est donc possible d'en estimer la production. Si, en outre, on possède quelques renseignements sur son âge, on peut chiffrer la productivité de la station.

En utilisant la hauteur du peuplement forestier comme critère de station, on suppose donc que la croissance en hauteur est pratiquement indépendante du mode de traitement. Cette supposition a été vérifiée à maintes reprises par plusieurs Stations de Recherches Forestières et par plusieurs chercheurs (DELEVOY, 1949; FLURY, 1903; DIETRICH, 1924, 1925).

Cependant, certains auteurs ont démontré que les éclaircies d'intensité extrême (nulle ou très forte) pourraient causer des différences de hauteur, toutes autres conditions étant égales (BADOUX, 1939; GAISER et MERZ, 1951).

En conclusion, il est maintenant admis et il nous semble raisonnable, d'admettre que *les différences de hauteurs dues à des différences de traitement sont faibles, pour des arbres âgés, croissant en peuplements fermés et éclaircies sans excès*. Dans ces conditions, *la hauteur du peuplement constitue un critère de station*.

C'est ce critère que nous avons utilisé pour l'étude des bois de Pin d'Alep.

Il s'agit maintenant de trouver une méthode de précision suffisante qui nous permettrait de calculer la hauteur moyenne d'un peuplement forestier. Plusieurs méthodes ont été utilisées, par différents auteurs et dans des pays variés; nous pouvons les grouper en deux méthodes fondamentales:

4.1. La hauteur totale moyenne des arbres dominants et codominants, critère de la fertilité d'une station.

Cette méthode a été largement employée par les Forestiers américains comme critère de station. Elle consiste à négliger les tiges dominées et à les écarter dans le calcul du critère de fertilité et à ne considérer que les arbres dominants et codominants. Elle est connue sous le nom de « Site index » (indice de station). Elle a été conçue aux Etats-Unis d'Amérique (FROTHINGHAM, 1918, 1921; ROTH, 1918; WATSON, 1917).

Les auteurs américains définissent cet indice comme étant la moyenne arithmétique de la hauteur totale des arbres dominants et codominants, à un âge de référence qui est de cinquante ans pour les résineux à croissance rapide, et de cent ans pour les feuillus. Les dominants et les codominants ont été définis par un comité de la Société des Forestiers américains (*Society of American Foresters*, 1917; CHAPMAN and MEYER, 1949, etc...).

Certains auteurs considèrent, comme indice de station, uniquement la hauteur moyenne des arbres dominants.

DAGNELIE (1956), dans son étude sur les hêtraies d'Ardenne, utilise une méthode dérivée de l'indice de station. Au lieu d'estimer la hauteur moyenne des dominants et codominants, il estime la hauteur moyenne d'un certain nombre des plus gros arbres en effectuant dix mensurations par station. Les mensurations portent sur cinq arbres, dont la hauteur est mesurée deux fois, afin de rechercher une estimation précise des erreurs de mesure.

Dans notre étude sur les bois de Pin d'Alep, cette méthode est difficilement applicable pour les raisons suivantes :

— Ces bois sont très mal connus et sont très peu étudiés.

— Nous ne savons pas dans quelle mesure la définition des arbres dominants et codominants, définie pour d'autres essences et sous des climats différents peut être appliquée pour le Pin d'Alep.

— L'estimation de la hauteur moyenne, des dominants et codominants nécessiterait un dénombrement exact et complet de ces arbres et le prélèvement parmi eux d'un échantillon représentatif, ce qui rendrait la tâche difficile et très longue.

4.2. La hauteur totale moyenne du peuplement est un critère de fertilité de station.

Nous trouvons dans la littérature forestière plusieurs définitions de la hauteur moyenne du peuplement forestier. Nous y avons choisi les plus intéressantes :

a) *Moyenne pondérée par la surface terrière (1) de Leroy.*

La hauteur moyenne est donnée par la formule suivante :

$$H_m = \frac{g_1 h_1 + g_2 h_2 + \dots + g_n h_n}{g_1 + g_2 + \dots + g_n} = \frac{\sum g_i h_i}{\sum g_i}$$

où h_1, h_2, h_n = hauteurs des différents arbres

g_1, g_2, g_n = les surfaces terrières correspondantes.

Cette méthode est longue, et nécessite un inventaire complet en hauteur et en diamètre et, de ce fait, difficile à appliquer pour les forêts de Pin d'Alep.

b) *La moyenne arithmétique des hauteurs de tous les arbres.*

Cette méthode donne des résultats satisfaisants et suffisamment précis pour des peuplements équiens, d'origine naturelle et de

(1) La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de cet arbre à hauteur d'homme.

densité normale. Elle prend en considération la hauteur de tous les arbres de la futaie équiennne. Elle est facile à appliquer et convient aux forêts équiennes des peuplements de Pin d'Alep d'origine naturelle.

C'est cette méthode que nous avons suivie dans notre étude. Nous avons fait, dans chaque station, vingt mensurations pour dix arbres choisis sans idée préconçue et dont nous avons mesuré la hauteur deux fois, afin d'avoir une estimation suffisamment précise des erreurs de mesure. Autant que possible, nous avons évité de mesurer des arbres de mauvaise conformation, trop difficiles à mesurer avec précision. Les mesures de hauteurs ont été effectuées au dendromètre BLUME-LEISS.

Une méthode analogue a été utilisée par DUCHAUFOUR, PARDÉ, DEBAZAC et JACAMON dans la forêt du Ban d'Etival (Vosges).

4.3. Autres méthodes.

Plusieurs méthodes dérivées des méthodes précédentes ont été utilisées par différents auteurs (WIEDEMANN, 1936; BADOUX, 1939; PRODAN, 1951; FOGGIE, 1944; DELEVOY, 1945).

La validité de ces méthodes est souvent parfaitement démontrée, mais aucune d'entre elles n'a été utilisée dans un grand nombre de cas.

2 — Description sommaire de la méthode de travail

2.1 — *Choix des stations.*

Dans le choix des stations, nous avons été conduit par les critères suivants :

- Peuplement équienn en futaie régulière.
- Peuplement mûr, ayant 70-80 ans, car à cet âge le Pin d'Alep arrive à maturité (PARDÉ, 1957).
- Peuplement ayant une densité normale.
- Peuplement ayant un nombre suffisant de bois relativement bien conformés et se développant localement dans des conditions écologiques homogènes (homogénéité de la végétation, de la hauteur et de la grosseur des arbres).

Nous n'avons donc pas suivi une méthode d'échantillonnage strictement objective, car pour appliquer ce mode d'échantillonnage à notre étude, il aurait fallu localiser un très grand nombre de stations parmi lesquelles on eût éliminé toutes celles ne répondant pas aux critères énumérés ci-dessus ; en outre, la définition exacte de ces critères et leur vérification sur le terrain auraient nécessité des opérations longues et difficiles.

Pour toutes ces raisons, nous avons préféré choisir nos stations d'une manière subjective. Mais il est important de signaler que, même si l'échantillonnage est subjectif et dirigé, il est bien difficile de le diriger complètement et de tenir compte dans le choix des stations de tous les critères que nous nous sommes fixés.

2.2 — *Choix et mesure de la hauteur des arbres.*

Les arbres à mesurer ont été choisis sans idées préconçues dans la futaie. Dans chaque station, nous avons mesuré dix arbres, en effectuant pour chaque arbre deux mensurations afin d'en prendre la moyenne. Autant que possible, nous avons évité de mesurer des arbres de mauvaise conformation trop difficiles à mesurer avec précision.

Nous avons effectué la mesure des hauteurs au dendromètre BLUME-LEISS. C'est un appareil pratique, léger, et de précision suffisante. En effet, les erreurs commises dans les évaluations sont minimales (plus ou moins 1 %) si l'on se place à une distance voisine de la hauteur de l'arbre; l'erreur relative sur la distance est de 1 % et l'erreur relative sur l'angle d'inclinaison (erreur de pointage de l'appareil) est aussi très faible, on la diminue en recommençant la mesure.

2.3 — *Etude de la végétation et du sol.*

Dans chaque station, nous avons effectué un relevé phytosociologique complet d'après la méthode élaborée par le *Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier*.

