

**ANNALES
DE L'INSTITUT NATIONAL
DE RECHERCHES FORESTIERES
DE TUNISIE**

Baldy Ch., Poupon H., et Schoenenberger A.

**ETUDE DES VARIATIONS
DE LA TENEUR EN EAU DU SOL EN FONCTION
DU COUVERT VEGETAL EN TUNISIE DU NORD**

Vol. 4 — fasc. 3



1970

(I.N.R.F.T. — ARIANA (Tunisie))

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Agriculture
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIERES

Directeur : Hachmi HAMZA

Section de recherches :

Ecologie	H. GHORBAL
Pédologie	M. EL AOUNI
Graines	M. EL HAOUIMEL
Génétique	M. GHALI
Techniques de reboisement	B. BEN SALEM
Pâturages forestiers	
Biométrie et sylviculture	A. DJAZIRI
Technologie du bois	M. DAHMAN
Entomologie	K. M'SADDA
Démonstration et formation	A. BEN AMOR
Utilisation des arbres forestiers dans le sec- teur agricole	M. CHARFI

Directeur du Projet : Jacques MARION

L'Institut National de Recherches Forestières bénéficie depuis mai 1965 d'une aide du Programme des Nations-Unies pour le Développement dans le cadre spécifique de l'Institut de Reboisement de Tunis. On trouvera ci-après les noms des experts affectés par la F.A.O. à ce projet :

Ecologie	A. SCHOENENBERGER
Pédologie	P. DIMANCHE
Génétique	} A. FRANCKET J. VAN LEEUWEN
Techniques de reboisement	
Pâturages forestiers	P. ZIANI
Biométrie et sylviculture	E. ALBERT
Technologie du bois	M. MARIANI
Entomologie	C. CHARARAS
Démonstration et Formation	U. HOENISCH
Utilisation des arbres forestiers dans le sec- teur agricole	} E. VACCARONE E. VON AUFSESS

PUBLICATIONS

L'I.N.R.F. diffuse les publications suivantes : Annales, Bulletin d'information, Notes techniques et variétés scientifiques.

Les Annales paraissent annuellement.

Le Bulletin d'information paraît trimestriellement.

Les Notes techniques et variétés scientifiques paraissent au fur et à mesure des sujets à traiter.

Le service de ces différentes publications peut être fait à tous ceux qui le demandent.

Adresse : Route de la Soukra - Boîte Postale 2 - Ariana - (Tunisie) -
Téléphone : 280-757 et 283-320.

Baldy Ch., Poupon H., et Schoenenberger A.

**ETUDE DES VARIATIONS
DE LA TENEUR EN EAU DU SOL EN FONCTION
DU COUVERT VEGETAL EN TUNISIE DU NORD**

S O M M A I R E

	Pages
I. INTRODUCTION	3
II. MATERIEL ET METHODES	5
1) Avantages	
2) Inconvénients	
III. CARACTERISTIQUES EDAPHIQUES DES STA- TIONS	9
1) Sous <i>Eucalyptus maideni</i>	
2) Sous <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	
3) Sous <i>Pinus radiata</i>	
4) En clairière	
IV. RESULTATS, DISCUSSION	11
1) Le régime des pluies à Zerniza au cours des années 1967 et 1968	
2) Etude de la dé-saturation du sol en 1967	
3) Etude de la re-saturation du sol en 1967	
4) Evolution de l'eau dans le sol en 1968	
V. CONCLUSIONS	35
VI. RESUME	37
VII. BIBLIOGRAPHIE	39

I. INTRODUCTION

Le programme expérimental établi en Tunisie du Nord dans le cadre du projet de reboisement financé par le Fonds Spécial de l'O.N.U. devait notamment permettre d'établir pour quelques espèces forestières, les relations pouvant exister entre la croissance, le développement, la productivité et les facteurs extérieurs du milieu.

La recherche de ces corrélations nécessite un équipement important, mais la littérature à ce sujet est abondante. Parallèlement à l'influence de la température, l'importance du facteur « eau », a été abordée par de nombreux auteurs. Les physiologistes sont très partagés dès qu'il s'agit de déterminer le rôle des précipitations sur la croissance. Pearson (1918), Korstian (1921), Bell (1957), Mitchell (1965) trouvent des corrélations positives entre l'élongation de la pousse terminale et la hauteur des précipitations durant la période de croissance. Certains chercheurs insistent sur l'importance des pluies lors de la différenciation du bourgeon terminal (Motley, 1949). Ce dernier montre que la sécheresse des mois de mai à novembre en 1940 et 1944 a induit en 1941 et 1945 des accroissements très médiocres.

Outre les problèmes relatifs aux précipitations, il faut tenir également compte d'un autre aspect de l'alimentation en eau : celui de l'humidité du sol. Mac Dougal, qui en 1924 avec Shreve trouvait d'excellentes relations entre l'accroissement en diamètre chez *Pinus radiata* D. Don et les pluies, met en évidence un étroit rapport entre cette croissance et la teneur en eau du sol. Hutisch (1948) partage cet avis. Il ajoute que là où la quantité d'eau est suffisante dès le début du printemps, la croissance en hauteur dépend des pluies de l'année précédente. Si, par contre, les précipitations printanières sont faibles, l'allongement est à mettre en corrélation avec les pluies de l'année en cours.

La sur-saturation du sol, entraînant une mauvaise aération du sol, entrave considérablement le bon fonctionnement du système racinaire, et crée des conditions défavorables pour la croissance (Kramer (1949) et Orlov (1960)). Negisi et Satoo (1954) expérimentant au Japon sur *Pinus resinosa* Laws., observent que si la teneur en eau du sol se situe bien au-delà de la capacité au champ, le taux de photosynthèse est réduit

et la croissance également. Au fur et à mesure que le sol s'assèche, ce taux augmente jusqu'au moment où la quantité d'eau du sol atteint la valeur de la capacité au champ. Si la dessiccation continue, la photosynthèse et la croissance décroissent à nouveau.

En ce qui concerne Zerniza, il a semblé nécessaire, dans un premier temps de mieux connaître les mouvements de l'eau dans le sol sous différents couverts végétaux en fonction du régime des pluies. Cette étude a porté sur deux années successives : 1967 et 1968. Dans ce but, des séries de sondes en plâtre et nylon de Bouyoucos ont été utilisées sous *Pinus radiata* D. Don., *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., et *Eucalyptus maideni* F. Muell.

En 1968, le dispositif expérimental a été considérablement étendu et a permis d'aborder de nouveaux problèmes. C'est ainsi que l'on a pu suivre l'évolution de l'eau du sol sous *Eucalyptus saligna* Sm. et étudier l'influence d'un maquis persistant sous un couvert d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn. sur la dé-saturation et la re-saturation du profil. Les sondes de Bouyoucos ont enfin permis dans certains placeaux de *Pinus pinea* L. de déterminer des zones très hydromorphes; celles-ci avaient déjà été mises en évidence par le phytosociologue en notant la présence de plantes caractéristiques comme *Schoenus nigricans* et *Carex flacca*.

