



HAL
open science

Croissance des racines du Pin Laricio de Corse (*Pinus nigra Arn., ssp Laricio*), au stade juvénile

M. Arbez

► **To cite this version:**

M. Arbez. Croissance des racines du Pin Laricio de Corse (*Pinus nigra Arn., ssp Laricio*), au stade juvénile. *Annales des sciences forestières*, 1971, 28 (3), pp.259-288. <10.1051/forest/19710302>. <hal-00882042>

HAL Id: hal-00882042

<https://hal.science/hal-00882042v1>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

CROISSANCE DES RACINES DU PIN LARICIO DE CORSE (*PINUS NIGRA* ARN., SSP *LARICIO*), AU STADE JUVÉNILE

RELATION AVEC LA CROISSANCE DES PARTIES AÉRIENNES
ET LES FACTEURS DU MILIEU.

M. ARBEZ

avec la collaboration technique des personnels
de la Station d'Amélioration

*Station d'Amélioration des Arbres forestiers,
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.,
54 - Nancy*

RÉSUMÉ

Le Pin Laricio de Corse occupe une place importante dans les reboisements. En plantation, il se caractérise par une reprise souvent capricieuse. Entre autres, une bonne compréhension des rythmes et des mécanismes de l'activité racinaire semble nécessaire à l'explication de ce comportement.

La présente étude portait sur 8 individus, âgés initialement de trois ans, et plantés de part et d'autre d'une chambre d'observations souterraine à parois vitrées (figure 1). Des observations hebdomadaires, échelonnées sur deux ans, ont permis d'entreprendre l'analyse comparée des cycles d'activité des racines et des parties aériennes en liaison avec les facteurs du milieu. La croissance racinaire a été appréhendée de deux manières différentes en comptant le nombre des suçoirs actifs (extrémités non subérisées, blanches) et en mesurant leur vitesse d'élongation.

Les principales conclusions (figures 6, 7 et 8) se résument comme suit :

En conditions favorables, le nombre des suçoirs en activité passe par trois maxima (printemps, été, automne).

La vitesse d'élongation des racines, bien que plus irrégulière, varie sensiblement de la même façon.

La température du sol semble conditionner le départ et l'arrêt de l'activité racinaire. Toutes conditions favorables par ailleurs, la vitesse d'élongation des racines et le nombre des suçoirs en activité atteignent leurs valeurs maximales durant la période où la température du sol est la plus élevée. Les précipitations et le pF du sol ne paraissent influencer l'activité racinaire qu'en tant que facteur limitant.

En résumé, tout semble se passer comme si l'activité racinaire obéissait à une périodicité interne, néanmoins susceptible d'être modifiée par le jeu des facteurs du milieu.

Par ailleurs, on discerne une alternance des maxima de fonctionnement des différents méristèmes, en particulier le nombre des suçoirs en activité passe par un minimum lorsque la vitesse d'élongation de la pousse terminale est à son maximum.

Pratiquement, les plants mis en terre en novembre ne commencent à fabriquer de nouveaux suçoirs qu'au printemps suivant. Par conséquent, au moins dans la moitié nord de la France, les plantations de Pin Laricio réalisées à la fin de l'hiver semblent bénéficier des conditions de reprise les plus favorables.

Finalement, seule la synthèse des résultats de diverses expériences engagées parallèlement à celle-ci semble en mesure de fournir une explication et peut-être un remède à la mauvaise reprise du Pin Laricio de Corse.

INTRODUCTION

La reprise capricieuse du Pin Laricio de Corse, à la plantation, est un grave inconvénient, en raison du coût important des opérations de regarnis. Malgré cela, en raison de ses nombreuses qualités (production, qualité du bois, frugalité vis-à-vis de la fertilité du sol), cette espèce occupe une place importante dans les reboisements. C'est ce qui nous a conduit à rechercher les causes de sa mauvaise reprise, dans l'espoir d'y remédier.

L'amélioration de la reprise à la plantation apparaît d'emblée comme un problème complexe, qui, *a priori*, peut être abordé de deux façons différentes et complémentaires :

- en modifiant les propriétés du matériel végétal par l'amélioration génétique ;
- en agissant sur les techniques d'élevage et de plantation (âge des plants, conditionnement des plants entre l'arrachage et la plantation, période de plantation, travail du sol, etc.).

Dans l'un et l'autre cas, l'étude de l'activité racinaire contribue à la recherche d'une solution.

Profitant des travaux déjà entrepris à l'étranger sur d'autres espèces, on s'est efforcé de mettre au point une méthode permettant :

- dans un premier temps, d'analyser la croissance racinaire du Pin Laricio de Corse, et d'en tirer un certain nombre de conclusions préliminaires ;
- dans un deuxième temps, de révéler d'éventuelles différences d'ordre génétique.

Le premier point seul fait l'objet du présent mémoire.

I. — MÉTHODES ET MATÉRIEL VÉGÉTAL UTILISÉS

Dans une étude complète et fort intéressante, SUTTON (1969), passe en revue les différentes méthodes employées pour l'étude du système racinaire des arbres forestiers :

- chambre d'observations souterraine à parois vitrées ;
- examen périodique, *in situ*, par excavation localisée ;
- utilisation des éléments marqués ;
- prélèvement de « carottes » de sol au voisinage de l'arbre et dénombrement des racines en croissance ;
- excavation autour de l'ensemble du système racinaire.

La chambre d'observations souterraine à parois vitrées permet une étude non destructive et prolongée ; elle semblait particulièrement adaptée à l'étude de jeunes plants forestiers.

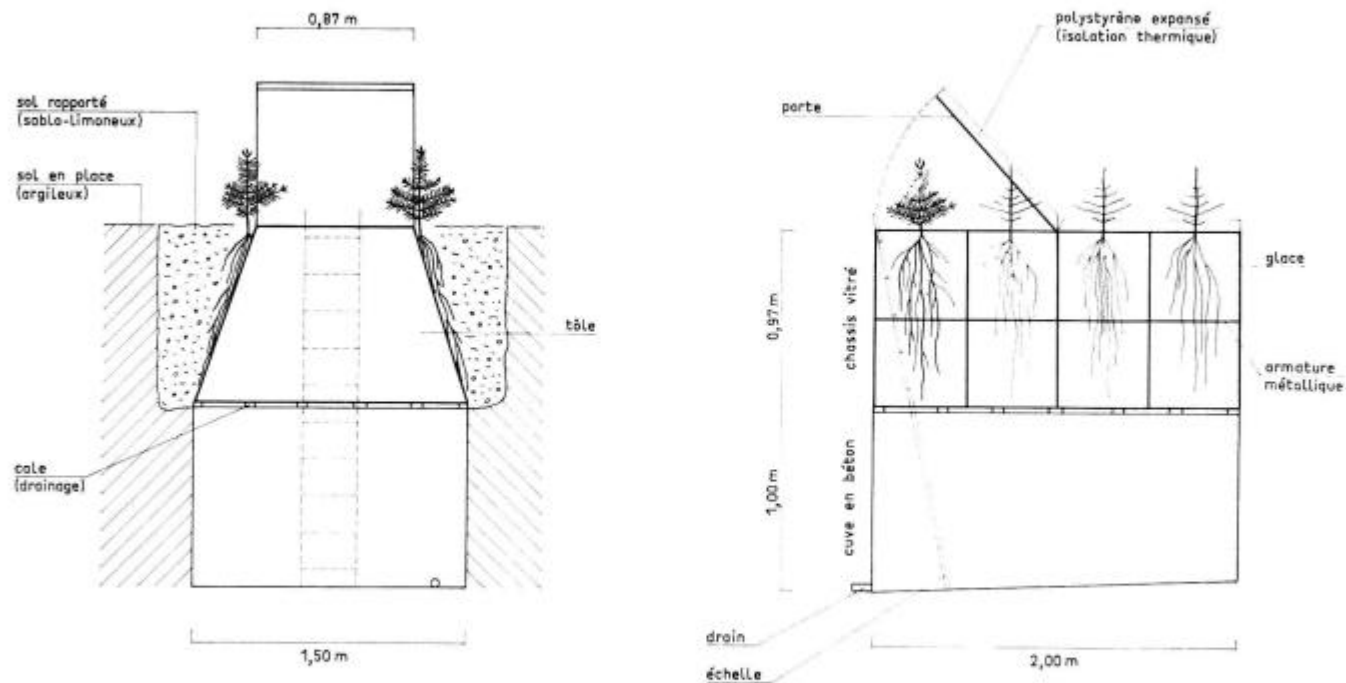


FIG. 1. — Croquis de la chambre d'observations souterraine, à parois vitrées (Sketch of the underground root - observation room)

Nous avons donc construit et utilisé une petite chambre d'observations souterraine, à parois vitrées inclinées, inspirée des travaux de BLAAUW (1923), HOFFMANN (1966), et ROGERS (1968). Le croquis de la figure 1 permet de se faire une idée précise de ce dispositif. Il est constitué d'un châssis de cornières métalliques, pourvu de glaces de 8 mm d'épaisseur sur ses deux faces inclinées, et doté d'une porte à charnières dans sa partie supérieure. L'ensemble repose sur une cuve de béton armé pourvu d'un dispositif d'évacuation des eaux. L'isolation thermique est assurée par une couverture de polystyrène expansé de 10 cm d'épaisseur, placée sur la porte d'accès et la face supérieure du châssis.

Le sol en place étant particulièrement argileux, donc difficilement pénétrable aux racines, a été remplacé par un mélange de 2/3 de terre franche limono-sableuse et 1/3 de terre de bruyère. En novembre 1967, on a repiqué 8 plants de Pin Laricio de Corse (provenance Vezzani, Corse, altitude: 1.100 m), âgés de 3 ans (1 an de semis, 2 ans de repiquage) à raison de 4 contre chacune des deux parois vitrées, soit à l'espacement de 0,50 m. Les systèmes racinaires ont été étalés et appliqués contre la paroi de verre, puis soigneusement recouverts de terre. Les observations de racines étaient effectuées périodiquement, de l'intérieur de la chambre, par transparence et à la lumière du jour.

On a mesuré chaque semaine et pour chaque individu :

Sur le système racinaire

- Le nombre des suçoirs ⁽¹⁾ en activité de plus de 1 mm de longueur (couleur blanche).
- L'allongement de chaque suçoir durant la semaine précédente.

Pour ce faire, on a utilisé la technique suivante :

Chaque carreau de verre (il y en a 8 sur chacune des deux parois inclinées) porte dans ses deux coins supérieurs une croix tracée au diamant de vitrier.

On applique sur le carreau une feuille transparente de dimensions identiques et portant les mêmes repères que lui, en rhodoïd de 0,5 mm d'épaisseur.

Avant chaque série d'observations, on fait coïncider les repères de la feuille de rhodoïd et ceux du carreau, puis on fixe la feuille de rhodoïd par du ruban adhésif.

L'extrémité de chaque suçoir est alors repérée par un point effectué au moyen d'une aiguille à dissection. Le premier point, correspondant à l'apparition du suçoir, est affecté d'un numéro d'identification gravé sur le rhodoïd. Les points correspondants à deux positions successives de l'extrémité du même suçoir, sont reliés par un trait.

On peut ainsi mesurer, à 0,5 mm près, l'élongation hebdomadaire de chaque racine, et la durée de son élongation (de l'apparition jusqu'à la subérisation).