2.4 — *Calcul de la productivité des stations.*

En se basant sur les chiffres (hauteur, diamètre, volume) récoltés depuis plus d'un quart de siècle par la Station de Recherches et Expériences Forestières de Nancy dans les parcelles d'expérimentation à Géménos (20 km à l'Est de Marseille), PARDÉ (1957) a mis au point une table de production pour les peuplements de Pin d'Alep en posant les principes suivants:

1 — Le type d'éclaircie à adopter est l'éclaircie forte, telle qu'elle a été pratiquée par la Station de Recherches et Expériences Forestières à Géménos (places du Jas de Capellan et du Brigou).

2 — Les éclaircies se suivront à une rotation de 15 ans.

L'intérêt de cette table n'est pas de déterminer avec précision les caractéristiques d'un peuplement de Pin d'Alep à un âge donné,

mais de donner des ordres de grandeur suffisamment approchés en estimations courantes.

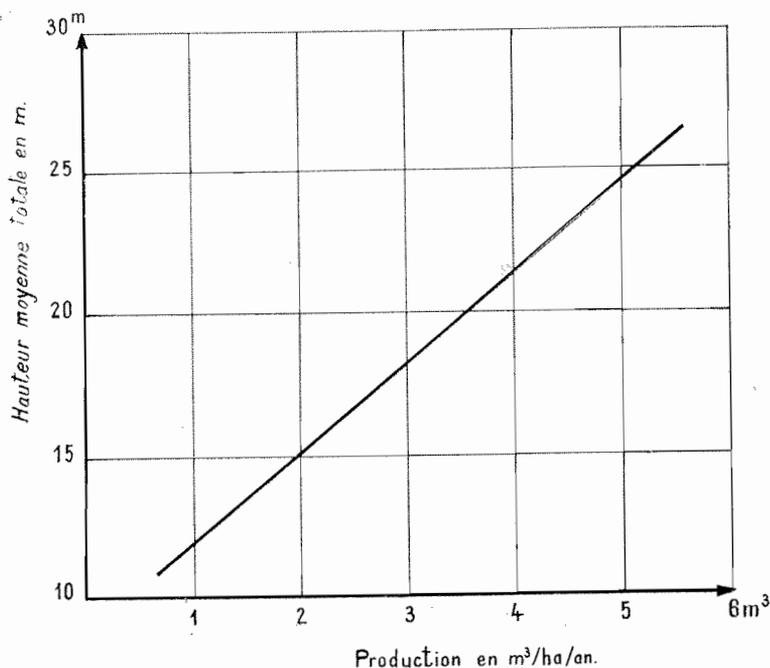
Il y distingue les 3 classes de fertilité suivantes :

	Hauteur moyenne totale des arbres en m.	Production en bois fort depuis l'origine en m ³ /ha/an
1 ^{re} classe de fertilité. ..	21	4,0
2 ^e classe de fertilité ..	18	3,0
3 ^e classe de fertilité ..	14	1,5

La table de production a permis d'établir la relation entre la hauteur des arbres à 70-80 ans et la production par ha et par an, qui est traduite dans le graphique n° 1.

GRAPHIQUE n° 1.

Production en bois fort du Pin d'Alep par ha et par an
à l'âge moyen de 75 ans en fonction des hauteurs totales moyennes.



(D'après PARDÉ, 1957)

Nous nous sommes référés à ce graphique pour calculer la productivité des stations en partant de la hauteur totale moyenne à 70-80 ans et établir les classes de fertilité.

Nous avons distingué 5 classes de fertilité ayant les caractéristiques suivantes :

Classe de fertilité	Hauteur moyenne totale à 70-80 ans en m.	Production en bois fort depuis l'origine en m ³ /ha/an
Classe exceptionnelle .	24	4,7 - 5
Classe I	21	4,00
Classe II	18	3,00
Classe III	14	1,50
Classe IV	≤ 12	≤ 1

Table de production pour le Pin d'Alep en France
(D'après PARDÉ, 1957)

Classe de fertilité	1	2				3
Age (ans)	75	30(29)	45-(45)	60(61)	75(77)	75
Peuplement restant sur pied:						
Nombre de tiges par ha	—	500	340	240	170	—
Hauteur moyenne en m	21	12,80	15,00	16,70	18,00	14
Circonférence moyenne en cm .	—	58	77	96	116	—
Surface terrière en m ²	—	13,35	16,04	17,60	18,20	—
Volume du bois fort en m ³ ..	200	72	105	123	155(160)	80
Eclaircies:						
Nombre de tiges	—	200	160	100	—	—
Volume bois fort en m ³	—	15	25	30	—	—
Production cumulée	300	87	145	193	225(230)	112
Accroissement courant annuel en bois fort m ³ /ha/an	—	3,87	3,20	2,10	—	—
Production en bois fort depuis l'origine m ³ /ha/an	4,0	2,9	3,2	3,2	3,0	1,5

3 — Relation entre critère de station et groupes écologiques

Nous avons très peu de relevés dans la classe de fertilité exceptionnelle. Pour cela, il ne nous a pas été possible d'établir une corrélation entre les groupes écologiques et cette classe de fertilité.

Emplacements et caractéristiques des relevés
ayant servi à l'étude de la productivité

Localité	Lat. coorodonnées	Long. coorodonnées	Altitude en m	Age	hauteur moyenne totale en m	hauteur moyenne totale admise à 70-80 ans en m.
Cadenet (Vaucluse)	163	848,05	225	80	24,25	24,25
Cadenet (Vaucluse)	163	848	225	80	24,25	21,10
Viviers (Hérault)	153,7	725,8	95	90	19,98	19,00
Montmaur (Hérault)	150,5	723,7	50	75	18,30	18,30
Géménos (B. du R.)	115,8	867,8	210	75	17,07	17,07
Géménos (B. du R.)	Placette No. 1 (Brigou)		215	75	18,68	18,68
Bastide des Jourdans	171,5	865,70	500	50	15,5	16,5
Montmaur (Hérault)	150,42	723,6	65	75	17,4	17,4
Montmaur (Hérault)	150,42	723,8	55	65	13,7	14,00
La Devèze (Hérault)	157,4	742,6	45	67	14,23	14,5
La Devèze (Hérault)	157,3	742,6	48	65	14,00	14,30
La Roque (Hérault)	166,3	725,6	114	65	14,3	14,5
La Roque (Hérault)	166,1	725,6	100	67	15,2	15,4
Clapier (Hérault)	152,1	725,4	70	65	16,3	16,5
Merindol (Vaucluse) (arbres gemmés)	164,9	831,2	141	75	15,8	16,00
Fontanès (Hérault)	167,1	625,5	129	60	12,1	13,00
Bois de la Valette (Hérault)	151,5	724,5	50	75	13,85	13,85
Source du Lez (Hérault)	159,2	721,2	110	62	10,60	11,5

Nous avons groupé les classes de fertilité I et II, et remarqué qu'il y avait une corrélation entre certains groupes écologiques et les stations de Pin d'Alep portant des peuplements ayant une hauteur totale moyenne égale ou supérieure à 18 m.

Le tableau suivant résume cette corrélation entre classes de fertilité et groupes écologiques :

Classe de fertilité	hauteur moyenne totale en m	Groupes écologiques caractéristiques
1 et 2	18	gr. 5 présent, et ses éléments ont une fréquence élevée avec : gr. 3: sur station calcaire ou gr. 4: sur station siliceuse
3	14	gr. 3, seul, ou avec le gr. 5 qui peut être représenté, mais la fréquence de ses éléments est très faible.
4	12	gr. 1 et 2; le gr. 5 est toujours absent.

CHAPITRE V

SYLVICULTURE DU PIN D'ALEP

1 — Méthode de traitement

1.1 — *Choix de la méthode de traitement.*

La méthode de traitement qui convient le plus au Pin d'Alep en France est le *jardinage* par « bouquets » ou par « trouées » et ceci pour les raisons suivantes :

— Le Pin d'Alep est une essence thermophile et se trouve en France dans la partie la plus froide de son aire géographique. *Le traitement en futaie jardinée* par « bouquets » s'adapte parfaitement à son tempérament et aux conditions dans lesquelles il se trouve, en permettant de mieux ensoleiller les sujets, en particulier dans les stations septentrionales où (*m*) est assez bas. *Le jardinage par pied d'arbre* et la futaie régulière ne permettent pas d'apporter un éclaircissement suffisant doivent être écartés.