Dans une première partie, nous discuterons le choix de l'appareillage qui présentait l'extrême avantage d'effectuer des mesures « in situ » et continues. Dans un second temps, nous étudierons les résultats obtenus au cours des deux années 1967 et 1968. Ils ont permis une connaissance plus approfondie du milieu physique lui-même, et ils seront utilisés dans une étude ultérieure (Poupon, 1970) pour rechercher les relations existant entre les mouvements de l'eau dans le sol et la croissance de différentes espèces de pins et d'eucalyptus.

II. MATERIEL ET METHODES

Les méthodes utilisées pour mesurer l'humidité du sol peuvent être classées en deux grandes catégories (Kramer, 1949) selon qu'on mesure la teneur en eau du sol ou la tension d'humidité. Dans le premier groupe, on peut ranger :

— la méthode gravimétrique qui est longue, laborieuse et qui demande que les échantillons de terre soient mis à l'étuve portée à 105 degrés, ce qui entraîne la disparition des substances volatiles (Vander Marel, 1959). De plus, elle ne convient pas à l'étude des variations quotidiennes de l'humidité du sol.

— la méthode par dispersion des neutrons qui demande un matériel complexe d'emploi délicat et qui, comme la précédente, nécessite une mise de fonds considérable pour des mesures continues. Elle a été très utilisée; citons par exemple : Underwood, Van Bavel et Swanson (1954), Holmes (1956), Kuranz (1960), De Vries et King (1961), Wack (1962). Son emploi est généralisé dans certains pays comme Israël en agriculture irriguée;

— la méthode par absorption des rayons gamma.

Dans le second groupe, on peut ranger les méthodes de mesures tensiométriques (qui sont d'une grande précision pour de faibles déficits hydriques) et les mesures de résistance électrique.

Nous avons retenu la méthode mise au point par Bouyoucos et Mick (1940) qui consiste à mesurer la résistance électrique d'un bloc de plâtre, muni de deux électrodes, et enfoui dans le sol. Depuis 1940, ces appareils ont été améliorés à plusieurs reprises :

soit en enrobant les blocs d'une résine de nylon pour les rendre moins vulnérables (Bouyoucos, 1953);

soit en construisant de nouveaux types d'électrodes pour augmenter la sensibilité de l'appareil;

soit en utilisant des blocs de gypse, puis des unités absorbantes fabriquées au moyen de fibres artificielles pour améliorer leur capacité d'amortissement quand la concentration du sol se modifie, (tissu nylon par Bouyoucos et Mick en 1948 ou « fiberglass » dont l'emploi a été préconisé par Col-

man en 1946 et par Colman et Hendrix en 1949). Les appareils utilisés à Zerniza sont les blocs en plâtre et nylon mis au point par Bouyoucos (1954).

L'utilisation de ces blocs présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients.

1°) avantages :

— les sondes sont en permanence dans le sol et fournissent des mesures « in situ »;

— elles permettent de suivre l'humidité du sol du point de flétrissement à la capacité au champ (tout au moins avec le pont utilisé à Zerniza);

— c'est un matériel simple et économique, ce qui permet de multiplier les points de mesure;

— Wilcox (1961) a montré que l'effet des mouillages et séchages successifs n'affectaient pas les blocs.

2°) inconvénients :

— ces appareils ont de faibles marges de sensibilité (10^2 à 10^6 mhos);

— ils peuvent se désagréger après plusieurs mois de fonctionnement en milieu saturé d'humidité; c'est ce qui a incité Bouyoucos et Mick (1948) à utiliser des fibres artificielles;

— leur étalonnage est difficile à réaliser avec précision et il se fausse avec le temps;

— les modifications du contact entre le sol et le bloc peuvent entraîner d'autres erreurs. Enfin, la présence de fils électriques dans le sol favorise des zones d'écoulement privilégié qui nuisent à la précision de la mesure.

A Zerniza, il nous est apparu que l'utilisation de cet appareillage pouvait donner une idée, sous réserve de limitation d'ordre quantitatif, quant à l'activité des racines. De plus, une installation permanente devenait nécessaire dès lors qu'on voulait évaluer la pénétration des premières pluies à l'automne ou déterminer l'épaisseur de la couche de sol dont l'eau est extraite.

Le dispositif expérimental a fait l'objet d'une précédente note (Baldy et al. 1969). Rappelons qu'il a été installé en deux temps :

— au cours de l'année 1967, six séries de sondes ont été placées dans l'arboretum. Chaque série comprenait six blocs de plâtre et nylon situés à 10, 25, 50, 75, 100 et 125 centi-

mètres de profondeur. Elles permettaient de suivre l'évolution de l'eau du sol dans quatre situations :

en clairière

sous *Pinus radiata* D. Don.

sous *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.

sous *Eucalyptus maideni* F. Muell. Dans ce dernier cas, afin de connaître l'influence des travaux préparatoires du sol avant la plantation sur la rétention de l'eau, une série de sondes fut installée entre deux billons, et deux autres sur le billon, respectivement à un mètre et deux mètres de la base d'un tronc d'eucalyptus.

— en 1968, ce dispositif fut complété et amélioré :

sous *Eucalyptus maideni* F. Muell., une nouvelle série de sondes fut mise en place, et certaines ont été enfouies jusqu'à deux mètres de profondeur;

sous *Eucalyptus saligna* Sm. Cette espèce est installée sur une terrasse limoneuse qui présente des caractères édaphiques particuliers;

sous *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. dans deux placeaux contigus qui avaient été totalement défrichés au moment de la plantation. Après celle-ci de nombreux travaux d'entretien furent effectués dans le premier; dans le second, par contre, on a laissé se réinstaller le maquis formé de calycotomes et de cistes. Il a semblé intéressant de suivre l'influence de ce maquis sur les mouvements de l'eau au cours de l'année;

sous *Pinus pinea* L. dans deux placeaux de pin pignon apparaissaient de grandes zones d'hydromorphie dans lesquelles les arbres croissaient lentement. L'installation de séries de sondes dans deux milieux différents et cependant juxtaposés devaient permettre là aussi de mettre en évidence les relations existant entre la saturation du profil et la croissance des pins.

III. CARACTERISTIQUES EDAPHIQUES DES STATIONS

1°) Sous *Eucalyptus maideni*

Sous 20 cm de texture sablo-limoneuse (capacité de rétention : 8,5 % d'humidité), très peu humifère (0,7 % de matière organique), se présentent 30 cm de sol plus argileux (texture équilibrée), de capacité de rétention de l'ordre de 16,5 %, très consistant et cohérent. A partir du 30 cm, les racines sont peu abondantes.

De 50 à 90 cm, on note la présence d'un matériel plus grossier (sablo-argileux), à caractère nettement alluvial (petits cailloux roulés). La capacité de rétention redescend à 9,2 %.

Au-delà de 90 cm, réapparaît un sol de texture moyenne (capacité de rétention : 16,7 %) où le pseudogley est intense mais surtout sous forme de taches ocre, les taches grises étant peu abondantes. L'ensemble apparaît donc bien aéré.

2°) Sous *Eucalyptus camaldulensis*

Sous un horizon humifère (2,1 % de matière organique) sablo-limoneux (capacité de rétention 8,9 %) meuble et peu structuré, se reconnaît un horizon lessivé (A₂), sablo-argileux à sablo-limoneux, riche en cailloux et à structure peu développée (fondu).