Sur le système aérien

— la hauteur totale initiale et l'allongement de la pousse terminale durant la semaine écoulée, au moyen d'un profilé d'aluminium enfoncé verticalement « à refus » au voisinage du plant, et pourvu d'une toise coulissante amovible. Ce dispositif autorise une précision de l'ordre du millimètre ;

— le diamètre du « tronc », à 1 cm au-dessus du collet, mesuré à 1/10^e de mm près à la montre comparateur. L'emplacement de la mesure est rigoureusement repéré par un point à la peinture sur le tronc de chaque individu ;

et les paramètres du milieu suivants, communs aux huit individus :

- la moyenne des maxima de température de l'air pour la semaine écoulée ;
- la moyenne des minima de température de l'air ;
- la somme des précipitations pour la semaine écoulée ;
- la température moyenne du sol à 10, 20, 40 et 80 cm de profondeur ;
- le pH du sol aux mêmes profondeurs.

L'expérience s'est échelonnée sur 2 ans du mois de décembre 1967 au mois de décembre 1969.

L'observation des racines par transparence à travers une paroi vitrée a fait l'objet de quelques critiques rapportées par SUTTON (1969). Les conditions de milieu qui règnent dans

(1) Le mot suçoir, communément employé par les praticiens, désigne toute extrémité racinaire en croissance, non encore subérisée donc de couleur claire (blanche dans le cas de *Pinus nigra* et de la plupart des conifères).

la zone de contact du sol avec la glace peuvent être *a priori* différentes de celles de la pleine terre, particulièrement en ce qui concerne la pénétrabilité, l'humidité et la température. Dans ces conditions, on peut se demander si la fraction du système racinaire observée est réellement représentative de l'ensemble. De l'avis de nombreux auteurs, ces critiques de principe peuvent être atténuées lorsqu'il s'agit d'une chambre d'observation souterraine, dont les conditions (hormis l'incidence propre de l'interface sol-glace) sont très proches des conditions naturelles. En particulier, compte tenu de l'isolation thermique de la chambre, les différences de température qui pourraient éventuellement s'installer de part et d'autre de la glace, sont probablement insignifiantes. Par ailleurs, l'exposition des racines à la lumière du jour au cours des périodes d'observations, limitée à quelques heures, ne semble pas gêner sensiblement la croissance (ROGERS et HEAD, 1962, cités par SUTTON).

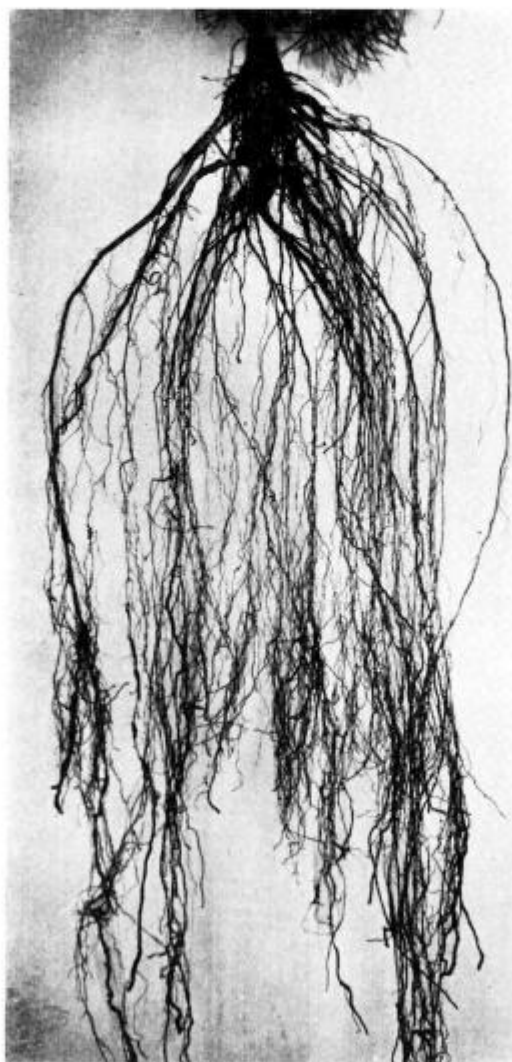


FIG. 2. — Enracinement traçant vertical (arbre n° 7)

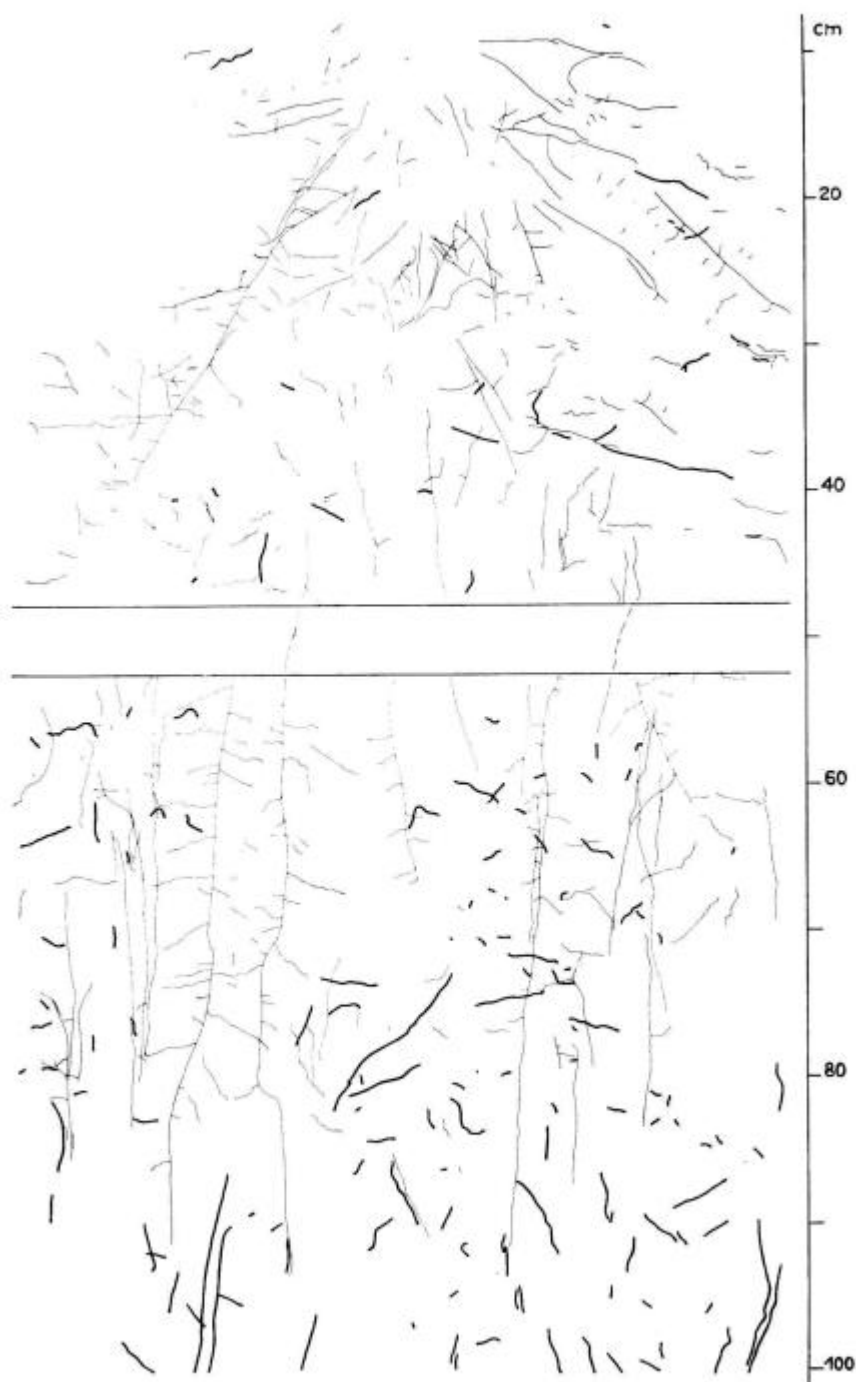


FIG. 3. — Tracé des racines de l'arbre n° 7, apparentes contre la paroi vitrée,
en 1968 —, en 1969 —
(Plotting of the roots of the tree n° 7 visible behind the glass)

II. — RÉSULTATS

2.1. — *Installation du système racinaire*

La figure 3 reproduit le tracé des racines de l'arbre n° 7, contre la paroi vitrée, en 1968 et 1969. A la première année succédant à la plantation, correspond une phase de colonisation en profondeur, assurée par le développement de racines longues et verticales, peu ramifiées latéralement (au moins dans leur partie médiane et distale). A la seconde année, correspond une phase de ramification du système profond élaboré l'année précédente ; les racines formées sont plus courtes, horizontales ou peu inclinées. La profondeur atteinte par les racines durant la première année varie assez peu suivant les individus, de 70 à 90 cm, et le schéma d'installation du système racinaire reste le même.

Le développement de « racines plongeantes » dès la première année succédant à la plantation est également rapporté par SUTTON (1969) pour *Picea glauca*, ROGERS et HEAD (1962, cités par SUTTON) pour diverses espèces d'arbres fruitiers.

Mais, dans la plupart des sols à vocation forestière, de nombreux obstacles (roche-mère superficielle, horizon argileux compact, hygromorphie, etc.) s'opposent pratiquement à une pénétration verticale des racines aussi profonde et aussi rapide.

2.2. — *Morphologie du système racinaire*

Dans les conditions de l'expérience, l'enracinement du Pin Laricio, au stade juvénile, est à la fois traçant (absence de « pivot » différencié) et vertical (figure 2).

On peut distinguer plusieurs types de racines :

— Des racines longues, ici essentiellement plongeantes (développement vertical en profondeur). Elles sont vigoureuses, et prennent naissance immédiatement au-dessous du collet. D'abord ramifiées dans leur partie basale et donnant naissance à des racines longues de deuxième ordre, elles sont ensuite peu ramifiées jusqu'à leur extrémité. Elles atteignent et dépassent ici, un mètre de longueur, après 2 ans de plantation. Souvent supérieur à 6 mm à la base, le diamètre diminue progressivement jusqu'à moins de 1 mm à l'extrémité. Les racines longues sont pourvues d'un gros suçoir terminal, généralement renflé et terminé en ogive (figure 4). Elles ne sont apparemment pas mycorhizées.

Les racines longues à développement latéral sont ici peu représentées. Dans un sol forestier en place, elles seraient probablement prépondérantes, d'une part en raison des obstacles à la pénétration verticale profonde, d'autre part, du fait des qualités propres aux horizons superficiels ou moyens (pénétrabilité, aération, drainage, richesse en humus).

— Des racines courtes, de quelques centimètres de longueur, et de moins de 1/2 mm de diamètre, en moyenne. Ce sont des racines peu vigoureuses, à l'extrémité généralement arrondie. Elles sont parfois mycorhizées (figure 5).

Morphologiquement, on est tenté de rattacher à ce dernier type des racines plus longues, atteignant jusqu'à 30 ou 40 cm, mais de vigueur faible (diamètre faible,

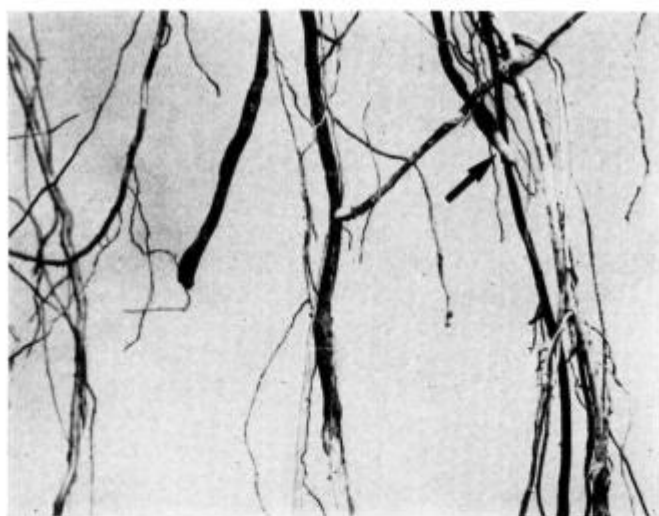


FIG. 4. — *Suçoir de racine longue (arbre n° 4)*

petit suçoir). La vigueur, plus que la longueur, apparaît ainsi comme le critère de classification principal.