— Les peuplements de Pin d'Alep proviennent en majorité d'enrésinement de taillis de chêne vert, de landes, etc... Ils sont, par conséquent, de faibles étendues et irréguliers. Très souvent on trouve des petits bouquets de Pin d'Alep disséminés dans un taillis de chêne vert et assez espacés les uns des autres. Le traitement de ces taillis enrésinés en futaie jardinée par bouquet convient parfaitement bien à cet état de chose et permet la création progressive d'autres bouquets de Pin d'Alep dans le taillis, lors de l'exploitation de ce dernier.

— La régénération naturelle du Pin d'Alep est assez irrégulière. Cela tient à plusieurs causes : les semences sont rarement abondantes, les insectes et les petits rongeurs en détruisent beaucoup ; enfin, les conditions climatiques et édaphiques ne sont pas toujours favorables à la germination des semences et à la survie des jeunes plants.

— Les peuplements de Pin d'Alep sont très sensibles à l'incendie. Le traitement en futaie jardinée par bouquets permet à ces peuplements de mieux résister aux incendies. En effet, les peuplements réguliers subissent des dommages beaucoup plus considérables que les peuplements jardinés en cas d'incendies parce que des classes d'âge entières, notamment les plus jeunes, risquent de disparaître entièrement, entraînant ainsi une rupture d'équilibre dans la forêt. Dans les peuplements jardinés, il n'y a pas de rupture d'équilibre; en cas de destruction partielle de la forêt, les parties rescapées restent identiques à la forêt elle-même et le traitement peut continuer à s'appliquer, quitte à réduire l'importance des coupes.

I.2 — *Dimension des trouées ou des bouquets.*

Le dimension des bouquets ne doit pas être trop grande, de l'ordre de quelques ares seulement. Evidemment, elle varie avec l'exposition, la nature du taillis, la nature du sol, mais il faut toujours être prudent dans le choix de cette dimension, afin de ne pas trop découvrir le sol et d'introduire un fourré de morts-bois à la place des semis de Pin d'Alep.

Il est toujours utile d'observer ce qui se passe dans les trouées naturelles dans chaque forêt; c'est peut-être la meilleure leçon pour le forestier.

On peut commencer les trouées quand le Pin d'Alep a atteint l'âge de 18-20 ans environ.

Avec le jardinage par bouquets, on obtient un damier de petits peuplements d'âges différents et à l'intérieur desquels on peut garder les arbres très serrés — ce qui favorise l'élagage naturel et permet d'obtenir des fûts droits — et où il est plus facile de pratiquer les coupes d'amélioration nécessaires.

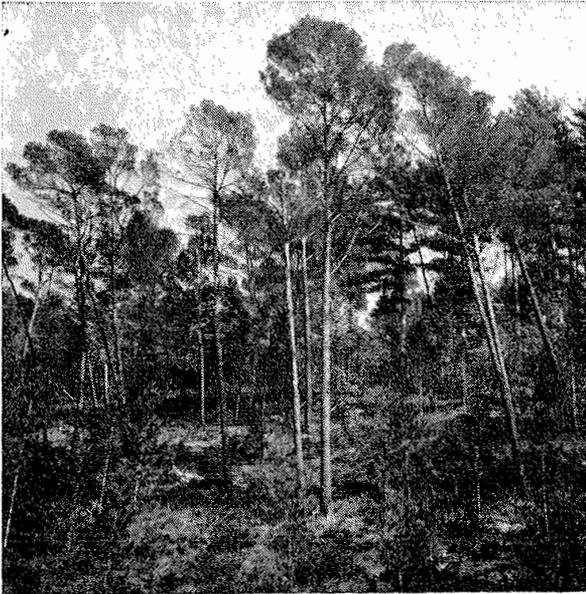
2 — **Peuplement à un ou à deux étages**

Nous avons vu dans ce qui précède que les boisements de Pin d'Alep en France ne représentent pas, dans la majorité des cas, une végétation-climax, mais plutôt un stade facultatif d'évolution de la végétation secondaire vers le climax, qui est la chênaie à chêne vert (*Quercetum gallo-provincialis* Br. Bl.). Il y a aussi le cas spécial de l'installation de Pin d'Alep, dans l'*Oléo-lentiscetum*. Le Pin d'Alep, en s'installant dans des groupements secondaires de dégradation, favorise, à la longue, l'évolution de la végétation vers le climax.

Nous avons constaté cette évolution dans un certain nombre de vieux boisements de Pin d'Alep. Dans ceux-ci, le chêne vert et les espèces caractéristiques de la chênaie (*Viburnum tinus*, *Ruscus aculeatus*, *Rosa sempervirens*) constituent un sous-étage plus ou moins dense suivant l'ancienneté du boisement.



Bois de Pin d'Alep sur Calcaire Urgonien.
(La Gardiole, B.-du-R.)



Bois de Pin d'Alep (Cadenet, Vaucluse)



Bois de Pin d'Alep en régénération.
(Fontfroide, Hérault)



Bouquet de Pin d'Alep
au milieu d'un taillis de Chênes vert et pubescent.
(Perthuis, Vaucluse)

Donc, le traitement idéal des boisements de Pin d'Alep en France doit consister à créer un peuplement à 2 étages : un étage dominant de Pin d'Alep qui sera traité en futaie claire et un sous-étage de feuillus, formé essentiellement de Chêne vert, *Philaria*, etc... Nous aurons ainsi une futaie claire de Pin sur taillis de chêne vert.

Dans les boisements de Pin d'Alep, où le sous-étage de chêne vert n'existe pas encore, ou n'est pas important, on aura intérêt à le favoriser par tous les moyens.

Ces peuplements à deux étages présentent un certain nombre d'avantages sur les peuplements de Pin d'Alep à un seul étage :

— Comme la chênaie à chêne vert représente la végétation climacique, son maintien en sous-étage assure une stabilité dans l'équilibre végétation-milieu, donc assure l'avenir biologique des stations ; la futaie claire de Pin d'Alep assure l'avenir économique des boisements, étant donné que le chêne vert ne présente pas actuellement beaucoup d'intérêt commercial.

Ainsi, nous assurons l'avenir biologique et l'avenir commercial des boisements de Pin d'Alep.

— Le maintien d'un sous-étage de chêne vert assure une amélioration continue de la fertilité des stations et augmente ainsi leur productivité en Pin d'Alep. Avec l'amélioration de la structure du sol à la suite de l'enrichissement du sol en humus et l'augmentation des réserves d'eau du sol, la régénération naturelle du Pin d'Alep se trouve assurée et facilitée même sur *terra rossa*.

Cette solution a été adoptée par les Forestiers italiens dans les Pinèdes des environs de Livourne et de Pise (forêt de Migliorino).

Nous avons également préconisé cette solution pour certains peuplements de Pin brutia en Syrie (NAHAL, 1962). Le Conservateur MAURY (1960) l'a préconisée aussi pour la forêt communale de Faucon (Vaucluse).

3 — Choix de la révolution et des rotations des coupes

3.1 — Sous-étage.

Pour que le sous-étage de chêne vert soit efficace, il ne faut pas l'exploiter à des intervalles trop courts pour ne pas découvrir trop souvent le sol. Une rotation moyenne de 32 ans peut être retenue et paraît être convenable. La régénération du Pin d'Alep pourra se faire à l'occasion des coupes de taillis.

3.2 — *La futaie.*

Le Pin d'Alep croît normalement jusqu'à l'âge de 80 ans. Après cet âge, sa croissance et sa fertilité diminuent.

On n'a donc pas intérêt à laisser les peuplements de Pin d'Alep dépasser cet âge. En outre, à cet âge il atteint en moyenne une dimension de 1,10 à 1,20 m de circonférence à hauteur d'homme, dimension optimale des grumes de Pin d'Alep pour l'usage courant, surtout en caisserie.