L'horizon d'accumulation de 30 à 50 cm, nettement plus argileux (35,5 % d'argile) présente de ce fait une structure bien développée. Les racines y sont encore assez abondantes.

Au-delà de 50 cm, on passe à un matériel argileux, généralement riche en cailloux (capacité de rétention 26 %). Le pseudogley y apparaît, encore peu intense à 75 cm.

3°) Sous *Pinus radiata*

L'horizon humifère est bien développé et de texture assez légère. De 7 à 20 cm, on note encore 1,3 % de matière organique, ce qui donne une capacité de rétention de 12,2 % malgré une texture limono-sableuse (10,09 % d'argile). De 20 à 50 cm, la texture est équilibrée (capacité de rétention 17,3 %), et dépourvue de cailloux dans l'ensemble.

Au-delà de 50 cm, on passe à un matériel argileux riche en cailloux (capacité de rétention 27,2 %) où le pseudogley est faible au-delà de 70 cm.

4°) En clairière :

Sous 30 cm, de texture sablo-limoneuse (capacité de rétention 9,3 %) peu humifère et peu structurée, apparaît un niveau argilo-limoneux, peu caillouteux, fortement tacheté de pseudogley. Au-delà de 60 cm le sol est argileux mais riche en cailloux (capacité de rétention 21,6 %).

Au total on note deux grands types de profils : sous *E. maideni*, la texture n'est jamais très argileuse (moins de 30 %), pauvre en cailloux, il s'agit d'un matériel alluvial se rattachant au niveau de terrasse.

Dans les trois autres stations sous 50 à 60 cm de sol assez léger, on passe à une argile mêlée de cailloux. Ce profil est plus tronqué en clairière.

IV. RESULTATS - DISCUSSION

1°) Le régime des pluies à Zerniza au cours des années 1967 et 1968.

On a adopté dans l'énoncé des résultats obtenus les saisons agricoles : automne (septembre, octobre et novembre), hiver (décembre, janvier et février), printemps (mars, avril et mai) et été (juin, juillet et août).

Le tableau I indique la répartition des pluies mensuelles à Zerniza de novembre 1966 à février 1969.

TABLEAU I

Mois	1966	1967	1968	1969
Janvier.....	—	121	193	132
Février.....	—	157	71	139
Mars.....	—	39	21	—
Avril.....	—	77	37	—
Mai.....	—	97	31	—
Juin.....	—	6	34	—
Juillet.....	—	0	0	—
Août.....	—	0	2	—
Septembre.....	—	62	19	—
Octobre.....	—	91	46	—
Novembre.....	274 (1)	69	166	—
Décembre.....	284	182	267	

(1) en vingt jours seulement de mesure.

TABLEAU II

Le tableau II indique la répartition saisonnière de ces précipitations (1).

Saison	1967	1968	1969
Total.....	562	446	538
Automne.....	213	89	—
Eté.....	6	36	—
Printemps.....	222	231	—
Hiver.....	1003	802	—

Au cours de cette période, si le nombre de jours de pluie a peu varié (106 jours en 1967 et 100 jours en 1968), les quantités d'eau ont été très différentes puisque les précipitations totales annuelles ont atteint 1003 mm en 1967 et 802 mm seulement en 1968 (Baldy et al. 1970).

L'hiver est la saison la plus pluvieuse. En effet, au cours de ces trois mois, il tombe 55 % de la pluviosité annuelle en 1967 et 58 % en 1968. L'automne est la seconde saison du point de vue importance des précipitations avec 23 % de la hauteur annuelle en 1967 et 26 % en 1968. En fait, à cette époque de l'année, c'est plus la précocité que la quantité d'eau qui est intéressante. Le mois de septembre 1967 fut beaucoup plus arrosé que celui de 1968. L'automne 1966, année de l'installation de la station, fut peu arrosé en septembre et octobre alors que novembre fut très pluvieux. Au printemps, la variabilité des pluies est très grande : 215 mm (21 %) de la pluie annuelle en 1967 et 89 mm seulement (11 %) en 1968. Pour ces précipitations qui marquent la fin de la saison pluvieuse, les deux facteurs (hauteur et répartition) sont aussi importants l'un que l'autre. L'été est la saison la plus sèche : 1 % de la pluviométrie annuelle en 1967 et 5 % en 1968. Notons cette année là, l'existence de pluies relativement tardives en juin (34 mm). Les précipitations sont nulles en juillet et août.

2°) Etude de la dé-saturation du sol en 1967.

Les pluies de l'automne 1966 avaient été très abondantes et les sondes ont été installées en terrain humide. Dès qu'elles ont pu répondre, on a noté 100 % dans tous les profils. On

(1) Toutes les précipitations sont exprimées en millimètres.

étudiera donc les dé-saturation et re-saturation de 1967 et 1968. Les mesures se sont arrêtées en 1969 avant qu'on puisse observer la dé-saturation.

— Sous *Eucalyptus maideni* F. Muell.

Nous avons vu que trois séries de sondes ont été installées dans ce plateau. L'évolution de la quantité d'eau du sol est donnée par les figures 1a, 1b et 1c.

Profil I. — C'est le premier à se dé-saturer en surface. Ce sont les sondes placées sur le billon à un mètre de la base du tronc d'un eucalyptus. Il existe à cinquante centimètres, un niveau peu utilisé par les racines. Il faut attendre la dé-saturation complète des 25 premiers centimètres pour que l'arbre utilise la tranche 50-75 centimètres. On remarque la brutalité de la dé-saturation par tranches. Les premiers jours de juin, malgré les pluies du mois de mai, le profil est apparemment sec sur les 125 premiers centimètres (Figure 1a).

Profil II. — On a sur-saturation en surface car il est situé entre deux billons. Les racines sont actives entre 25 et 50 centimètres en premier lieu, et plus en profondeur, on retrouve les phénomènes relevés pour le profil I, mais beaucoup moins accentués. Une alimentation en eau entre 75 et 100 centimètres au mois de mai, à la suite des pluies, relève l'humidité du profil. La consommation de l'eau par l'arbre est considérable, et le profil s'assèche début juin. (Figure 1b).

Profil III. — On voit considérablement exagéré par rapport au profil I, réapparaître le niveau 50-75 centimètres qui reste saturé très longtemps. On constate également une réalimentation comme dans la série précédente. Le niveau 75-100 centimètres est très utilisé par les racines malgré une certaine réalimentation au mois de mai. Comme dans les profils précédents, le sol est apparemment sec dès le début du mois de juin (Figure 1c).

Sous *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. (Figure 2).

La dé-saturation du sol est en tout point comparable à celle observée sous *Eucalyptus maideni* F. Muell., mais les réalimentations en surface succédant aux pluies sont très visibles. Le sol s'assèche très rapidement sur les cinquante premiers centimètres.