— Dans certains cas, il semblerait qu'on puisse parler de racines naines. Ces racines cessent toute croissance peu de temps après leur apparition (1 à 2 semaines).

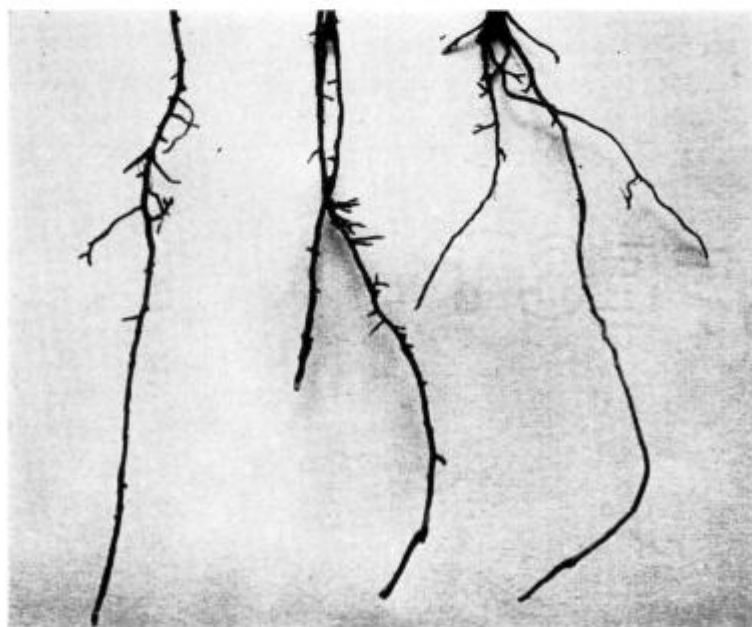


FIG. 5. — *Mycorhizes sur racines courtes (arbre n° 4)*

elles atteignent ainsi quelques millimètres de longueur et conservent parfois la même taille pendant plusieurs semaines avant de se subériser.

2.3. — *Répartition finale des poids secs entre racines et parties aériennes, de même qu'entre racines de diamètres différents. Répartition des longueurs entre racines de diamètres différents*

A la fin de l'expérimentation, les plants alors âgés de 5 ans ont été déracinés à l'aide d'un jet d'eau sous pression, puis mis à ressuyer à la température du laboratoire et découpés en séparant les organes et fractions d'organes suivants :

- la tige,
- les branches,
- les aiguilles,
- les racines de diamètre supérieur à 6 mm,
- les racines de diamètre compris entre 4 et 6 mm,
- les racines de diamètre compris entre 2 et 4 mm,
- les racines de diamètre compris entre 1 et 2 mm,
- les racines de diamètre inférieur à 1 mm (en distinguant les extrémités des racines principales et les petites racines secondaires).

Pour chaque individu, ces divers éléments ont été séparément séchés à l'étuve ⁽¹⁾, puis pesés au milligramme près.

2.31. *Répartition des poids secs entre racines et parties aériennes.*

Les résultats (moyennes sur les 8 individus) sont consignés au tableau 1 :

TABLEAU 1

Répartition des poids secs entre racines et parties aériennes

	Aiguilles	Branches	Tige	Bourgeons	Racines	Total
Poids secs (g)	113,306	26,227	51,186	4,335	69,609	264,663
% du poids sec total .	42,8	9,9	19,3	1,6	25,4	100
Minimum et maximum individuels en % du poids sec total correspondant	41-47	8-12	18-20	1-3	22-29	

A cet âge, et dans les conditions de l'expérience, les racines ne représentent donc que le 1/4 du poids total, alors que les aiguilles en représentent près de la moitié.

2.32. *Répartition des poids secs entre racines de diamètres différents.*

Les résultats (moyennes sur les 8 individus) font l'objet du tableau 2 :

(1) A 60° C pour les aiguilles et les bourgeons, à 110° C pour les autres organes.

TABLEAU 2

Répartition des poids secs entre racines de diamètres différents (D)

	D > 6 mm	4 mm < D < 6 mm	2 mm < D < 4 mm	1 mm < D < 2 mm	D < 1 mm (extrémités de racines principales)	D < 1 mm (ramification)
Poids secs (g)	26,219	8,180	12,021	13,552	4,690	4,949
% du poids sec total des racines	37,7	11,7	17,3	19,5	6,7	7,1
Minimum et maximum individuels en % du poids sec de racines correspondant	25-51	6-19	10-25	13-33	2-13	5-11

2.33. *Répartition des longueurs entre racines de diamètres différents.*

En raison du temps nécessaire à cette étude, elle n'a été entreprise que sur un seul individu (l'individu n° 7). Malgré les précautions prises à l'arrachage, on peut penser qu'une partie des racines fines est restée dans le sol, ce qui a conduit à sous-estimer les poids secs correspondants, mais probablement encore plus les longueurs. Les résultats sont consignés au tableau 3 :

TABLEAU 3

Répartition des longueurs entre racines de diamètres différents (D)

	D > 6 mm	4 mm < D < 6 mm	2 mm < D < 4 mm	1 mm < D < 2 mm	D < 1 mm (extrémités de racines principales)	D < 1 mm (ramification)	Total
Longueur en mètres	1,158	1,211	11,361	28,148	12,527	108,527	162,932
% de la longueur totale	0,7	0,7	7,0	17,3	7,7	66,6	

Les ramifications secondaires de moins de 1 mm de diamètre représentent les 2/3 du système racinaire en longueur, contre 7 % seulement en poids. Ce sont donc ces racines très fines qui offrent la plus grande surface d'échange avec le sol.

2.4. — *Activité racinaire*

L'extension du système racinaire dépend du nombre des suçoirs en activité, et de leur vitesse d'élongation. Pour des raisons matérielles, il n'a pas été possible de reproduire toutes les courbes individuelles. Les figures 6 et 7 (première et deuxième

année d'observation) ne concernent que les courbes moyennes et, à titre d'exemple, celles de l'arbre n° 7.

2.41. Nombre de suçoirs en activité.

On a dénombré chaque semaine le nombre des suçoirs de couleur blanche, c'est-à-dire non subérisés, *apparents contre la paroi vitrée*. Parmi ces suçoirs non subérisés, la majorité sont en cours d'élongation ; cela n'est toutefois pas obligatoire : certains suçoirs, appartenant principalement à des racines courtes ou naines, conservent parfois leur couleur blanche pendant plusieurs semaines après l'arrêt de l'élongation, surtout à la fin de l'automne.

— *Pendant la première année*, les tout premiers suçoirs n'apparaissent qu'à la mi-mars, c'est-à-dire près de 4 mois après la plantation. A quelques exceptions près, il n'en reste pratiquement aucun en activité au début décembre suivant. Les rares suçoirs, non encore subérisés à cette date, ne s'allongent plus, mais conservent, durant tout l'hiver, leur couleur blanche. *Le nombre moyen des suçoirs en activité passe par trois maxima distincts, d'importance croissante, en mai, juillet et septembre* (figure 6, courbe n° 7). Les valeurs des maxima moyens atteignent respectivement 35, 45 et 55 suçoirs en activité par individu. La majorité des individus suivent effectivement cette règle (arbres n° 1, 2, 5, 6, 8), d'autres n'ont que deux maxima marqués (en juillet et septembre : arbres n° 4 et 7 ; en mai et septembre : arbre n° 3).

— *Pendant la deuxième année*, les premiers suçoirs apparaissent encore début mars, le nombre moyen des suçoirs en activité ne passe plus que par deux maxima, en avril-mai (35 suçoirs en activité) et juillet-août (110 suçoirs en activité) (figure 7, courbe n° 7). Un individu seulement (l'arbre n° 4) échappe à cette règle, et ne comporte qu'un seul maximum en juillet-août. Il ne reste, début décembre, pratiquement plus de suçoirs non subérisés.

2.42. Vitesse d'élongation des racines.

Chaque semaine, on peut calculer l'allongement moyen hebdomadaire de toutes les racines, pour un individu donné, et pour l'ensemble des huit individus observés. Si l'on reporte ces derniers résultats en fonction du temps, on obtient les courbes n° 8 des figures 6 et 7 ⁽¹⁾.

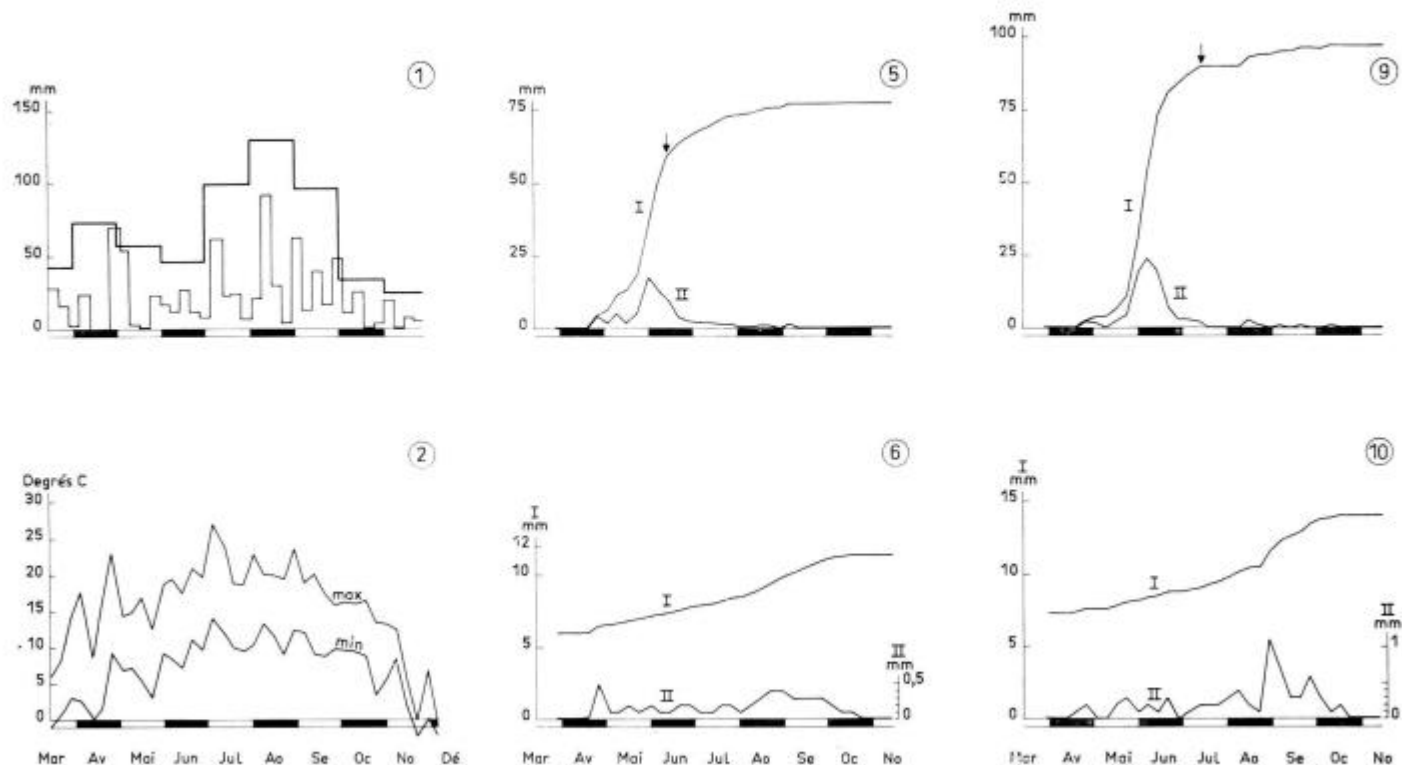
Pendant la première année, la vitesse d'élongation croît assez régulièrement de mars à juillet, passe par un maximum de fin juin à début août, décroît brusquement, marque un palier de la mi-août à début novembre, et diminue brutalement ensuite, elle est faible ou nulle de décembre à février. Les courbes individuelles conservent un maximum principal en juin, juillet ou plus rarement août. Elles sont beaucoup plus irrégulières. Il existe fréquemment deux maxima secondaires autour de mai et octobre.