Les coupes d'éclaircie peuvent être assises à la rotation de 16 ans. Cette rotation convient bien pour la pratique du gemmage.

4 — Intensité des éclaircies

La dimension d'exploitabilité du Pin d'Alep la plus intéressante qui convient parfaitement à la caisserie est de 110-120 cm de circonférence. L'obtention plus ou moins rapide de cette dimension dépend de la densité des peuplements, donc de l'intensité des éclaircies. Pour atteindre cette dimension à 70-80 ans, il a été démontré (PARDÉ, 1957) à Géménos qu'il faut pratiquer des éclaircies fortes, afin d'avoir 190 tiges à l'ha à 70 ans et 150 à 80 ans.

Le graphique suivant donne la progression du nombre de tiges à l'ha en fonction des âges pour les placettes d'expériences de Géménos. Les deux courbes traduisent le cas des éclaircies faibles d'une part et celui des éclaircies fortes d'autre part. Dans es peuplements à éclaircies fortes, le nombre de tiges à l'ha souhaitable est approximativement le suivant :

à 20 ans	700 tiges à l'ha
30 ans	500 —
40 ans	390 —
50 ans	310 —
60 ans	240 —
70 ans	190 —
80 ans	150 —

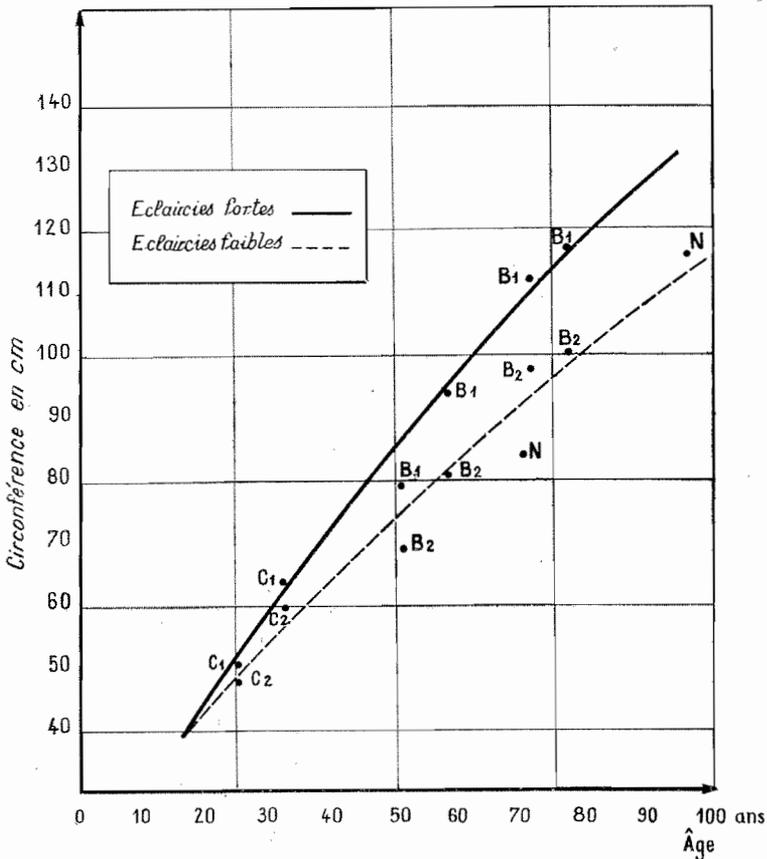
Ces chiffres sont valables pour les peuplements de classe de fertilité II. Pour les peuplements des Classes III et IV, il faut, à notre avis des chiffres moins forts, étant donné la pauvreté des stations et leur sécheresse accrue.

On peut descendre, dans ces classes jusqu'à 300 tiges à l'ha à 30 ans pour arriver à 100-120 tiges à l'ha à 80 ans.

Pour la classe I, on peut admettre 700 tiges à l'ha à 30 ans et 180-200 tiges à l'ha à 85 ans.

GRAPHIQUE n° 2.

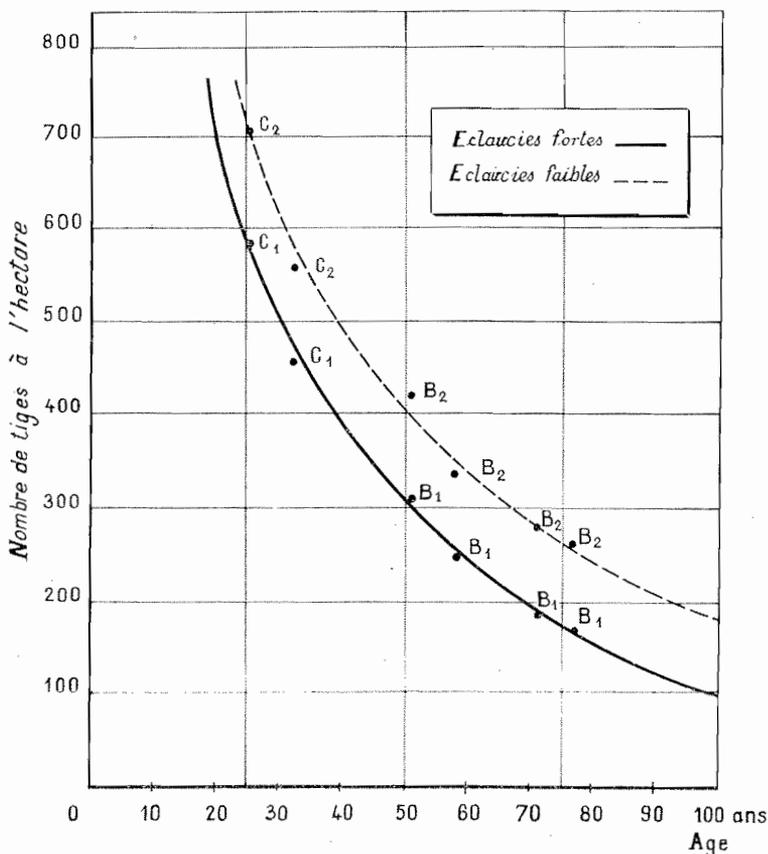
Circonférence à 1,30 m de l'arbre moyen
en fonction de l'âge et du type d'éclaircie à Géménos.



(J. PARDÉ, 1957)

GRAPHIQUE n° 3.

Nombre de tiges des peuplements sur pied
en fonction de l'âge et du type d'éclaircie à Géménos.



(J. PARDÉ, 1957)

5 — Tarifs de cubage

PARDÉ (1957) a montré que les *tarifs lents* (n° 3 à 6) de SCHAEFFER conviennent au Pin d'Alep et cadrent parfaitement bien avec les tarifs particuliers à chaque peuplement, établis grâce aux nombreux cubages d'arbres abattus ou sur pieds effectués dans les pla-

cettes d'expériences de la Station de Recherches Forestières à Gé-ménos (voir tableau).

Circ. à 1 m.30	Jas de capel- lan à 32 ans	Schaef. n° 3	Le Brigou n° 2 à 71 ans	Schaef. n° 4	Le Brigou n° 1 à 71 ans	Schaef. n° 5	Théâtre de la nature à 96 ans	Schaef. n° 6
40 cm.	0,062	0,06	0,050	0,07	-	-	-	-
50	0,107	0,11	0,108	0,12	0,11	0,12	0,13	0,13
60	0,164	0,20	0,180	0,20	0,187	0,20	0,21	0,20
70	0,240	0,20	0,265	0,30	0,275	0,30	0,31	0,30
80	0,330	0,30	0,363	0,30	0,376	0,40	0,42	0,40
90	0,430	0,40	0,474	0,50	0,490	0,50	0,54	0,50
100	0,560	0,50	0,599	0,60	0,618	0,60	0,68	0,70
110			0,734	0,70	0,759	0,80	0,84	0,80
120			0,884	0,80	0,914	0,90	1,014	1,00
130			1,047	1,00	1,083	1,10	1,20	1,20
140			1,223	1,20	1,264	1,30	1,40	1,40
150					1,460	1,50	1,62	1,60
160					1,668	1,70	1,85	1,80

RESUME - CONCLUSIONS

Dans ce travail, nous avons exposé les résultats de nos recherches sur le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du point de vue taxonomique, phytogéographique, écologique et forestier.