Le niveau peu utilisé se situe autour de 100 centimètres, il est très vite marqué. L'arbre utilise assez mal semble-t-il l'eau profonde dont il dispose. Une étude du système racinaire entreprise au cours de l'année sur des individus voisins (Poupon 1970), a permis de constater un maximum de racines latérales dans les quarante premiers centimètres, et l'existence

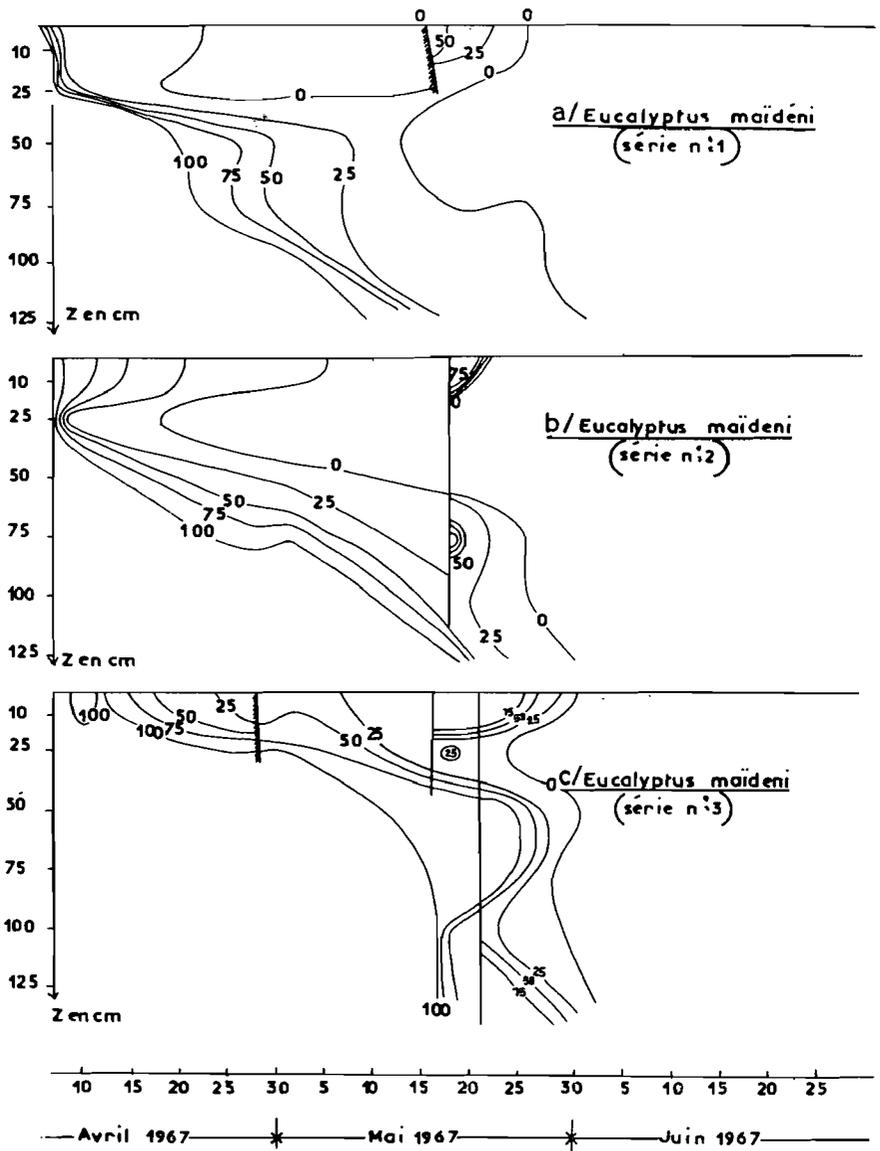


Fig. 1 - Désaturation du sol sous couvert d'*Eucalyptus maideni* F. Muell.

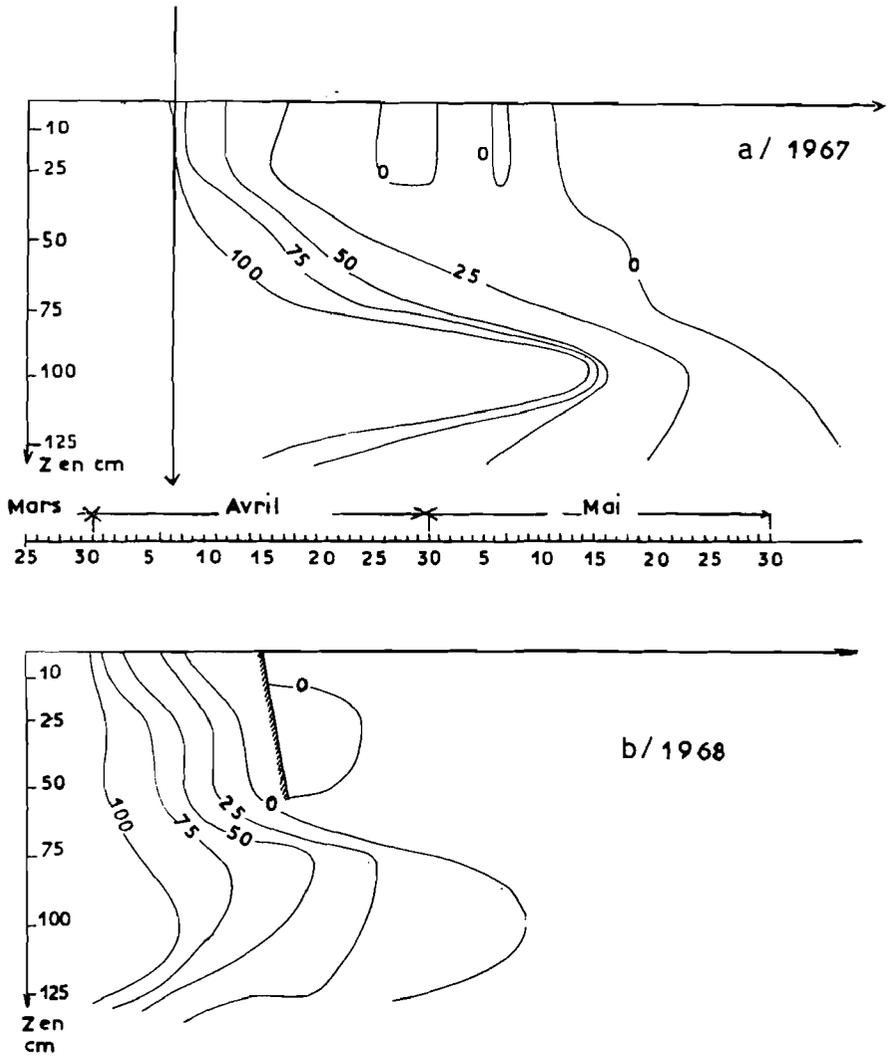


Fig. 2 - Etude de la dé-saturation du sol sous *Eucalyptus camaldulensis* à l'aide de secondes de Bouyoucos.

d'un pivot central atteignant 2,80 mètres de profondeur. Le profil est sec les premiers jours du mois de juin.

— Sous *Pinus radiata* D. Don. (Figure 3).