Pendant la deuxième année, la vitesse d'élongation passe par un maximum d'août, avec deux maxima secondaires en mai-juin surtout, et en septembre. Les courbes indi-

¹⁾ Comme la confiance qu'il convient d'accorder à chaque moyenne est directement fonction du nombre des observations utilisées pour la calculer, sur les graphiques, le nombre des suçoirs correspondant à un allongement moyen donné, a été indiqué.

FIG. 6. — Croissance des racines et des parties aériennes et variations des facteurs du milieu (1968 — 1^{re} année d'observation)

[Growth of roots and aerial parts, and variations of environmental factors (1968 — first year of observation), for more details see english summary]



1. — Précipitations.

2. — Températures de l'air (maxima et minima).

3. — Températures du sol (  10 et 80 cm de profondeur).

4. — T mperature du sol (  10 et 80 cm de profondeur).

7. — Nombre de « sucoirs » en activité, courbe moyenne.

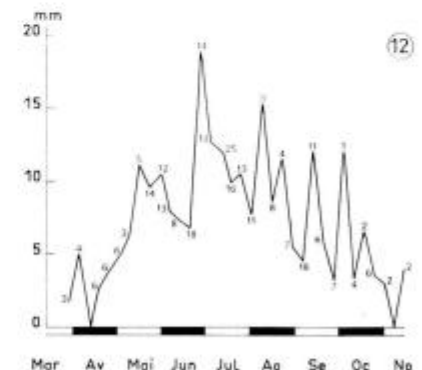
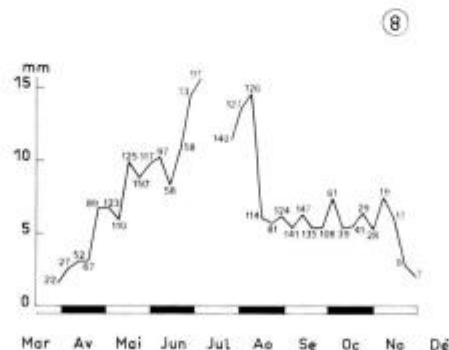
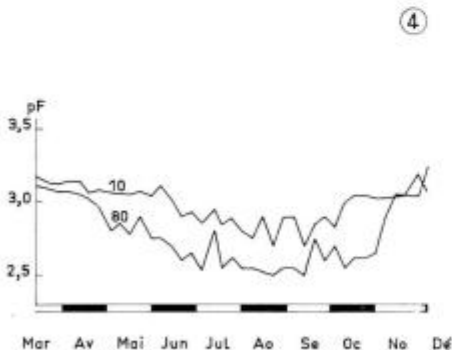
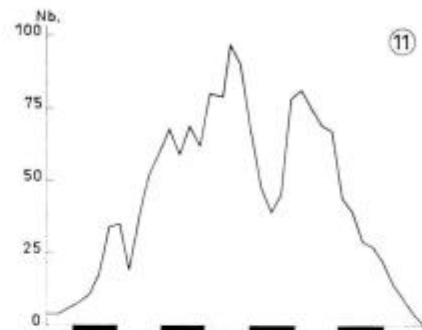
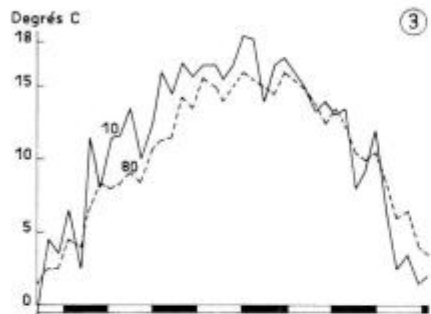
8. — Vitesse d'élongation des racines (accroissements hebdomadaires), courbe moyenne.

9. — Elongation de la pousse terminale, courbe individuelle (arbre n  7).

10. — Elongation de la pousse terminale, courbe individuelle (arbre n  7).

(I: accroissements cumulés, II: accroissements courants).
Fin de l'élongation en première pousse.

6. — Croissance en diamètre de la tige, 1 cm au-dessus du collet, courbe moyenne.

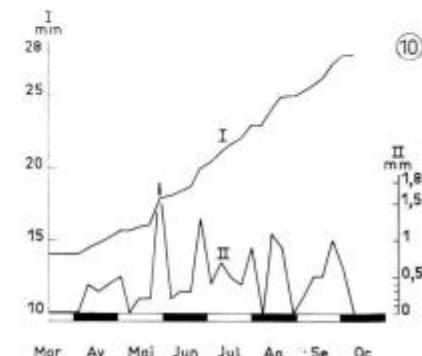
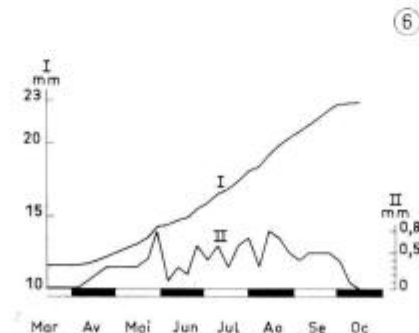
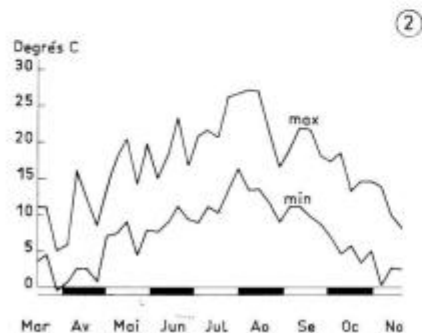
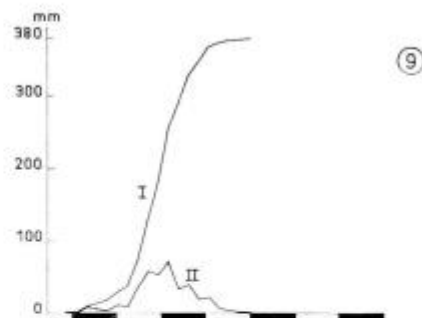
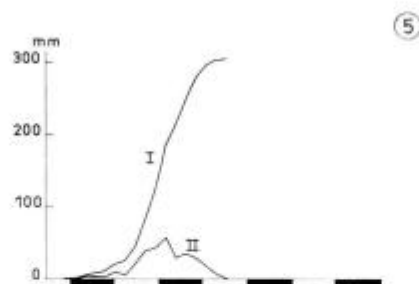
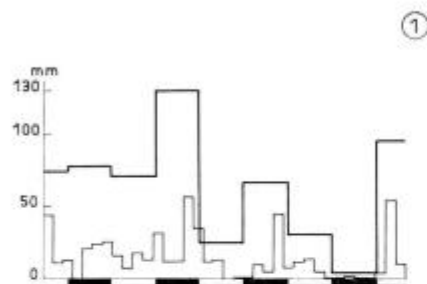


11. — Nombre de « suçoirs » en activité, courbe individuelle (arbre n° 7).

12. — Vitesse d'élongation des racines (accroissements hebdomadaires), courbe individuelle (arbre n° 7).

FIG. 7. — Croissance des racines et des parties aériennes et variations des facteurs du milieu (1969 — 2^e année d'observation)

[Growth of roots and aerial parts, and variations of environmental factors (1969, second year of observation), for more details see english summary]



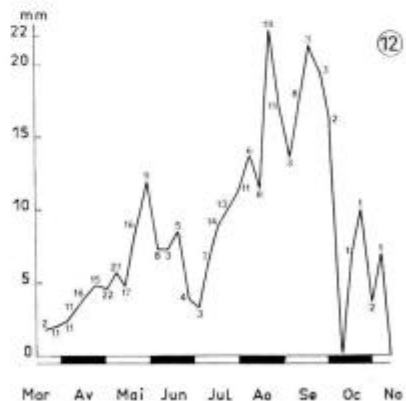
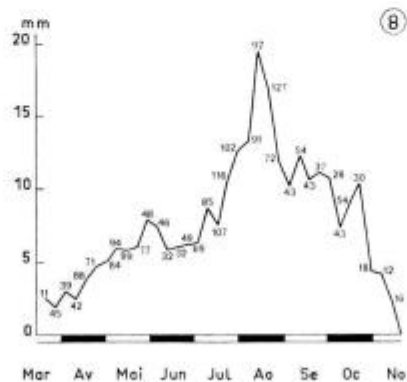
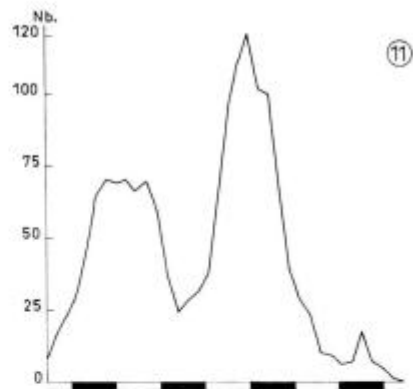
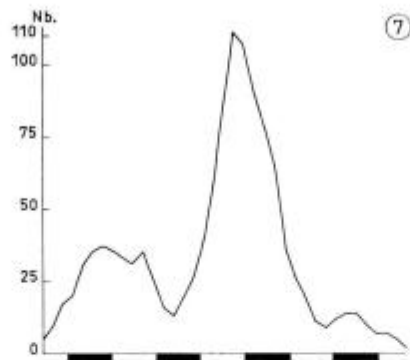
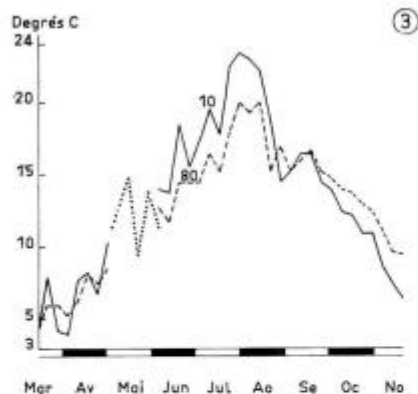
- 1. — Précipitations.
- 2. — Température de l'air (maxima et minima).
- 3. — Températures du sol (à 10 et 80 cm de profondeur).

- 8. — Vitesse d'élongation des racines (accroissements hebdomadaires), courbe moyenne.
- 9. — Elongation de la pousse terminale, courbe individuelle (arbre n° 7).

6. — Croissance en diamètre de la tige, 1 cm au-dessus du collet, courbe moyenne.

7. — Nombre de « suçoirs » en activité, courbe moyenne.

12. — Vitesse d'élongation des racines (accroissements hebdomadaires), courbe individuelle (arbre n° 7).



viduelles sont toujours très irrégulières, et leurs maxima plus ou moins décalés par rapport à ceux de la courbe moyenne.

Dans l'ensemble, la vitesse d'élongation des racines passe de 2 mm par semaine en mars ou novembre, à près de 20 mm par semaine en juillet-août. Sur certaines racines longues particulièrement vigoureuses, l'allongement hebdomadaire peut atteindre jusqu'à 90 mm en juillet-août.