La première partie du mémoire est consacrée à une révision taxonomique des Pins méditerranéens du groupe *halepensis*, en invoquant, en plus des caractères morphologiques et anatomiques classiques, ceux tirés de la biochimie, de la biogéographie, de l'écologie, de la palynologie et de la paléontologie, moins souvent évoqués ou négligés.

Il se dégage de cette étude un certain nombre de conclusions qu'il est possible de résumer en trois points :

1) *Pinus halepensis* Mill. est une espèce distincte de *Pinus brutia* Ten. D'après l'étude des pollens des Pins d'Alep d'origines géographiques différentes, il est permis de distinguer, à ce jour, trois formes de cette espèce :

— la forme occidentale, répandue en Europe occidentale, notamment en France.

— la forme orientale, installée au Moyen-Orient.

— la forme Nord-africaine, localisée en Afrique du Nord.

2) *Pinus brutia* Ten. est une espèce aussi complexe que le Pin d'Alep. *Pinus eldarica*, *P. pithyusa* et *P. stankeviczii* lui sont rat-

tachés au titre de *sous-espèces*. On pourrait donc appeler le Pin décrit par TENORE, qui est le type de l'espèce, *Pinus brutia* ssp. *brutia*.

3) La paléogéographie de *Pinus halepensis* montre que ce Pin a, en gros, une origine Nord-méditerranéenne. A la faveur des glaciations, il a pu conquérir l'Afrique du Nord où il a pris une grande extension: depuis la désertification postglaciaire, son aire s'est réduite aux dimensions actuelles.

Cette première partie se termine par une étude des caractères forestiers et dendrologiques du Pin d'Alep.

Dans la *deuxième* partie, nous avons défini, par la méthode du *quotient pluviothermique*, mis au point par EMBERGER, le bioclimat du Pin d'Alep et montré que cette essence est une espèce des climats méditerranéens semi-aride et subhumide, passant même, d'un côté, au climat méditerranéen humide et, de l'autre, au climat méditerranéen aride. Cependant les peuplements sous climat méditerranéen humide sont artificiels, installés à la faveur de la destruction de la végétation originelle, laquelle a engendré des conditions locales plus xériques que le climat général. Malgré cela, le Pin d'Alep est assez plastique, ce qui est également bien montré par les diverses moyennes des minima du mois le plus froid, sous lesquels on le rencontre. Il reste néanmoins principalement une essence du climat méditerranéen semi-aride, et surtout de la forme moyenne de ce climat. C'est ici qu'il se développe avec le plus de vitalité et qu'il concurrence avec le plus d'efficacité les autres essences, telles le Chêne vert, essences qui, sous des climats plus humides, contiennent le Pin en des localisations plus ou moins étroites. Sa grande extension actuelle sous des climats plus humides que son climat optimum ne doit donc pas nous égarer dans l'appréciation de son « tempérament », car elle est due à l'homme.

L'analyse des divers bioclimats de l'aire occupée par les peuplements de Pin d'Alep de tout le bassin méditerranéen ayant été faite, nous en tirons une méthode de classification écologique des pinèdes.

Dans la *troisième* partie, nous avons étudié spécialement le Pin d'Alep en France du point de vue auto-écologique, synécologique et sylvicole.

Tous les peuplements d'une certaine importance sont étudiés.

Le problème, si controversé, de la spontanéité du Pin d'Alep dans certaines régions du Midi de la France, est discuté. Nous avons pu ajouter, à ce dossier, une documentation nouvelle, d'origine historique qui, à notre avis, prouve d'une manière indiscutable, la spontanéité du Pin dans le Languedoc.

L'étude du bioclimat faite dans la partie précédente conduit à classer les pinèdes françaises dans l'ensemble méditerranéen. Nous distinguons trois catégories :

- les pinèdes humides,
- les pinèdes subhumides,
- les pinèdes semi-arides.

Il n'y a pas, en France, de pinèdes arides, la forme de climat méditerranéen correspondante étant absente.

Par ailleurs, si, en France, ce sont les pinèdes subhumides qui sont les plus nombreuses, c'est parce que la France méditerranéenne est surtout un pays à climat méditerranéen subhumide.

Les divers types de pinèdes sont étudiés. Leur écologie se traduit dans une différenciation floristique des divers peuplements.

L'étude des facteurs édaphiques montre que le Pin d'Alep croît sur des sols très variés : rendzines, bruns calcaires, rouges méditerranéens, lessivés et lessivés podzoliques. Cependant, sa régénération naturelle est fortement influencée par les caractères physiques des sols ; elle est difficile sur sols « lourds », qui sont très secs en été, et facile sur les sols « francs » et « légers », qui peuvent assurer l'alimentation en eau des jeunes semis pendant la saison estivale, sèche et chaude.

L'étude synécologique comportant l'analyse floristique et statistique de la végétation et celle des facteurs écologiques a été faite suivant les méthodes mises au point par le *Centre d'études phytosociologiques et écologiques* (C.E.P.E.). Ces recherches nous ont conduit à la mise en évidence de 5 groupes écologiques floristiquement, statistiquement et écologiquement définis. La texture des sols, le pH et le couvert des diverses strates des pinèdes jouent un rôle écologique important. Il existe une corrélation entre ces groupes écologiques et la régénération naturelle et la productivité des diverses stations qu'occupe le Pin d'Alep.

La méthode, encore peu répandue, a été décrite ; nous avons pensé rendre service en ce faisant.

Les 5 groupes écologiques dégagés sont les suivants :

- groupe I : *Asphodelus cerasifer*, *Convolvulus cantabrica*,
Phlomis lychnitis et *Sedum nicaeense*.

Caractéristiques écologiques :

sols lourds à 45-60 % d'argile, tassés, de mauvaise structure, humidité équivalente très élevée (25-36 %), très secs en été, décalcifiés, végétation très dégradée et ouverte. pH entre 7 et 7,7.

- groupe 2: *Bromus erectus*, *Eryngium campestre*, *Festuca ovina* ssp. *duriuscula*, *Ononis minutissima* et *Psoralea bituminosa*.

Caractéristiques écologiques:

sols argileux à 15-40 % d'argile (ce groupe peut supporter une proportion d'argile supérieure à 40 %), de structure polyédrique anguleuse ou subanguleuse, secs en été; couvert léger. pH toujours supérieur à 7. Présence de calcaire actif.

- groupe 3: *Buxus sempervirens*, *Cneorum tricoccum*, *Coris monegasca*, *Dianthus caryophyllus*, *Genista pilosa*, *Helichrysum stoechas*, *Hippocrepis comosa*, *Lavandula latifolia*, *Leuzea conifera*, *Plantago coronopus* et *Teucrium polium*.

Caractéristiques écologiques:

sols argileux à 15-40 % d'argile seulement, humidité équivalente entre 15-23 %, calcaire actif présent et pouvant atteindre 25 %, pH entre 7 et 8, structure subanguleuse.

- groupe 4: *Asplenium adiatum nigrum*, *Calluna vulgaris*, *Cistus salviaefolius*, *Erica arborea*, *E. cinerea*, *E. scoparia* et *Lavandula stoechas*.

Caractéristiques écologiques:

sols sableux acides ou neutres, humus du type moder, structure particulière, humidité équivalente entre 5-14 %; ces sols sont relativement humides en été.

- groupe 5: *Clematis flammula*, *Rosa sempervirens*, *Ruscus aculeatus*, *Viburnum tinus*.

Caractéristiques écologiques:

indifférent à la nature du sol et recherche surtout les endroits ombragés; sols bien pourvus en humus et ayant une bonne structure en gros grumeaux.

- N.B. — *A chacun de ces groupes distingués correspond un type de Pinède de Pin d'Alep.*

Nous tenons à signaler ici, que ces groupes écologiques ont une valeur uniquement locale.

A la fin de cette partie, nous avons dressé un tableau récapitulatif qui résume les groupes écologiques et les stations qu'ils caractérisent. Nous nous sommes plus spécialement attaché à l'aspect forestier des problèmes que nous avons étudiés.

La notion de *station* a été discutée à la lumière de la connaissance des groupes écologiques, et nous avons étudié la productivité des stations de Pin d'Alep.