Il apparaît immédiatement que l'assèchement du profil débute quand, sous les eucalyptus, la dé-saturation est déjà terminée. Un niveau peu utilisé (entre 25 et 50 centimètres) domine une tranche de sol efficace située entre 50 et 75 centimètres. Il semble que le système racinaire ne dépasse pas un mètre d'une façon utile car la dé-saturation des couches profondes se poursuit en fait très lentement au cours de l'été.

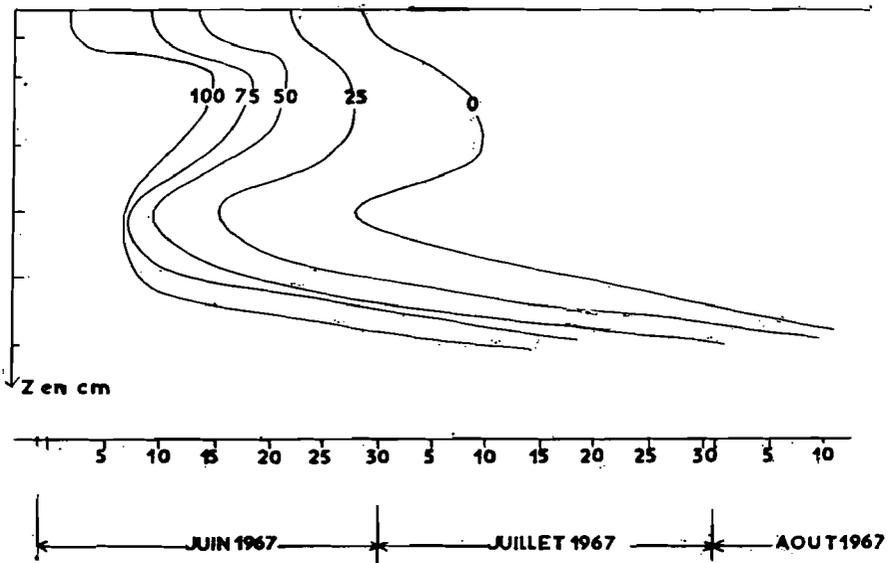


Fig. 3 - Dé-saturation sous couvert de *Pinus radiata* D. Don en été 1967

— En clairière (Figure 4).

Les phénomènes rencontrés précédemment sont encore plus accentués. L'humidité du sol diminue très lentement, et au cours de l'été, la dé-saturation en profondeur est tardive. L'absence de végétation, à l'exception de très petits pins chétifs, fait que l'eau se conserve dans le sol. On remarque entre 50 et 75 centimètres des seuils brusques de déshumidification qui sont comparables aux réactions de *Pinus radiata* D. Don, dans le même niveau.

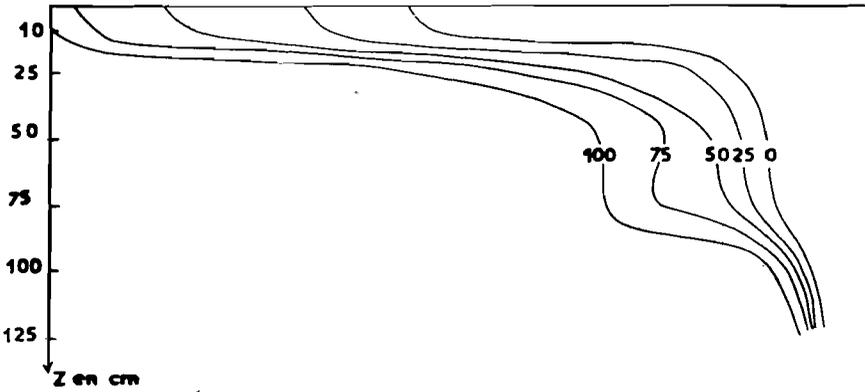


Fig. 4 - Dé-saturation en clairière en été 1967

3°) Etude de la re-saturation du sol en 1967.

— Sous *Eucalyptus maideni* F. Muell. (Figures 5a 5b et 5c).

Les phénomènes de re-saturation apparaissent toujours plus complexe que les précédents, et beaucoup plus tributaires des pluies.

Profil I. — La re-saturation du profil est lente : les horizons profonds (au-dessous de 100 centimètres) ne sont jamais totalement réhumidifiés. Nous retrouvons là un des inconvénients du système des sondes de Bouyoucos : le bon fonctionnement des blocs enfouis dans le sol est difficile à contrôler sans perturber toute la série de mesures.

Les premières pluies du 11 septembre mouillent peu le profil si ce n'est en surface et à cinquante centimètres : on retrouve là, une zone déjà remarquée où la dé-saturation était lente, la re-saturation par contre, s'effectue très rapidement ce qui tendrait à prouver qu'elle correspond à un niveau peu utilisé par les racines. Il faut attendre la fin du mois de décembre pour que le profil commence à s'humidifier lentement sur les cinquante premiers centimètres. Ce niveau doit en outre, recevoir un écoulement car sa re-saturation est plus marquée qu'en surface.

Profil II. — On retrouve à 75 centimètres de profondeur, le phénomène constaté précédemment à 50 centimètres. Les premières pluies de septembre ne pénètrent pas suffisamment pour que l'appareil puisse fournir une réponse décelable. Il faut attendre véritablement le 19 décembre pour que l'eau pénètre dans le sol. A cette époque encore, on constate que