2.43. Différences de comportement entre racines longues et racines courtes.

2.431. Durée de la période d'activité des suçoirs.

On a étudié la durée d'activité des suçoirs suivant la saison, en classant les racines en quatre catégories de dimension (moins de 1 cm d'allongement total, entre 1 et 5 cm, entre 5 et 10 cm, plus de 10 cm). L'étude n'a porté que sur 3 individus seulement (n° 6, 7 et 8). Les résultats sont consignés dans le tableau 4.

TABLEAU 4

Durée de la période d'activité des suçoirs (en semaines) en fonction de l'allongement total observé et de la saison (moyennes sur 3 individus)

On a porté entre parenthèses le nombre de suçoirs utilisés dans le calcul de la moyenne

Année	Saison	Catégories de dimensions (allongement total)			
		moins de 1 cm	de 1 à 5 cm	de 5 à 10 cm	plus de 10 cm
1 ^{re} année (1968)	Printemps 13/3 - 6/6	1,9 (240) semaines suçoirs	4,1 (113)	5,7 (9)	8,0 (3)
	Été 13/6 - 29/8	2,0 (368)	4,9 (107)	6,2 (12)	9,6 (9)
	Automne 5/9 - 28/11	2,9 (280)	5,6 (52)	9,3 (3)	—
2 ^e année (1969)	Printemps 13/3 - 6/6	4,7 (192)	6,8 (56)	6,0 (2)	14,0 (1)
	Été 13/6 - 29/8	2,6 (552)	4,6 (117)	5,0 (21)	4,3 (7)
	Automne 5/9 - 28/11	2,0 (137)	3,4 (43)	5,7 (7)	7,5 (4)

Quelle que soit la saison considérée, on s'aperçoit que les racines dont l'élongation totale est la plus grande bénéficient d'une durée d'activité prolongée.

Pendant la première année, sans doute en raison de la crise d'installation, la durée de végétation des suçoirs augmente du printemps à l'automne, dans chaque catégorie de dimensions.

Pendant la deuxième année, pour les racines de moins de 5 cm d'allongement total, c'est exactement l'inverse ; pour celles de plus de 5 cm, la durée de végétation des suçoirs est également plus longue au printemps qu'à l'automne, mais avec un minimum en été.

2.432. Vitesse d'élongation.

On a étudié, de la même façon, sur 1 individu (n° 7), l'allongement moyen hebdomadaire des racines en fonction de l'allongement total observé, et de la saison (tableau 5).

TABLEAU 5

*Allongement moyen hebdomadaire des racines (en mm)
en fonction de l'allongement total observé et de la saison (étude sur 1 individu)*

Année	Saison	Catégories de dimensions (allongement total)			
		Moins de 1 cm	de 1 à 5 cm	de 5 à 10 cm	Plus de 10 cm
1 ^{re} année (1968)	Printemps 13/3 - 6/6	3,3 mm	9,6	14,7	22,3
	Eté 13/6 - 29/8	3,6	8,1	16,0	35,4
	Automne 5/9 - 28/11	2,9	6,5	—	—
2 ^e année (1969)	Printemps 13/3 - 6/6	3,1	5,5	—	—
	Eté 13/6 - 29/8	5,1	12,7	27,4	—
	Automne 5/9 - 28/11	6,0	11,8	30,0	32,3

Quelle que soit la saison considérée, on constate que plus les racines sont longues, et plus leur vitesse d'élongation est élevée.

2.433. Conclusion partielle.

Le polymorphisme racinaire signalé au § 2.2 tire donc son origine de comportements de croissance différents : *les racines longues poussent à la fois plus longtemps et plus vite que les racines courtes.*

Par ailleurs, il semble que la plupart des racines courtes atteignent leur longueur définitive en une vague de croissance unique, l'élongation des racines longues se faisant probablement par étapes successives durant plusieurs années.

Durant les deux années d'observation portant sur l'ensemble des 8 individus, les 3/4 des racines de plus de 10 cm d'allongement annuel se sont développés entre le 1^{er} juillet et le 15 octobre.

2.5. — Relations entre les diverses composantes de la croissance des racines et des parties aériennes

2.51. Remarques préliminaires.

Il convient de comparer les diverses courbes de croissance d'une année donnée, à deux niveaux différents :

- au niveau individuel,
- au niveau des moyennes.

En utilisant les courbes moyennes, on s'affranchit évidemment des éventuelles particularités du comportement individuel, ce qui, de prime abord, semblerait conférer une portée plus générale aux conclusions correspondantes. En fait, certaines relations peuvent se trouver masquées à ce niveau, si les phénomènes individuels sont décalés dans le temps.

Par ailleurs, l'existence de particularités individuelles répétées dans le temps fournit l'indice d'une variabilité génétique. On peut citer en particulier, pour ce qui concerne le nombre des suçoirs en activité :

- l'individu n° 5, caractérisé pendant les deux années par un maximum d'automne très marqué, nettement présent la deuxième année, alors qu'il disparaît chez la plupart des autres individus (figure 8) ;
- l'individu n° 4, caractérisé par un maximum de printemps très peu accentué, au point de disparaître presque lors de la deuxième année.

Enfin, il convient de noter que les phénomènes observés durant la première année d'observation, sont très probablement influencés par la crise de transplantation.

2.52. Résultats.

La comparaison des courbes (figures 6, 7, 8) permet de dégager les conclusions suivantes :

2.521. Relations entre le nombre des suçoirs en activité et la vitesse d'élongation des racines.

Au niveau des moyennes, le nombre des suçoirs en activité et la vitesse d'élongation des racines suivent des lois de variation grossièrement parallèles. On note cepen-

dant quelques différences : d'une part, lors de la première année d'observation, la courbe moyenne d'allongement ne comporte pas de maximum d'automne. En fait, ces maxima existent au niveau individuel, mais ne coïncident pas dans le temps. D'autre part, lors de la seconde année d'observation, les deux courbes moyennes sont décalées de trois semaines.

Au niveau individuel, les variations sont rarement concomitantes, surtout la première année. La seconde année, les maxima des deux courbes sont décalées de une à trois semaines ⁽¹⁾.

Les distorsions les plus flagrantes concernent surtout les périodes auxquelles le nombre des racines en cours d'élongation est faible (en raison de l'erreur sur l'estimation de la vitesse moyenne d'élongation, le fait est fréquent en automne notamment).

2.522. *Relation entre l'élongation de la pousse terminale et la croissance en diamètre.*

Nous avons représenté de deux manières différentes (figures 6 et 7) l'évolution des phénomènes en fonction du temps :

- courbe des accroissements cumulés (courbe I),
- courbe des accroissements courants (courbe II).

Nous raisonnerons essentiellement sur les courbes du type II.

Les observations de première année concernant l'élongation de la pousse incluent l'allongement du bourgeon terminal, et celui de la pousse d'août lorsqu'elle existe. Les observations de deuxième année, comme toutes les discussions qui suivent, ne concernent que l'élongation de la première pousse. La fin de ce dernier phénomène est repérée par une flèche sur les courbes de première année.

On discerne deux phases principales de croissance en diamètre, la première précédant légèrement le maximum d'élongation de la pousse terminale, la seconde plus tardive, et souvent plus marquée succédant à l'arrêt total de l'élongation en première pousse.

2.523. *Relations entre les composantes de la croissance des racines et des parties aériennes.*

Durée des phénomènes et échelonnement dans le temps :

Les résultats des courbes moyennes sont consignés dans le tableau 6.

On remarque d'abord que la période d'élongation de la pousse terminale est beaucoup plus courte lors de la première année d'observation, ce qui peut être interprété comme une conséquence de la crise de transplantation. Ce dernier phénomène ne modifie pas la durée de la période de croissance du diamètre et des racines.

Les résultats de la deuxième année d'observation apparaissent donc comme plus représentatifs. Ils montrent que :

- la croissance des parties aériennes dure moins longtemps que celle des racines ;

(1) Les sucoirs n'atteignent pas leur vitesse d'élongation maximum immédiatement après leur apparition.

— dans les conditions de l'expérience, la croissance des racines commence d'abord, la croissance du diamètre et l'élongation de la pousse terminale commencent trois semaines plus tard, l'élongation de la pousse terminale ⁽¹⁾ s'arrête assez rapidement, tandis que la croissance du diamètre et des racines se poursuit. L'arrêt de la croissance en diamètre précède de 5 semaines celui de la croissance des racines.

TABLEAU 6

Durée de végétation comparée des racines et des parties aériennes (moyennes sur 8 individus)

	1 ^{re} année (1968)			2 ^e année (1969)		
	Durée (semaines)	Début	Fin	Durée (semaines)	Début	Fin
Elongation de la pousse terminale ⁽¹⁾	8	18 avril	13 juin	15	3 avril	17 juillet
Accroissement en diamètre du collet	27	12 avril	17 octobre	27	3 avril	9 octobre
Présence de plus de 5 suçoirs en activité	34	21 mars	14 novembre	35	14 mars	13 novembre

2.524. *Relation entre l'élongation de la pousse terminale et le nombre des suçoirs en activité.*

Au niveau individuel, le nombre des suçoirs en activité passe nettement par un minimum lorsque la vitesse d'élongation de la pousse terminale atteint son maximum (figure 8). Les quelques rares exceptions se rencontrent en première année (notamment l'individu n° 7 utilisé en exemple). Le nombre des suçoirs en activité augmente ensuite lorsque la vitesse d'élongation diminue, et passe par un maximum lorsqu'elle s'annule.

Au niveau des moyennes, ces remarques se vérifient encore intégralement en deuxième année. En première année, le maximum de la vitesse d'élongation précède de deux semaines le minimum d'activité racinaire.

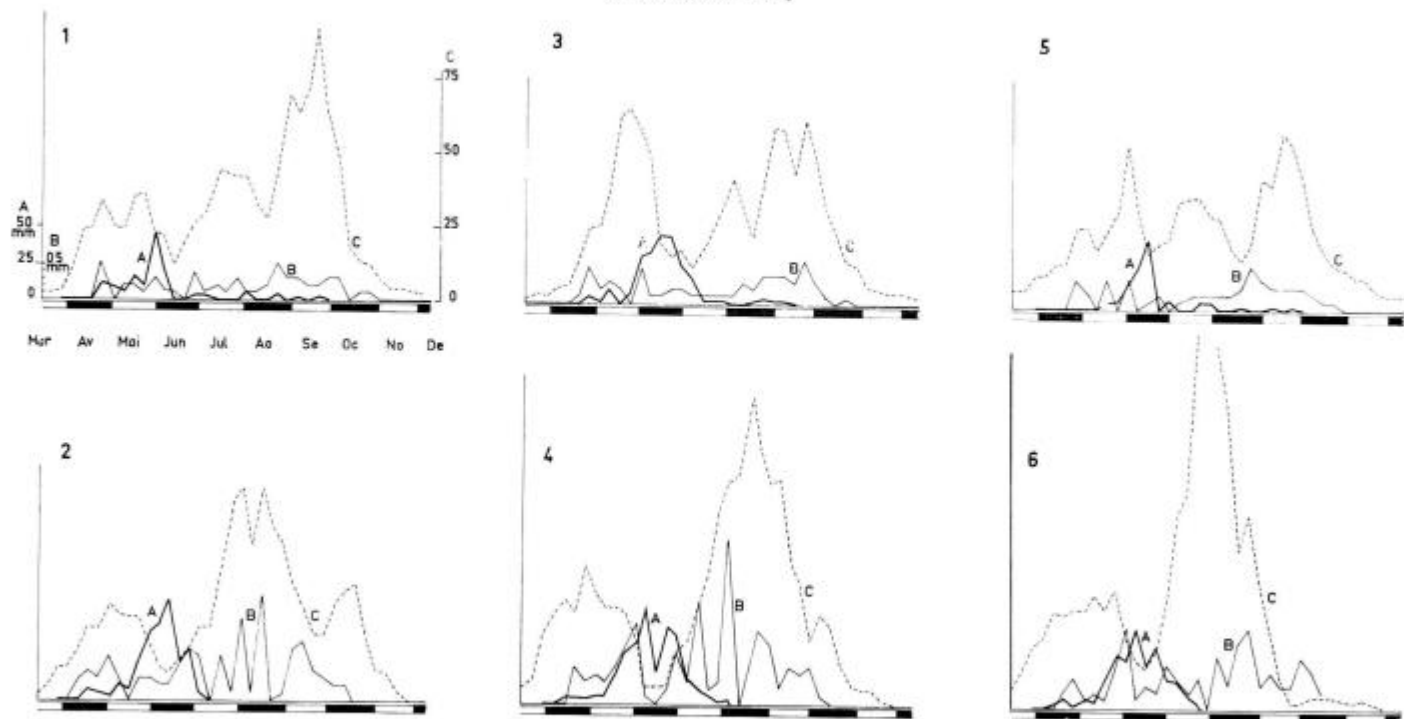
2.525. *Relation entre la croissance en diamètre et le nombre des suçoirs en activité.*

Au niveau individuel, la vitesse de croissance en diamètre et le nombre des suçoirs en activité passent ensemble par un minimum lorsque la vitesse d'élongation atteint son maximum (figure 8). La vitesse de croissance en diamètre, le nombre des suçoirs en activité (et fréquemment la vitesse d'élongation des racines) atteignent leurs valeurs maxima pendant la même période.