Les recherches nous conduisent à prendre, comme critère de fertilité d'une station, la hauteur moyenne totale d'un peuplement âgé de 70-80 ans; 5 classes de fertilité ont été distinguées.

Nous montrons que les peuplements de Pin d'Alep ne sont pas intéressants, du point de vue économique, dans les régions où *m* est inférieur à 0°C, et nous conseillons de ne pas utiliser cette essence dans les reboisements de telles régions, lesquelles sont plus favorables au Cèdre, et à des races du Pin laricio.

La question de la régénération du Pin d'Alep a naturellement beaucoup retenu notre attention. Il ressort de ces observations que la régénération est très difficile dans les stations caractérisées par le 1^{er} groupe écologique, facile dans les pinèdes des 2^e, 3^e ou 4^e groupes écologiques. Des éclaircies sont à pratiquer pour assurer a régénération, dans les pinèdes caractérisées par le 5^e groupe écologique.

Enfin, dans un dernier chapitre, nous discutons, sur la base des résultats de nos recherches, les méthodes de traitement forestier des peuplements de Pins d'Alep. Nous avons opté pour *le jardinage par bouquets ou par trouées*, et pour la création de peuplements à 2 étages: un étage dominant de Pin d'Alep traité en futaie claire et un sous-étage de feuillus traité en taillis.

La rotation adoptée pour le taillis est de 32 ans et l'âge d'exploitabilité du Pin d'Alep est fixée à 80 ans, car, à cet âge, il atteint en moyenne une dimension de 110-120 cm de circonférence, convenables pour la caisserie.

Les coupes d'éclaircies, qui doivent être fortes, peuvent être assises à la rotation de 16 ans.

BIBLIOGRAPHIE

Liste des abréviations dans la bibliographie :

- B.S.F.F.C. = Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté, France.
 C.N.R.S. = Centre National de la Recherche Scientifique, France.
 E.N.E.F. = Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, France.
 O.N.M. = Office National Météorologique, France.
 R.E.F. = Revue des Eaux et Forêts, Nancy.
 R.F.F. = Revue Forestière Française, Nancy.
 S.I.G.M.A. = Station Internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine, Montpellier, France.

- AARONSOHN, 1931 — Notule de phytogéographie palestinienne. Espèces en voie d'extinction. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, Série 4, 60, pp. 585-592.
 ALLEGRI (E.), 1959 — Quelques observations sur le *Pinus brutia* Ten. en Syrie. ronéo., *Minist. Agr.*, 10 p. Damas.
 ANONYME, 1938 — *Pinus halepensis* oleo-resin from Cyprus. *Bull. Imper. Inst.*, London, 36, pp. 157-162.
 ARBAUD (A.), 1957 — Le Pin d'Alep et ses peuplements en terrains calcaires. Voyage d'étude en France dans la région provençale. *Ed. E.N.E.F.*, pp. 157-167.
 ARBUZOV (B.A.), 1932 — Composition of turpentine of *Pinus pithyusa*. *Zh. prikl. Khim.*, Mosk. 5, pp. 787-789.
 ARENES (J.), 1929 — Les associations végétales de la Basse-Provence. Thèse, Paris.
 ARIS (R.), 1961 — Compte rendu des recherches d'archéologie sous-marine pratiquées à Agde (campagne 1960); contribution à l'étude de l'économie et du commerce du littoral à l'époque antique. LXXXVI; *Congr. nat. Soc. sav. C. R.*
 AUBERT (G.), 1954 — Les sols latéritiques. *C. R. V° congr. intern. Sc. du Sol*, Léopoldville, I, pp. 103-118.
 AUBERT (G.), MONJAUZE (A.), 1946. — Observations sur quelques sols de l'Oranie nord-occidentale. Influence du déboisement et de l'érosion sur leur évolution. *C. R. Séan. Soc. Biogéogr.*, 23, 199, pp. 44-51.
 AUBERT (G.), ROSEAU (H.), GAUCHER (G.), YANKOVITCH (L.), 1947 — Les sols à croûte calcaire. *C. R. Confér. pédol. médit.*, Alger-Montpellier, pp. 330-337.
 BARRY, 1961 — Contribution à l'étude de la végétation de la région de Nîmes (Gard). *Thèse Fac. Sc. Paris*, Laval, Imprimerie Barnéoud S.A.
 BAUBY (Ph.), 1931 — Les forêts des Bouches-du-Rhône. *Revue « Le Chêne »*, n° 3, pp. 139-170.
 BAUDIÈRE (A.), EMBERGER (L.), 1959 — Sur la notion de climat de transition en particulier dans le domaine du climat méditerranéen. *Ext. Bull. Serv. Carte Phyt.*, série B, IV, 2, pp. 95-117.

- BEAUVISAGE (G.), 1896 — Recherches sur quelques bois pharaoniques. Recueil des travaux relatifs à la philologie et à l'archéologie égyptiennes et assyriennes pour servir de bulletin à la mission française du Caire, 18, Paris.
- BENEVENTE, 1926. — Le climat des Alpes françaises. *Mémorial de l'O.N.M.*, pp. 1-426.
- BÉRENGER (H.), 1955 — Essai d'étude météorologique du bassin méditerranéen. *Mémorial de la Météo. Nat.*, 41 p.
- BERJAOUI (A.), 1952 — La distribution des essences forestières au Liban. *R.F.F.*, n° 12, pp. 833-837.
- BHARUCHAJ (F.), 1932 — Etude écologique et phytosociologique de l'association à *Brachypodium ramosum* et *Phlomis lychnitis* des garrigues languedociennes. *S.I.G.M.A.*, n° 18.
- BIROT (P.), DRESCH (J.), 1953-1956 — La Méditerranée et le Moyen Orient, T. I : La Méditerranée occidentale, 544 p.
T. II : La Méditerranée orientale et le Moyen Orient, 526 p.
Presses Universitaires de France, Paris.
- BOISSIER, 1867-88 — *Flora Orientalis*. 5 vol. et suppl. Geneva.
- BONASTRE (M.), 1828 — Recherches chimiques sur quelques substances végétales trouvées dans les cercueils de momies. *Journ. Pharm.*, 14, Paris.
- BORDAS (J.), 1943 — Essai de Pédologie méditerranéenne. Imprimerie Nationale. Paris.
- BORDAS (J.), 1953 — Contribution à l'étude des sols du Bas-Rhône. *Ann. Agr.*, série A, n° 5, pp. 653-669.
- BOUCHET (R.J.), 1961 — Signification et portée agronomique de l'évapotranspiration potentielle. *Ann. Agr.*, 12, n° 1, pp. 13-37.
- BOUDY (P.), 1950 — Association du *Pinus halepensis* en Afrique du Nord. I, pp. 132-133. Monographie et traitement du Pin d'Alep. II, pp. 639-690. In *Economie Forestière Nord-Africaine*.
- BOULOS (L.), 1959 — A contribution to the Flora of Gaza. *Agricult. Ext. Depart.*, Minist. Agr., Cairo.
- BOULOUMOY, 1930 — Flore du Liban et de la Syrie. Vigot Frères, Ed. Paris 6°.
- BRAUN-BLANQUET (J.), 1924 — Etudes sur la végétation méditerranéenne. III. Concentration en ions H et calcimétrie du sol de quelques associations de la garrigue languedocienne. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, XXIV, pp. 639-647, 879-891.
- BRAUN-BLANQUET (J.), 1934 — Association végétale climatique et climax du sol dans le midi méditerranéen. *R.E.F.*, LXXII, pp. 1-7.
- BRAUN-BLANQUET (J.), FULLER and CONARD, 1932 — Plant Sociology (authorized English translation of *Pflanzensoziologie*), Ed. I, 5 impr., U.S.A.
- BRAUN-BLANQUET (G.), 1936 — La lande à Romarin et Bruyère en Languedoc. *S.I.G.M.A.*, n° 48.
- CAMUS (A.), 1936-1954 — Monographie du genre *Quercus*. Texte et Atlas. T. I: 1936-1938; T. II: 1938-1939; T. III: 1^{re}-2^o part. 1952-54. Paul Lechevalier et Fils, Paris.
- CARMENTRAND (R. de), 1940 — Le Pin d'Alep dans la région méditerranéenne. *R.E.F.*, pp. 223-237.
- CARRIÈRE (E.A.), 1867 — *Pinus pyrenaica*. *Rev. Hort. Paris*, 38, pp. 150-152.
- CEBALLOS (L.), MARTIN BOLANOS (M.), 1930 — Estudio sobre la vegetacion Forestal de la Provincia de Cadiz. 352 p. Madrid.
- CEBALLOS (L.), MARTIN BOLANOS (M.), 1931 — Mapa Forestal de la Provincia de Cadiz. Madrid.
- CEBALLOS (L.), VICIOSO (C.), 1933 — Estudio sobre la vegetacion y la flora Forestal de la Provincia de Malaga, 285 p., Madrid.