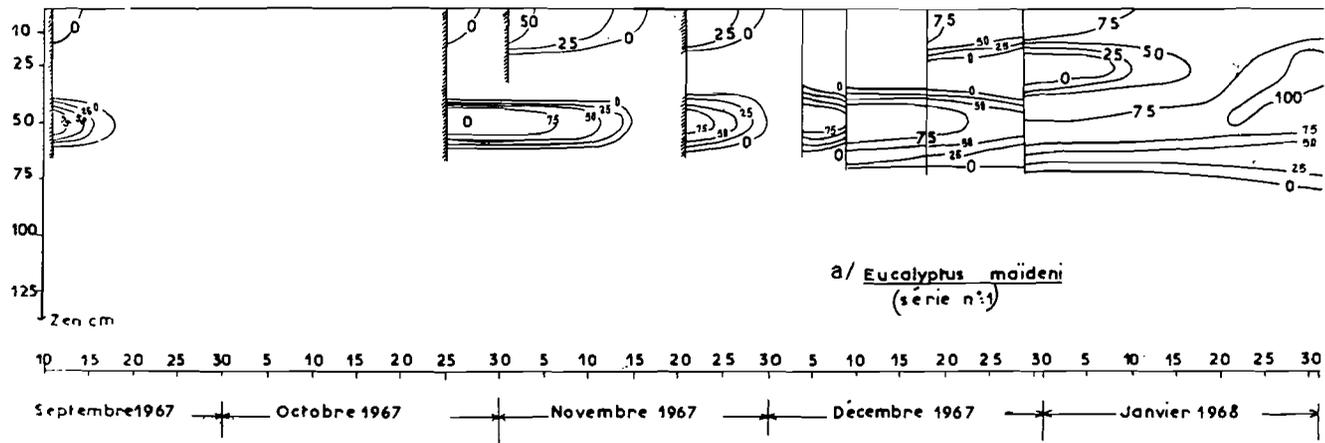
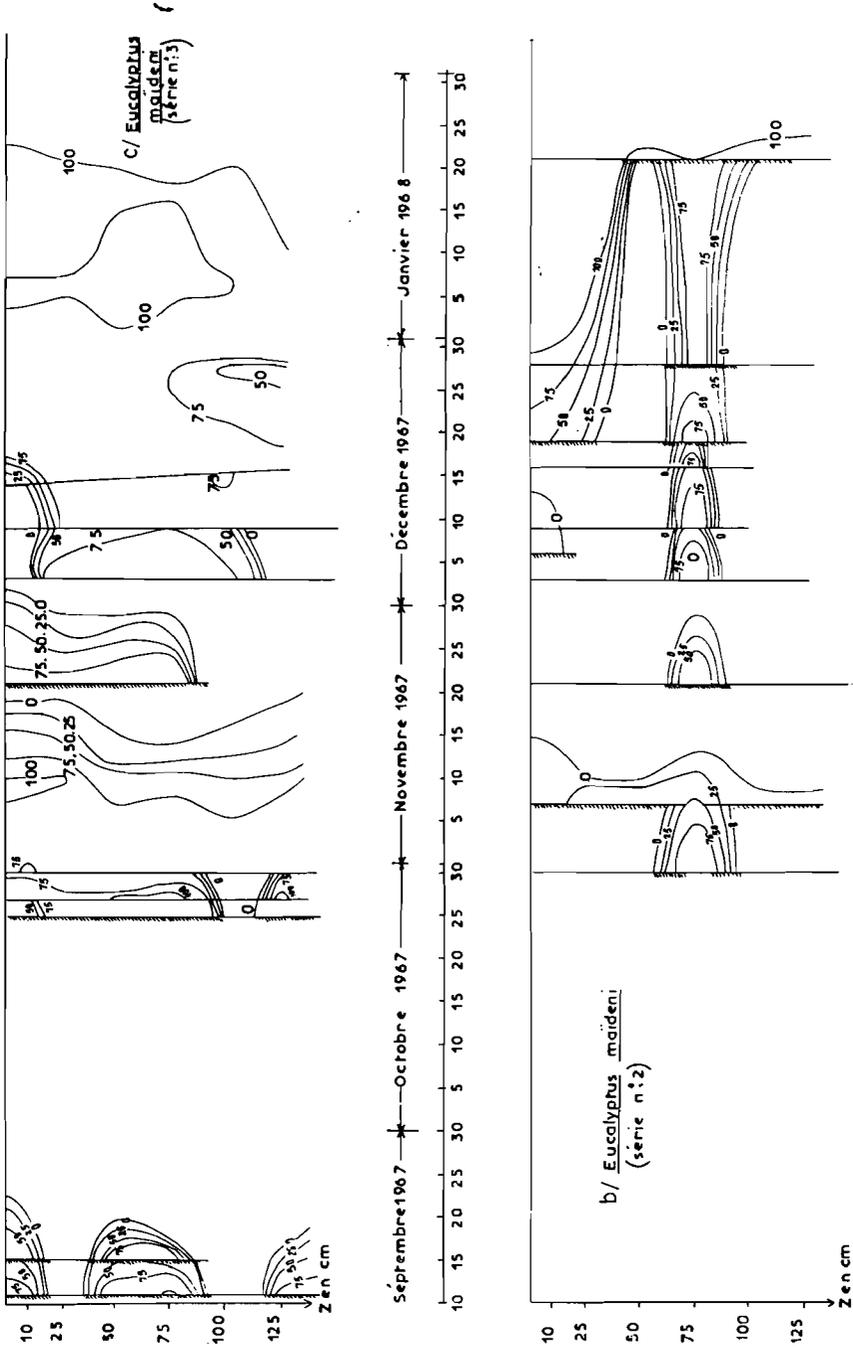


Fig. 5 a - Re-saturation du sol sous couvert d'*Eucalyptus maideni* F. Muell en 1967-1968.



Re-saturation du sol sous couvert d'*Eucalyptus maideni* F. Muell en 1967-1968.

la tranche de sol située entre 25 et 75 centimètres se caractérise par une grande activité racinaire. Le profil se re-sature totalement après les pluies du 20 janvier.

Profil III. — C'est celui qui se réhumidifie le plus rapidement. Les sondes sont situées à deux mètres de la base d'un tronc d'eucalyptus, ce qui semblerait donc indiquer que peu de racines exploitent cette zone. Au mois de décembre, les couches profondes s'assèchent mais les pluies du 20 janvier réhumectent tout le profil.

— Sous *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. (Figure 6).

Contrairement à tout ce qu'on observe sous *E. maideni* F. Muell., le profil se re-sature très vite à la fin du mois d'octobre. Cette réhumidification est suivie d'un nouvel assèchement du sol. Les précipitations du début décembre entraînent de nouveau un phénomène inverse : l'eau pénètre lentement. Au début du mois de janvier, le profil est totalement saturé.

— Sous *Pinus radiata* D. Don. (Figure 7).

Nous avons vu que sous ce pin, le sol commençait à se dé-saturer quand le profil sous eucalyptus était déjà totalement sec. On assiste ici au phénomène inverse : la réhumidification est terminée quand elle ne fait que débiter sous les eucalyptus. L'activité racinaire de ces derniers est beaucoup plus importante, et les bilans hydriques au niveau des peuplements diffèrent donc considérablement.

Les toutes premières pluies, celles du 11 septembre, mouillent déjà les horizons de surface, et s'infiltrent légèrement en profondeur. La pénétration des précipitations du 27 octobre se marque encore plus, bien qu'elles interviennent après une dé-saturation presque totale du profil. Les premiers jours de novembre, la saturation du sol est terminée.

— En clairière (Figure 8).

Les phénomènes précédemment observés sont tout aussi marqués, et le profil se re-sature dès les premiers jours de novembre. Mais la pluie du 11 septembre avait mouillé le sol sur plus de 25 centimètres et un peu en profondeur (autour de 100 centimètres). Par contre, par suite de l'absence de couvert végétal, l'humidité atmosphérique diminue et sous l'effet de l'évaporation, on constate quelques tentatives d'assèchement superficiel vite limitées par les précipitations de novembre et décembre.

4°) Evolution de l'eau dans le sol en 1968.

— Sous *Eucalyptus maideni* F. Muell.