(1) En excluant les phénomènes qui succèdent à l'élongation de la première pousse : élongation du bourgeon terminal et éventuellement pousse d'août.

FIG. 8. — Relations entre l'activité des racines (nombre des suçoirs, courbe C), l'élongation de la pousse terminale (accroissements courants, courbe A) et la croissance en diamètre de la tige (accroissements courants, courbe B), au niveau individuel

[Connections between root activity (number of growing root tips, graph C), leader shoot length increment (weekly increment, graph A) and collar diameter growth (weekly increment, graph B) at individual level]



1. — Courbes de l'individu n° 5 (1968).
[Graph of n° 5 (1968)].
2. — Courbes de l'individu n° 5 (1969).
[Graph of n° 5 (1969)].

3. — Courbes de l'individu n° 6 (1968).
[Graph of n° 6 (1968)].
4. — Courbes de l'individu n° 6 (1969).
[Graph of n° 6 (1969)].

5. — Courbes de l'individu n° 8 (1968).
[Graph of n° 8 (1968)].
6. — Courbes de l'individu n° 8 (1969).
[Graph of n° 8 (1969)].

2.6. — *Influence des facteurs du milieu*2.61. *Température.*

La température de l'air augmente très irrégulièrement jusqu'en juillet-août pour décroître ensuite. Dans le sol, le schéma général est identique, mais l'amplitude des écarts diminue avec la profondeur.

Lorsque la température du sol tombe au-dessous de 4°C, le nombre des suçoirs en activité et leur allongement diminuent considérablement (en moyenne moins de 5 suçoirs en activité par individu avec une vitesse d'élongation inférieure à 2 mm par semaine).

La température du sol paraît conditionner le départ et l'arrêt de l'activité racinaire, entre temps, elle ne rend que très imparfaitement compte du phénomène.

Toutes conditions favorables par ailleurs, la vitesse d'élongation des racines suit l'évolution d'ensemble de la température de mars à novembre. Dans le détail, l'examen des courbes individuelles montre que, d'une part les variations hebdomadaires de la vitesse d'élongation ne sont de même sens que celles de la température que dans 54 % des cas (sur les 2 ans), d'autre part l'amplitude de ces variations est souvent hors de proportion avec celles de la température.

Toutes conditions favorables par ailleurs, le nombre des suçoirs en activité atteint ses valeurs maxima durant la période où la température du sol est la plus élevée (juillet-août), mais on constate qu'au niveau des courbes individuelles :

- d'une part, les variations hebdomadaires du nombre des suçoirs en activité ne sont de même sens que celles de la température que dans 52 % des cas (sur les 2 ans) ;
- d'autre part, et surtout, *l'existence de deux ou trois grandes « vagues » d'activité racinaire n'est pas explicable si l'on se réfère seulement aux variations de la température.*

Enfin, les seules variations de la température ne peuvent pas rendre compte des fluctuations enregistrées dans la vitesse de croissance en diamètre (les variations ne sont de même sens que dans 42 % des cas).

2.62. *Précipitations et pF du sol.*

Les précipitations et le pF du sol ne semblent influencer l'activité racinaire qu'en tant que facteur limitant.

Il faut noter que le schéma des variations du pF la première année (figure 6, graphique 4) est fondamentalement différent de celui observé habituellement dans un sol forestier en place ; en effet, le minimum est atteint durant la période estivale. Le fait mérite quelques explications ⁽¹⁾ :

— Il s'agit d'un sol rigoureusement nu car constamment désherbé. Les pins sont de faible dimension et espacés de 50 cm. Le pourcentage de recouvrement et le potentiel de transpiration sont donc faibles.

(1) AUSSENAC, Chargé de Recherches au C.N.R.F. (Station de Sylviculture) : communication personnelle.

— Il s'agit d'un sol sablo-limoneux, périodiquement biné. Une période sèche, lorsqu'elle s'installe assez rapidement, entraîne donc en surface la formation d'un « mulch » qui interdit l'assèchement progressif des couches profondes du sol par capillarité.

— Les précipitations estivales furent très importantes la première année.

— Malgré ces explications, les valeurs élevées du pF en mars-avril restent surprenantes. Pourtant, il y a tout lieu de penser qu'à cette époque les sondes mises en place trois mois plus tôt étaient déjà en équilibre avec le sol.

La seconde année, les contrôles de pF n'ont été effectués que de façon très discontinuë.

Durant la première année, le pF entre 10 et 80 cm de profondeur n'a jamais dépassé la valeur 3,2 ; les racines ont donc toujours bénéficié d'une alimentation en eau suffisante, et les précipitations en excédent sont restées sans effet dans ce sol bien drainé. La pluviométrie estivale était anormalement élevée cette année-là, et l'on pourrait être tenté d'y voir l'explication d'un maximum d'activité racinaire à cette saison.

Ce maximum subsiste néanmoins durant l'été relativement sec de la deuxième année. En fait, le sol bien approvisionné en eau jusqu'en juin, n'a subi qu'un assèchement modéré et progressif, sans conséquence immédiate sur l'alimentation des racines profondes. Par contre, en se prolongeant jusqu'au début novembre, la sécheresse semble avoir entraîné la disparition du maximum d'automne enregistré l'année précédente.

2.7. — Discussion

L'étude des rythmes naturels de la croissance racinaire est un problème complexe :

— Aucune des méthodes utilisables pour l'observation continue des racines n'est absolument satisfaisante : que les informations recueillies soient seulement fragmentaires (elles ne concernent jamais l'intégralité du système racinaire, mais seulement un échantillon plus ou moins représentatif), ou que les conditions normales de l'environnement, et par suite le comportement même des racines, soient modifiés.

— La croissance du système racinaire est en soi un phénomène complexe : nombre de suçoirs en activité, élongation et croissance en diamètre, en sont autant d'expressions complémentaires.

— Le polymorphisme racinaire est une difficulté supplémentaire. Les deux grands types de racines, morphologiquement bien différenciés : racines longues et racines courtes, ont des comportements et probablement des rôles physiologiques différents.

Dans ces conditions, quelles sont les limites de la méthode utilisée ?

Excepté le sol (idéalement favorable à la pénétration verticale profonde des racines), les facteurs de l'environnement naturel semblent peu modifiés. L'échantillon étudié peut être considéré comme représentatif de l'ensemble du système racinaire. Par contre, puisque la vitesse d'élongation des racines varie suivant leur type morphologique (racine longue ou racine courte), et probablement leur stade de développement (début, milieu, ou fin de la phase d'élongation), l'allongement *moyen* hebdomadaire recouvre des choses différentes. La critique concernant la confusion des types morphologiques s'adresse également au nombre des suçoirs en activité.

— La plupart des recherches sur les rythmes de l'activité racinaire étudient en fait les variations saisonnières de la vitesse d'élongation. La preuve en est donnée par

l'analyse bibliographique présentée par SUTTON [1969, (30)]. L'élongation racinaire commence plus tôt et se termine plus tard que l'élongation et la croissance en diamètre des parties aériennes. Elle atteint généralement son maximum en été (juin, juillet, août) pourvu que l'humidité du sol soit suffisante [CROSSLEY, 1956 (5) ; MULLIN, 1963 (15) ; LADEFOGED, 1939 (12)]. Nos résultats conduisent à des conclusions analogues. ORLOV [1960 (16)], travaillant sur l'épicéa, insiste sur les différences de comportement des longues racines latérales et des racines courtes. Les premières passent alternativement par des phases d'élongation rapide et de repos, tandis que l'élongation des secondes ne semble conditionnée que par la température et l'humidité du sol. LADEFOGED [1939 (12)] remarque également que l'élongation des racines courtes peut se produire durant toute la saison de végétation, dès lors que les conditions de milieu sont favorables.

En fait, l'élongation racinaire apparaît, pour la plupart des auteurs, comme principalement conditionnée par les facteurs externes.

BARNEY [1951 (1)], travaillant en milieu contrôlé sur *Pinus taeda*, a montré que les allongements journaliers augmentaient régulièrement avec la température, de 5°C (0,2 mm) à 25°C (5,2 mm), pour décroître ensuite jusqu'à 35°C. L'élongation racinaire est, d'autre part, influencée par l'humidité du sol [ROGERS, 1935 (19) ; LADEFOGED, 1939 (12)].

La plupart des auteurs s'accorde donc à conclure avec KRAMER et KOZLOWSKI [1960 (11)], qu'« apparemment les racines, contrairement aux parties aériennes de nombreuses plantes, n'ont aucune période de dormance propre. Il semble douteux que l'élongation racinaire obéisse à un rythme de périodicité interne ».

Concernant le premier point, dans les conditions naturelles, certains auteurs travaillant sur des espèces feuillues [COLLISON, 1935 (4) ; ENGLER, 1903 (6) ; LADEFOGED, 1939 (12) ; RICHARDSON, 1958 (18)], ou même résineuses [REED, 1939 (17)] ont effectivement montré que l'élongation racinaire pouvait se prolonger en hiver.

Concernant le second point, il nous apparaît difficile d'être aussi catégorique. En effet, les résultats mis en évidence dans cette expérience ne semblent pas pouvoir s'expliquer par l'action des seuls facteurs du milieu.

— Les variations saisonnières du nombre des suçoirs en activité sont plus rarement étudiées. Matériellement, elles sont cependant plus faciles à mettre en évidence. D'autre part, les résultats obtenus ici sur le Pin Laricio montrent un schéma d'alternance plus clair qu'en ce qui concerne la vitesse de l'élongation racinaire. Tout semble bien se passer, comme s'il existait une périodicité interne néanmoins susceptible de se modifier par le jeu des facteurs du milieu. En conditions favorables, le nombre des suçoirs en activité passerait par trois maxima (printemps, été, automne) ⁽¹⁾. Mais une période de sécheresse ou tout autre facteur défavorable pourrait changer ce rythme de base : c'est ce qui semble s'être produit durant notre deuxième année d'observation, avec la suppression du maximum d'automne. MORROW [1950 (14)], étudiant les variations du nombre des suçoirs en activité sur *Acer saccharum* arrive à des conclusions semblables.