- CHABAS (F.), 1861 — Le Cèdre dans les hiéroglyphes. *Revue Archéologique*, nouvelle série, 4, Paris.
- COINTAT (M.), 1954 — La dégradation des forêts dans le département du Gard. *R.F.F.*, n° 2, pp. 99-113.
- COLLIER (D.), ROBBIN (M.), 1959 — Contribution à l'étude de la dynamique de l'eau et des substances chimiques dans les sols argilo-calcaires de Sumagne. *Ann. Agr.*, série A, n° 4, pp. 415-453.
- CONTANDRIOPOULOS (Y.), 1962 — Recherches sur la flore endémique de la Corse et sur ses origines. Thèse, Fac. Sc. Montpellier, 354 p.
- COTTE (C.), (J.), 1903 — Note sur l'ancienneté du Pin d'Alep en France. *C. R. Soc. Biol.*, T. LV.
- CZECZOTT (H.), 1954 — The past and present distribution of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten. *C. R. Congr. Bot. Paris*, vol. des sect., 2-6, pp. 196-197.
- DAGNELIE (P.), 1956-1957 — Recherches sur la production des Hêtraies d'Ardennes en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. *Bull. Inst. Agron. et Stat. Rech. Gembloux*, n° 3, 1956, pp. 249-284; n° 4, 1956, pp. 369-410; n° 1/2, 1957, pp. 44-94.
- DAGNELIE (P.), HUBERTY (J.P.), NOIRFALIZE (A.), 1960 — Recherche sur la productivité des hêtraies du macignos et des marnes du Bas-Luxembourg. *Ibid.*, n° 1, pp. 18-32.
- DALLIMORE (W.), JACKSON (A.B.), 1931 — A Land book of Coniferae including Ginkgoaceae. 2 Ed., London.
- DAMAGNEZ (J.), 1957 — Les sources secondaires d'humidité et d'approvisionnement en eau des sols de la France méditerranéenne. U.C.C.I., Ass. Int. Hydr. Sc. Ass. gen. Toronto, T. II, pp. 446-447 de la météo. 48, pp. 481-492.
- DAMAGNEZ (J.), 1958 — Les propriétés hygrosopiques des sols et les apports secondaires d'humidité. Importance du Mulch naturel. *Ann. Agron.*, n° 5, pp. 661-678.
- DAMAGNEZ (J.), VILLELE (O. de), 1961 — Les besoins en eau réels des cultures et les possibilités d'utilisation des réserves en eau du sol en Tunisie. Influence de la salure. *Ann. Agr.*, vol. 12, n° 1, pp. 99-107.
- DARLINGTON (C.D.), WYLIE (A.P.), 1955 — Chromosome Atlas of Flowering Plants. London, 519 p.
- DAUBENMIRE (R.F.), 1959 — Plants and environment. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- DEACON (E.L.), PRIESTLEY (C.H.B.), SWINBANK (W.C.), 1958 — Evaporation and the water balance. *Climatologie*, review of research, UNESCO, pp. 9-34.
- DEBAZAC, 1959 — La végétation forestière dans la Kroumirie. *Ann. E.N.E.F.*, XVI, 2, 4^e trimestre.
- DELEUIL (G.), 1958 — Chêne vert et Pin d'Alep en basse Provence occidentale. 83. Confr. Soc. Sav. Aix-en-Provence, pp. 363-370.
- DELEUIL (G.), MALCUIT (G.), 1957 — A propos de nouvelles localités de Pin d'Alep en Corse. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 104, 7-8, pp. 527-530.
- DEMOLON (A.), 1956 — Croissance des végétaux cultivés. Ed. 5, Dunod, Paris, 576 p.
- DEMOLON (A.), 1960 — Dynamique du sol. Ed. 5, Dunod, Paris, 520 p.
- DRUDE (O.), 1897 — Handbuch der Pflanzengeographie. Stuttgart J. Engelhorn (transl. G. POIRAULT as Manuel de Géographie Botanique). Paris, Lib. Sc. Nat.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1952 — Espèces forestières calcicoles et calcifuges. *R.F.F.*, n° 5, pp. 301-305.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1953 — De l'influence de la chaleur et des radiations sur l'activation de l'humus forestier. *R.F.F.*, n° 3, pp. 204-212.

- DUCHAUFOUR (Ph.), 1954 — Evolution des sols forestiers en liaison avec la végétation forestière. *R.F.F.*, n° 11, pp. 641-646.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1957 — Pédologie. Tableaux descriptifs et analytiques des sols. Ed. E.N.E.F., Nancy, 87 p.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1960 — Précis de Pédologie. Masson et Cie, Paris.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1960 — Stations, types d'humus et groupements écologiques. *R.F.F.*, n° 7, pp. 484-494.
- DUCHAUFOUR (Ph.), FOURCHY (P.), 1952 — Etude sur l'écologie et la sylviculture du Méleze. I. Ecologie (FOURCHY). II. Pédologie et facteurs biotiques (DUCHAUFOUR). *Ann. E.N.E.F.*, XIII, 1, pp. 162-203.
- DUCHAUFOUR (Ph.), MILLISCHER (H.), 1954 — Etude des types de végétation dans une sapinière vosgienne. *R.F.F.*, n° 3, pp. 160-178.
- DUCHAUFOUR (Ph.), PARDÉ (J.), JACAMON (M.), DEBAZAC (E.E.), 1958 — Un exemple d'utilisation pratique de la cartographie des stations; la forêt du Ban d'Etival (Vosges). *R.F.F.*, n° 10, pp. 597-630.
- DUCHAUFOUR (Ph.), BONNEAU (M.), DEBAZAC (E.F.), PARDÉ (J.), 1961 — Types de forêts et aménagements: la forêt de la Contrôlerie en Arbonne. *Ann. E.N.E.F.*, XVIII, 1, 1^{er} trim., pp. 1-144.
- DUCHAUFOUR (Ph.), BONNEAU (M.), 1961 — Evolution d'un sol de forêt feuillue « *Terra fusca* » provoquée par une plantation de Douglas d'une trentaine d'années. *R.F.F.*, n° 12, pp. 793-803.
- DUPONT (G.), BARRAUD (M.), 1923-1924 — Sur l'essence de térébenthine du Pin Noir d'Autriche (*P. Laricio Austriaca*). Pr. verb. Soc. Sc. Phys. et Nat. de Bordeaux, pp. 6-22.
- DURAND (E.), BARRATTE (G.), 1910 — *Florae libycae Prodrromus*. Genève.
- DURAND (J.H.), 1959 — Les sols rouges et les croutes en Algérie. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural. Serc. Et. Scientif. Alger.
- DUVIGNEAUD (P.), 1946 — La variabilité des associations végétales. *Bull. Soc. Roy. Bot. de Belgique*, LXXVIII, pp. 107-134.
- ELEENBERG (H.), 1950 — Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. E. Ulmer, Stuttgart, 141 p.
- ELEENBERG (H.), 1956 — Grundlagen der Vegetationsgliederung. I. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. E. Ulmer, Stuttgart, 136 p.
- EMBERGER (L.), 1930 — La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. gén. Bot.*, T. 42.
- EMBERGER (L.), 1933 — Nouvelle contribution à l'étude de la classification des groupements végétaux. *Rev. gén. Bot.*, XLV, pp. 1-145.
- EMBERGER (L.), 1938 — Les arbres du Maroc. Aperçu général sur la végétation du Maroc.
- EMBERGER (L.), 1939 — Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc, 1/500 000^e. Ed. Hans Huber, Berne.
- EMBERGER (L.), 1942 — Un projet de classification des climats au point de vue phytogéographique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, LXXVII, pp. 97-124.
- EMBERGER (L.) 1944 — Les Plantes fossiles. Masson et Cie, Paris.
- EMBERGER (L.), 1952 — Sur le Quotient pluviométrique. *C.R. Ac. Sc.*, CCXXXIV, pp. 2508-2510.
- EMBERGER (L.), 1954 — Projet d'une classification biogéographique des climats. Les divisions écologiques du Monde, C.N.R.S., Paris, juin-juillet.
- EMBERGER (L.), 1958 — Afrique du Nord et Australie Méditerranéenne. In Climatologie et Microclimatologie. Actes Colloque de Canberra, UNESCO, pp. 141-147.
- EMBERGER (L.), 1959 — Sur la notion de climat de transition dans le domaine du climat méditerranéen. *Bull. Serv. Carte*, 4, 2. pp. 95 - 117.
- EMBERGER (L.), 1960 — Les végétaux vasculaires, *Traité de Botanique Systématique*, 2, Paris, 1539 p.
- ENGELBACH (R.), 1931 — *Ancient Egyptian Woods*. 31, Le Caire.