Si nous étudions les résultats obtenus dans les profils II et III, nous retrouvons au moment de la dé-saturation du

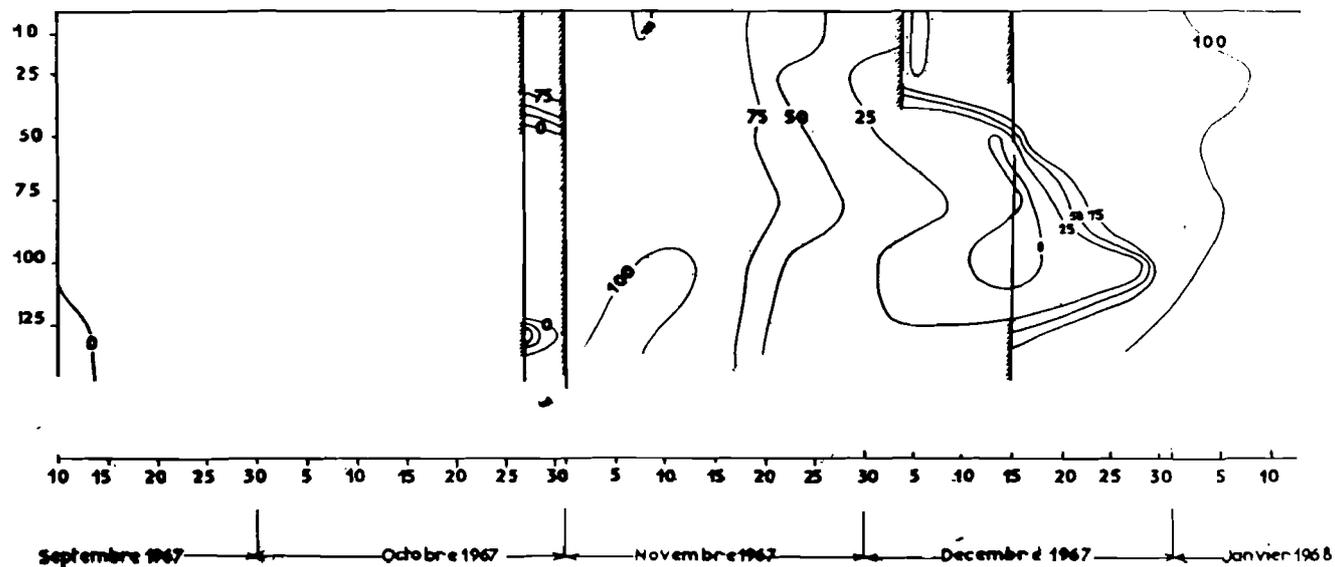


Fig. 6 - Re-saturation du sol en 1968 sous *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.

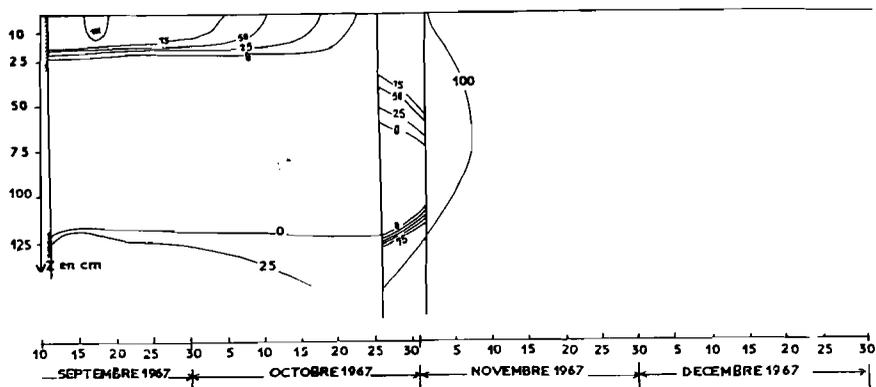


Fig. 7 - Re-saturation du sol *Pinus radiata* D. Don en 1967

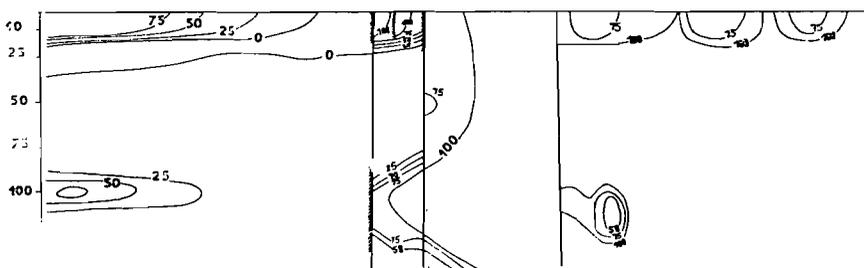


Fig. 8 - Re-saturation du sol en clairière en 1967

sol au printemps les mêmes évolutions que celles décrites dans le paragraphe précédent (figures 9a et 9b). Les sondes de la série 1 ont très mal fonctionné, ce que nous pouvions supposer lors de l'étude de la re-saturation à l'automne précédent.

La seule différence frappante entre les deux années considérées vient d'un écart dans les dates de début de l'assèchement. Celui-ci est beaucoup plus précoce en 1968. En comparant les quantités de pluies à la fin de l'hiver et au printemps, on remarque de grandes différences au cours du mois de février (157 mm en 1967 et 70 mm seulement en 1968) et au printemps (215 mm en 1967 et 86 mm en 1968).

En 1968, la désaturation débute dès le mois de février et est totalement terminée vers le 15 mai. Les pluies de juin, importantes pour l'époque, ne pénètrent pas profondément dans le sol, et en tout cas, leur abondance n'est pas telle qu'elles provoquent une réaction des sondes.