(1) Dans un sol forestier en place, il n'est pas exclu que les choses se passent différemment, notamment que l'assèchement prononcé du sol en été entraîne une réduction marquée de l'activité racinaire.

— Existe-t-il des corrélations entre les phases de l'activité racinaire et la croissance des parties aériennes ?

La comparaison des courbes (figure 8) montre que : le nombre des suçoirs en activité passe par un minimum lorsque la vitesse d'élongation de la pousse terminale est à son maximum ; inversement, il atteint un maximum après l'arrêt de l'élongation. Cette observation est à rapprocher de celle de LADEFOGED [1939 (12)] montrant que chez de jeunes épicéas, l'élongation des racines longues s'interrompt presque complètement durant la phase de croissance active de la pousse terminale. Pour KIENHOLZ [1934 (10)], chez *Pinus strobus*, le premier maximum d'élongation racinaire coïncide avec celui de la pousse terminale, mais il faut bien voir que les données racinaires empruntées à STEVENS [1931 (23)] ne concernent, ni la même année d'observation, ni les mêmes arbres. Cet auteur montre également qu'un deuxième maximum d'accroissement en diamètre, sans doute associé à la formation du bois final, succède au maximum d'élongation de la pousse terminale. Cette remarque est à rapprocher de ce que l'on observe effectivement ici la première année.

Cette alternance des maxima de fonctionnement des différents méristèmes pourrait trouver une interprétation simpliste, au niveau des seuls équilibres trophiques (répartition de l'eau et des substances nutritives entre les organes de la plante).

La réalité est probablement beaucoup plus complexe ; en particulier, on concevrait mal que les mécanismes de la régulation hormonale n'aient aucun rôle dans l'explication du phénomène.

Comment relier les résultats obtenus sur les rythmes d'activité racinaire du Pin Laricio de Corse avec les problèmes concernant l'amélioration de la survie à la plantation ? On peut remarquer que les plants mis en terre en novembre ne commencent à fabriquer de nouveaux suçoirs qu'au printemps suivant. Dans la moitié Nord de la France, les plantations réalisées à la fin de l'hiver semblent donc bénéficier des conditions les plus favorables ⁽¹⁾ : les bourgeons de la partie aérienne sont encore dormants et, par suite, les besoins en eau de l'arbre restent modérés ; l'activité racinaire, plus intense au printemps qu'à l'automne, succède immédiatement à la plantation ; enfin, le sol est généralement bien approvisionné en eau à la fin de l'hiver. STONE et SCHUBERT [1959 (25)] parviennent à des conclusions semblables en ce qui concerne *Pinus ponderosa* : c'est au printemps, immédiatement avant le débourrement du bourgeon terminal, que l'apparition de nouveaux suçoirs est la plus intense, c'est donc à ce moment que les suçoirs lésés ou desséchés par la transplantation ont le plus de chance d'être remplacés rapidement.

Force est de reconnaître la portée limitée de cette conclusion pratique. Décevant ? Non, si l'on précise que cette étude n'est que le premier volet d'un programme expérimental plus vaste.

Dans l'espèce collective *Pinus nigra*, le Pin noir d'Autriche, par exemple (sous-espèce *nigricans*), a la réputation de reprendre plus facilement que le Pin Laricio de Corse ; en procédant par comparaison, on peut espérer faire ressortir les particularités

(1) Dans les régions sous influences méditerranéennes, cette conclusion n'est peut-être plus valable : d'une part en hiver les températures ne sont pas très basses et permettent probablement de maintenir une activité racinaire ralentie, d'autre part en raison de l'infidélité du climat, les sécheresses de printemps peuvent être relativement fréquentes.

de comportement du second, et par là, expliquer les causes de sa mauvaise reprise. Une étude utilisant la méthode décrite dans cet article est déjà engagée dans ce sens.

Par ailleurs, d'autres expériences incluant aussi la dimension génétique (plusieurs sous-espèces utilisées simultanément), mais concernant directement la reprise, sont poursuivies depuis plusieurs années. Elles étudient l'influence sur la reprise de divers facteurs :

- l'époque de la transplantation en liaison avec l'état physiologique du plant (nombre et nature des suçoirs actifs, présents lors de la transplantation ; potentiel de reconstitution des suçoirs lésés ou desséchés à l'arrachage ; bourgeons des parties aériennes, dormants ou non) ;
- l'âge des plants au moment de la plantation, et le mode d'élevage en pépinière (temps passé en semis, temps passé après repiquage) ;
- la dessiccation des racines (exposition des racines à l'air pendant des durées variables).

Seule la synthèse des résultats de toutes ces expériences fragmentaires sera en mesure de fournir une explication, et peut-être un remède à la mauvaise reprise du Pin Laricio de Corse.

Reçu pour publication en mars 1970.

REMERCIEMENTS

Que les personnels de la Station d'Amélioration des Arbres forestiers du C.N.R.F. qui ont collaboré à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements. En particulier, M. CORNU (Assistant) qui a organisé et dirigé les mesures de poids secs et de longueur des racines, et M^{me} AUBERT (Technicienne) qui a procédé à de nombreuses observations et au tracé des courbes.

Je remercie également MM. BONNEAU (Directeur de la Station de Recherches sur les Sols forestiers et la Fertilisation au C.N.R.F.) et TROCME (Maître de Recherches, Station centrale d'Agronomie de l'I.N.R.A.) dont les idées et les critiques ont contribué à la mise en forme définitive de cet article.

SUMMARY

ROOT GROWTH OF CORSICAN PINE (*Pinus nigra* ARN., SSP *Laricio*) AT EARLY STAGE. RELATION WITH GROWTH OF AERIAL PARTS AND ENVIRONMENTAL FACTORS.

The survival of Corsican Pine after plantation is often hazardous. This behaviour could be explained by investigations at root level. We have undertaken :

- to test a method to study root growth of forest seedlings, under conditions quite similar to reforestation,
- to analyse comparatively the growth periodicity of roots and aerial parts, in connection with environmental factors.

This preliminary study concerned 8 individuals, 3 years old at the beginning. They were planted on both sides of an underground root-observation room (fig. 1) and the following characters were observed weekly during 2 years :

roots	{	number of growing root tips
	}	Length increment of roots

aerial parts } Length increment of the leader shoot
 } diameter growth at collar level
 environment (air and soil temperature, rainfall, soil pF).

The main results are :

— The first year after plantation corresponds with a stage of deep occupation of soil (long and vertical roots, with few lateral ramifications); the second year corresponds mainly with the ramification (lateral, horizontal and shorter roots) of the deep system established during the previous year (fig. 3).

— The rooting of Corsican Pine at early stage, is at the same time, creeping and vertical (fig. 2). It is possible to distinguish several types of roots :

— long and vigorous roots with a strong growing tip (fig. 4),

— short and thin roots with a round and often mycorrhized growing tip (fig. 5),

— dwarf roots (some millimeters) stopping growth few time after their initiation.

— The whole root system represents only 26 % of the total dry weight against 43 % for the needles. The small secondary roots less than 1 mm in diameter, which represents only 7 % of the total dry weight, represent 67 % of the total root length. These very thin roots have the largest exchange-surface with the soil:

— During the first year, the first growing root tips appear only on mid-March, i.e. about 4 months after plantation. The number of the growing root tips shows 3 separate maxima with increasing importance, on May, July and September (fig. 6, graph 7). During the second year, the number of growing root tips shows only 2 maxima, on April-May and July-August (fig. 7, graph 7).

— The length increment rate of the roots varies more irregularly with : during the first year (fig. 6, graph 8) a main maximum on June-July and on an individual level 2 secondary maxima on May and October, during the second year (fig. 7, graph 8) a main maximum on August and 2 secondary maxima on May-June especially and September. On the whole, the length increment rate of the roots varies from 2 mm per week on March or November to 20 mm per week on July-August.

The long roots grow at the same time faster and longer than the short roots (tables 4 and 5).

— The number of the growing root tips and the length increment rate of the roots show roughly similar laws of variation.

— It is possible to distinguish 2 main periods of diameter growth (at collar level) : a first period, a little before the maximum of the length growth of the leader shoot, a second period later and often more important following the end of the length growth of the leader shoot (fig. 8).

— Growth of aerial parts is shorter (length growth of the leader shoot : 15 weeks, diameter growth at collar level : 27 weeks) than those of the roots (35 weeks).

— The number of growing root tips and the diameter growth rate often pass by a minimum when the length growth rate of the leader shoot reaches its maximum. The number of growing root tips passes by a maximum at the end of the length growth of the leader shoot (fig. 8).

— Soil temperature seems to control the beginning and the end of root growth. If all conditions are favourable in other respects, the length increment rate of roots and the number of the growing root tips reach their maximum values during the period where the soil temperature is highest. However, in details, the weekly variations of temperature alone are not able to fully explain the corresponding variations of root growth.

— Rainfalls and soil pF seem to influence root growth only as limiting factors. Particularly, the drought period which occurred on 1969 (second year, September 15-November 7) seems to have induced the lack of the fall maximum which was observed the previous year.

— Finally, environmental factors alone are not able to fully explain root growth. It seems they act only to change an internal periodicity.

Alternation of maxima of activity for different meristems (length growth of the leader shoot, growth of diameter and roots, fig. 8) could be over-simply explained only by the trophic balances (distribution of water and foods between the different parts of the tree). However, it is likely that the hormonal processes play a part in the explanation of the phenomenon.

— Practically, the seedlings planted on November begin to make new growing root tips only on following spring. Then, at least in the northern part of France, plantations of Corsican Pine undertaken at the end of winter, seem to have the best conditions for good survival.

Key of figures 6 and 7

Graph 1. — Rainfalls.

Graph 2. — Air temperatures (maxima and minima).

Graph 3. — Soil temperatures (depth 10 and 80 cm).

Graph 4. — Soil pF (depth 10 and 80 cm) only for 1968.

Graph 5. — Length growth of the leader shoot, mean graph.

(I = total increment, II = weekly increment; only for 1968, the arrow shows the end of increment for the first shoot).

Graph 6. — Stem diameter growth, 1 cm above the collar, mean graph.

Graph 7. — Number of growing root tips, mean graph.

Graph 8. — Length growth rate of roots (weekly increment) mean graph

Graph 9. — *Idem.* 5, but individual graph (tree n° 7).

Graph 10. — *Idem.* 6, but individual graph (tree n° 7).

Graph 11. — *Idem.* 7, but individual graph (tree n° 7).

Graph 12. — *Idem.* 8, but individual graph (tree n° 7).

ZUSAMMENFASSUNG

DAS WURZELWACHSTUM DES KORSISCHEN SCHWARZKIEFER (*Pinus nigra* ARN., SSP. *Laricio*) IM JUGENDSTADIUM. SEINE BEZIEHUNGEN ZUM OBERIRDISCHEN WACHSTUM UND DEN STANDORTFAKTOREN

Eine Besonderheit der korsischen Schwarzkiefer ist der oft wechselnde Auspflanzenerfolg. Unter den Faktoren die zur Erklärung dieser Erscheinung herangezogen werden können, muss auch die Wurzelentwicklung genannt werden.

In einem ersten Versuch wurden die folgenden Versuchsziele angestrebt:

— Ausarbeitung einer Methode zur Untersuchung des Wurzelwachstums von Forstpflanzen unter weitgehender Berücksichtigung der normalen Auspflanzungsbedingungen.

— Vergleichende Analyse des ober- und unterirdischen Wachstums unter Berücksichtigung der Standortfaktoren.