The much debated problem of Aleppo Pine spontaneousness in some parts of the South of France remains doubtful; but its natural occurrence in Languedoc seems to be now an established fact.

The three categories of Pine stands: humid, sub-humid and semi-arid are characterized by differences in their flora.

The study of edaphic factors shows that Aleppo Pine grows on very different soils. Yet, its natural regeneration is greatly influenced by the physical characters of the soils.

Through the synecological study, including floristic and statistical analyses of vegetation, and that of edaphic factors, five well-defined ecological groups could be delineated: a correlation has been found between these ecological groups, the natural regeneration and yield capacity of the various sites covered with Aleppo Pine.

The notion of site has been discussed in the light of the knowledge of ecological groups and the yield of these sites has been examined. These investigations induced the author to take as a criterion for site quality the mean height of a stand 70 to 80 years old. He thus distinguishes five site classes. Regeneration is very difficult in the sites characterized by the first ecological group, easy in the Pine stands of other groups.

Finally, group system seems to be the most suitable treatment for Aleppo Pine stands. Thus, a two-storied stand can be obtained: over story of Aleppo Pine with hardwood understory.

Aleppo Pine rotation age is determined at 80 years with heavy thinnings every 16 years, whereas coppice will be treated with a 32-year revolution.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor berichtet über die Ergebnisse seiner Taxonomie, Phytogeographie, Ökologie und Waldbau betreffenden Untersuchungen an *Pinus halepensis* Mill.

Der erste Teil seiner Arbeit ist einer taxonomischen Überprüfung von Mittelmeerkiefern der Gruppe *halepensis* gewidmet. Ausser den klassischen morphologischen und anatomischen Merkmalen hebt er besonders Biochemie, Biogeographie, Ökologie, Pollenkunde und Paläontologie betreffende Charakteristika hervor.

Drei Schlussfolgerungen lassen sich aus dieser Studie ziehen:

1) *P. halepensis* Mill. ist eine von *P. brutia* Ten. streng zu unterscheidende Art. Eine Pollenanalyse gestattet die Unterscheidung dreier Formen: einer westlichen, östlichen und nordafrikanischen.

2) *P. brutia* Ten. ist eine ebenso komplexe Art wie *Pinus halepensis*. *P. eldarica*, *P. pithyusa* und *P. stankeviczii* bilden Unterarten von *P. brutia*.

3) Die Paläogeographie beweist ein vornehmlich auf den nördlichen Mittelmeerraum beschränktes natürliches Vorkommen von *P. halepensis*.

Dieser erste Teil wird mit einer waldbaulichen und dendrologischen Betrachtung der Aleppo-Kiefer beschlossen.

Im zweiten Teil definiert der Autor an Hand des pluviothermischen Quotienten von Emberger das Bioklima der Aleppo-Kiefer.

Ziemlich anpassungsfähig bleibt sie doch vorzüglich eine Baumart des semi-ariden Mittelmeerklimas und vor allem dessen gemäßigter Form. Ihre gegenwärtig grosse Verbreitung in stärker humiden Bereichen darf uns nicht bei der Wertung ihres « Temperamentes » täuschen, denn sie ist Folge menschlicher Aktion.

Aus der Analyse der verschiedenen Bioklimate im Verbreitungsgebiet der Aleppo-Kiefer im gesamten Mittelmeerbecken gewinnt der Autor eine Methode der ökologischen Klassifikation der Kieferbestände.

Der dritte Teil ist speziell dem *P. halepensis*-Vorkommen in Frankreich gewidmet; diskutiert werden Fragen ihrer Autökologie, ihrer Synökologie und ihres Waldbaues.

Die Frage, ob die Aleppo-Kiefer in gewissen Gegenden Südfrankreichs standortgerecht ist, ist mit Recht unstritten: ihr natürliches Vorkommen in der Languedoc scheint mittlerweile erwiesen.

Die drei unterscheidbaren Pineta: humid, subhumid und semi-arid sind gekennzeichnet durch verschiedene Begleitfloren.

Das Studium edaphischer Faktoren zeigt, dass *Pinus halepensis* auf äusserst unterschiedlichen Böden gedeiht, indes ist ihre natürliche Verjüngung stark abhängig von der Bodentextur.

Das Studium der Biozönose, das statistische Erhebungen über Flora und edaphische Faktoren beinhaltet, gestattet eine klar definierte Einteilung in fünf ökologische Gruppen: es besteht eine Korrelation zwischen diesen ökologischen Gruppen einerseits und der natürlichen Verjüngung und Produktivität der verschiedenen mit *P. halepensis* bestockten Stationen andererseits.

An Hand der ökologischen Gruppen wurde die Standortbestimmung vorgenommen und anschliessend die Bestandesbonität festgestellt. Das Ergebniss dieser Erhebungen veranlasste den Autor, die mittlere Höhe eines 70-80 jährigen Bestandes zum Kriterium der Fertilität eines Standortes zu nehmen. Er unterscheidet also fünf Fertilitätsklassen. Die Verjüngung ist äusserst schwierig auf den mit der ersten ökologischen Gruppe korrespondierenden Standorten, leicht bei den Pineta der übrigen Gruppen.

Der gruppen-oder horstweise Femelschlagbetrieb scheint wohl die geeignete Betriebsform der Aleppo-Kiefer zu sein. Man gelangt so zu einem zweistufigen Bestand: *P. halepensis* im Oberstand, Laubhölzer im Unterstand.

Das Hauberkeitsalter der Aleppo-Kiefer ist auf 80 Jahre angesetzt, mit kräftigen Durchforstungen alle 16 Jahren. Dagegen wird der Unterstand in 32-jährigem Umtrieb genutzt.

TABLE DES MATIERES

	PAGES
DEVÈZE (M.). — Une admirable réforme: La Grande Réformation des forêts royales sous Colbert (1661-1680)	1
HERVÉ (P.). — Considérations sur la faune entomologique de l'île de Port-Cros (Var). Les coléoptères endogés	297
BARTOLI (Ch.). — Première note sur les associations forestières du Massif de la Grande Chartreuse	325
RICHARD (J.-L.). — Note complémentaire: Comparaisons entre la Chartreuse et le Jura.	374
DUCHAUFOUR (Ph), BONNEAU (M.). — Etude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile (<i>Picea excelsa</i>)	385
BOUVAREL (P.). — L'influence de l'origine des graines d'épicéa sur la croissance en pépinière, la précocité et la fréquence des pousses d'août	415
CRÉCY (L. de). — Couvert forestier en manteau neigeux. Réflexions sur quelques expériences étrangères et programme d'études	441
NAHAL (I.). — Le Pin d'Alep (<i>P. halepensis</i> Mill.). — Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole	473



Imprimerie Georges Thomas - Nancy.

Dépôt légal IV-1962 - N° 591