Diese erste Untersuchung wurde an acht, zu Versuchsbeginn dreijährigen Pflanzen durchgeführt, welche in eine unterirdische, mit Glaswänden versehene Versuchskammer eingebracht wurden (Abb. 1). Während zwei Jahre wurden wöchentlich die folgenden Merkmale beobachtet:

Wurzeln	{	— Anzahl der aktiven Wurzelspitzen
	}	— Wurzelwachstum
oberirdische Pflanzen-	{	— Sprosswachstum
teile.	}	— Durchmesserwachstum am Wurzelhals
Standort	}	— Luft- und Bodentemperatur, Niederschlag, pF Werte im Boden.

Die folgenden wesentlichen Ergebnisse wurden erzielt:

— Das erste Jahr nach der Auspflanzung entspricht einer vertikalen Kolonisationsphase des Bodens (lange und vertikale Wurzeln mit geringen seitlichen Verzweigungen).

— Das zweite Jahr entspricht im wesentlichen einer Verzweigungsphase (Abb. 2) des im ersten Jahr entwickelten Tiefwurzelsystems (kürzere und horizontale Seitenwurzeln).

— Die Bewurzelung der korsischen Schwarzkiefer im Jugendstadium ist sowohl vertikal als auch horizontal.

Man kann mehrere Wurzeltypen unterscheiden:

— lange und wuchskräftige Wurzeln mit einer grossen Endsaugwurzel (Abb. 4).

— Kurze, feinere Wurzeln, mit Optimats abgerundeten Enden und gelegentlich mit Mykorrhizen.

— Endwurzeln (einige Millimeter), welche kurz nach ihrer Ausbildung jedes Wachstum einstellen.

— Das gesamte Wurzelsystem beträgt nur 26 % der Gesamtrockenmasse während die Nadelmasse 43 % ausmacht. Die kleinen, sekundären Wurzeln von weniger als 1 mm Durchmesser welchen nur 7 % der Gesamtrockenmasse entsprechen, stellen jedoch 67 % der Gesamtwurzellänge dar. Diese kleinen, sehr feinen Wurzeln ergeben die grösste Austauschoberfläche mit dem Boden.

— Während dem ersten Jahr findet man die ersten Saugwurzeln erst um den 15. März, 4 Monate nach der Herbstpflanzung. Die Anzahl der aktiven Saugwurzeln zeigt deutliche Maxima mit steigenden Werten im Mai, Juli und September (Abb. 6, Kurve 7). Im zweiten Jahr findet man nur noch zwei Maxima im April/Mai und Juli/August (Abb. 7, Kurve 7).

— Das Längenwachstum der Wurzeln ist sehr unregelmässig. Im ersten Jahr zeigt sich ein Hauptmaximum im Juni/Juli und zwei sekundäre Maxima bei einzelnen Pflanzen im Mai und Oktober (Abb. 6, Kurve 8). Im zweiten Jahr ergibt sich ein Hauptmaximum im August und zwei sekundäre Maxima im Mai/Juni und insbesondere im September (Abb. 7, Kurve 8). Im allgemeinen beträgt das Längenwachstum ca. 2 mm pro Woche im März oder November und erreicht 20 mm pro Woche im Juli/August. Die langen Wurzeln wachsen schneller und ihre Wachstumsperiode ist gleichfalls länger als bei den Kurzwurzeln (Tab. 4 und 5).

— Die Anzahl der aktiven Saugwurzeln und das Längenwachstum der Wurzeln haben einen annähernd gleichen Verlauf.

— Das Durchmesserwachstum lässt zwei Hauptphasen erkennen; die erste Phase liegt kurz vor den Maximum des Höhenwachstums des ersten Triebes und die zweite, meist deutlicher ausgeprägte Phase zeigt sich am Ende des Höhenwachstums des ersten Triebes (Abb. 8).

— Das Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile ist wesentlich kürzer (Höhenwachstum des Haupttriebes: 15 Wochen, Durchmesserwachstum am Wurzelhals: 27 Wochen) als das Wurzelwachstum (35 Wochen).

Die Anzahl der aktiven Saugwurzeln und das Durchmesserwachstum zeigen oftmals ein Minimum, wenn das Höhenwachstum sein Maximum erreicht. Am Ende des Höhenwachstums zeigt sich ein Maximum an aktiven Saugwurzeln (Abb. 8).

— Die Bodentemperatur scheint Beginn und Ende des Wurzelwachstums zu bestimmen. Unter ansonsten gleichfalls günstigen Bedingungen erreicht das Längenwachstum der Wurzeln und die Anzahl der aktiven Saugwurzeln während der Periode der höchsten Bodentemperaturen ihr Maximum. Die wöchentlichen Schwankungen der Bodentemperatur kommen in Wurzelwachstum jedoch nur undeutlich zum Ausdruck.

— Die Niederschläge und die pH-Werte des Bodens scheinen die Wurzelaktivität nur beim Erreichen von Grenzwerten zu beeinflussen. Insbesondere die Trockenperiode vom 15.9 bis 7.11.1969 (zweites Versuchsjahr) scheint das Verschwinden des im Vorjahr festgestellten Augustmaximums verursacht zu haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Wurzelwachstum nicht ausschliesslich durch die Standortfaktoren erklärt werden kann; es scheint vielmehr, dass diese nur gelegentlich den internen Rythmus der Wurzelaktivität modifizieren.

Der Wechsel der Maxima der verschiedenen Meristembildungen (Höhenwachstum, Durchmesser — und Wurzelwachstum, Abb. 8) könnte in sehr vereinfachender Weise ausschliesslich durch die trophischen Gleichgewichte (Verteilung von Wasser und Nährstoffen innerhalb der Pflanzenorgane) erklärt werden. Es scheint jedoch sehr wahrscheinlich, dass auch die hormonale Regelung eine bedeutende Rolle spielt.

Die im November ausgesetzten Pflanzen bilden praktisch erst im darauffolgenden Frühjahr neue Saugwurzeln aus. Es folgt daraus, dass — zumindest für die nördliche Hälfte Frankreichs — eine Auspflanzung nach Winterende günstigerer Anwuchsbedingungen für die korsische Schwarzkiefer ergibt.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BARNEY C. W., 1951. Effects of soil temperature and light intensity on root growth of Loblolly pine seedlings. *Plant Physiol.*, **26**, 146-163.
- (2) BLAAUW A. H., 1923. [Small building constructions for physiological cultivation experiments]. *Meded. Landb-Hogeschool Wageningen*, **25** (3), 1-21.
- (3) BURSTRÖM (H.), 1953. Physiology of root growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **4**, 237-251.

- (4) COLLISON R. G., 1935. Lysimeter investigations. IV: Water movement, soil temperature and root activity under Apple trees. *Tech. Bull. N. Y. St. Agric. Exp. Sta.*, **237**, 26-31.
- (5) CROSSLEY D., 1956. The possibility of continuous planting of White Spruce throughout the frost-free period. *Tech. Note For. Br. Can.*, n° 32, pp. 31.
- (6) ENGLER A., 1903. [Root growth of woody species]. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.*, **7**, 247-317.
- (7) FARRAR J. L., HUNTLEY G. D., 1969. The effect of root pruning on root extension growth of *Pinus banksiana* and *Picea glauca* seedlings. *Annual report 1968-69*, Forest research, Glendon Hall Laboratory, Faculty of Forestry, University of Toronto.
- (8) HOFFMANN G., 1966. Verlauf der Tiefendurchwurzelung und Feinwurzelbildung bei einigen Baumarten. *Arch. Forstw.*, **15** (8), 825-856.
- (9) KAUFMAN C. M., 1968. Growth of horizontal roots, height and diameter of planted Slash Pine. *For. Sci.*, **14** (3), 265-274.
- (10) KIENHOLZ R., 1934. Leader, needle, cambial and root growth of certain conifers and their interrelations. *Bot. Gaz.*, **96**, 73-92.
- (11) KRAMER P. J., KOSLOWSKI T. T., 1960. *Physiology of trees*. Mc Graw-Hill, New-York, 1-642.
- (12) LADEFOGED K., 1939. Investigations on the periodicity of eruption and length of roots of some of our commonest tree species. Department of Forestry, Ottawa. [Transl. from *Forstl. Forsgsv. Danm.*, **16** (1), 1-256].
- (13) LEIBUNDGUT H., DAFIS S., 1964. [Croissance des racines de diverses espèces d'arbres forestiers. III — *Pinus sylvestris* et *Pinus nigra* var. *austriaca*]. *Schweiz. Z. Forstw.*, **115**, 444-50.
- (14) MORROW R. R., 1950. Periodicity and growth of sugar maple surface layer roots. *J. For.*, **48**, 875-881.
- (15) MULLIN R. E., 1963. Growth of White Spruce in the nursery. *For. Sci.*, **9**, 68-72.
- (16) ORLOW A. Ja., 1960. [Growth and age changes of absorbing roots of *Picea abies*]. *Bot. Z.*, **45**, 888-896.
- (17) REED J. F., 1939. Root and shoot growth of Shortleaf and Loblolly Pines in relation to certain environmental conditions. *Bull. Duke Univ. Sch. For.*, n° 4, pp. 52.
- (18) RICHARDSON S. D., 1958. Bud dormancy and root development. In *The physiology of forest trees* (Ed. K. V. Thimann), Ronald Press, New-York, pp. 409-25.
- (19) ROGERS W. S., 1935. Root studies. IX: Apple roots under irrigated conditions with notes on use of a soil moisture meter. *J. Pomology*, **13**, 190-201.
- (20) ROGERS W. S., 1939. Root studies. VII: A survey of the literature on root growth with special reference to hardy fruit plants. *J. Pomology*, **17**, 67-84.
- (21) ROGERS W. S., HEAD G. C., 1968. Factors affecting the distribution and growth of roots of perennial woody species. In *Root growth* (1969), *Proceedings of the Fifteenth Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham, W. J. Whittington, Edit., Butterworths, London, p. 280-293.
- (22) ROGERS W. S., 1968. The East Malling root-observation laboratories. In *Root growth* (1969), *Proceedings of the fifteenth Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham, W. J. Whittington, Edit., Butterworths, London, p. 361-376.
- (23) STEVENS C. L., 1931. Root growth of White pine (*Pinus strobus* L.). *Bull. Yale Sch. For.*, **32**, p. 62.
- (24) STONE E. C., 1955. Poor survival and the physiological conditions of planting stock. *For. Sci.*, **1**, 90-94.
- (25) STONE E. C., SCHUBERT G. H., 1959. Root regeneration of Ponderosa Pine seedlings lifted at different times of the year. *For. Sci.*, **5**, 322-332.
- (26) STONE E. C., JENKINSON J. L., KRUGMAN, 1962. Root regenerating potential of Douglas fir seedlings lifted at different times of the year. *For. Sci.*, **8**, 288-297.
- (27) STONE E. C. et al., 1963. Variation in the root regenerating potential of Ponderosa pine from four California nurseries. *For. Sci.*, **9**, 217-225.
- (28) STONE E. C., JENKINSON J. L., 1970. Influence of soil water on root growth capacity of Ponderosa Pine transplants. *For. Sci.*, **16** (2), 230-239.
- (29) STREET H. E., 1968. Factor influencing the initiation and activity of meristems in roots. In *Root growth* (1969), *Proceedings of the fifteenth Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham, W. J. Whittington, Edit., Butterworths, London, p. 20-39.
- (30) SUTTON R. F., 1969. Form and development of conifer root system. Technical communication n° 7. *Commonw. For. Bur.*, Oxford, England.
- (31) WOODS F. W., 1968. Root extension of forest trees: a method of investigation using radioactive tracers. In *Root growth* (1969), *Proceedings of the fifteenth Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham, W. J. Whittington, Edit., Butterworths, London, p. 413-17.