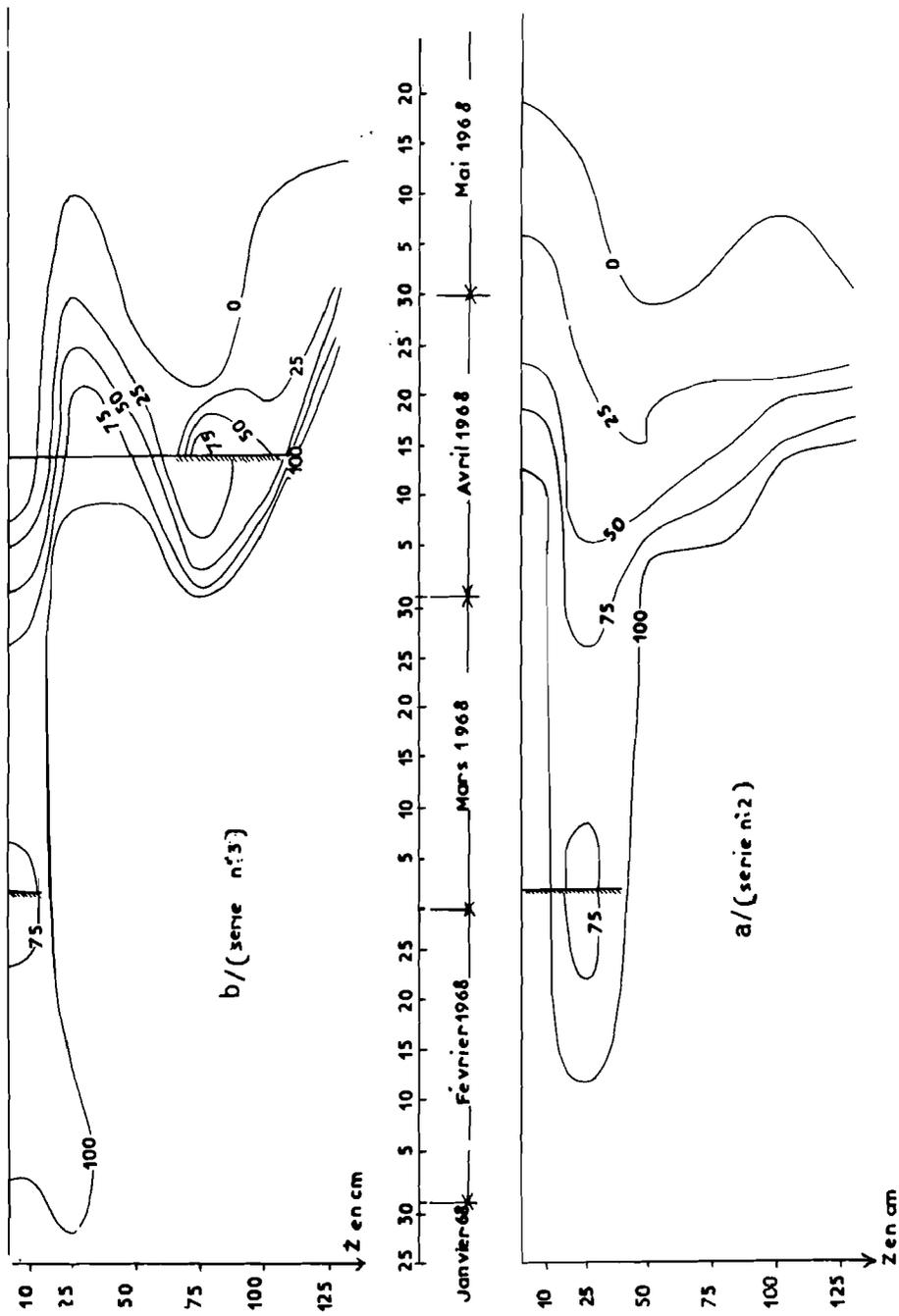


Fig. 9 - Désaturation du sol en 1968 sous *Eucalyptus maideni* F. Muell.

De la même façon, on pourrait constater que la saturation du sol en automne est analogue à celle de l'année précédente.

L'installation d'une série supplémentaire de sept sondes dont une est placée à deux mètres de profondeur, nous apporte quelques renseignements quant aux mouvements de l'eau en profondeur (figures 10a et 10b). On note que la dé-saturation totale à deux mètres est obtenue très tardivement (vers le début du mois de juillet). La re-saturation du profil, au cours de l'automne et de l'hiver suivants, n'atteint jamais le niveau situé à deux mètres au cours de notre expérimentation qui s'est terminée à la fin du mois de février 1969. Il y a donc un grand contraste entre les horizons superficiels sursaturés et souvent gorgés d'eau et les couches profondes qui se réhumidifient tardivement.

— Sous *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., *Pinus radiata* D. Don et en clairière.

Les mesures effectuées en 1968 confirment les résultats obtenus au cours de l'année 1967, quelle que soit la situation envisagée. La figure 2 le montre encore dans le cas particulier de *E. camaldulensis* Dehn., mais il en est de même pour les deux autres stations. Seul peut être noté un décalage important dans les dates d'apparition des phénomènes de saturation ou dé-saturation du sol, mais celui-ci est essentiellement lié au régime des précipitations.

— Sous *Eucalyptus saligna* Sm.

Le plateau d'*Eucalyptus saligna* Sm. se trouve situé sur une terrasse alluviale, dans un groupement typique à *Hypocheris radicata*. Par rapport à l'évolution de la quantité d'eau du sol sous les deux autres eucalyptus déjà étudiés, on constate que la dé-saturation débute tardivement, après le 15 avril, en surface (figure 11a). L'assèchement du sol sur les 25 premiers centimètres s'effectue rapidement mais dans les horizons suivants (essentiellement autour de 75 centimètres de profondeur) la dé-saturation devient lente; il ne semble pas y avoir d'activité racinaire. Par contre, la tranche de sol située à 100 centimètres semble un peu plus utilisée. Le profil est sec jusqu'à 170 centimètres le 6 juillet.

La re-saturation en automne est excessivement rapide (figure 11b) puisque terminée à la fin du mois de novembre. Les premières pluies (21 octobre, 5 et 9 novembre) pénètrent jusqu'à environ 75 centimètres, mais les importantes précipitations du 30 novembre (33 mm) et 1 décembre (31 mm) entraînent la saturation sur tout le profil.

Sous cet eucalyptus, la quantité d'eau du sol est donc inférieure à celle correspondant au point de flétrissement

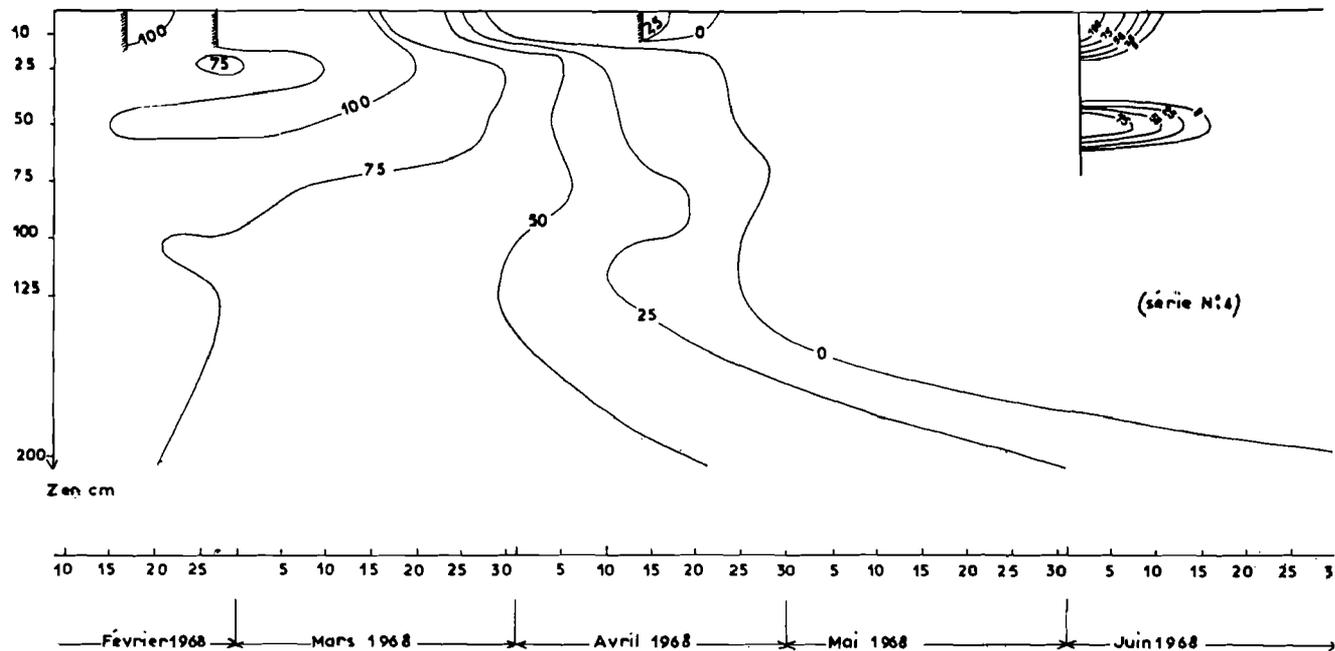


Fig. 10 a - Dé-saturation en 1968 du quatrième profil installé sous *Eucalyptus maideni* F. Muell.

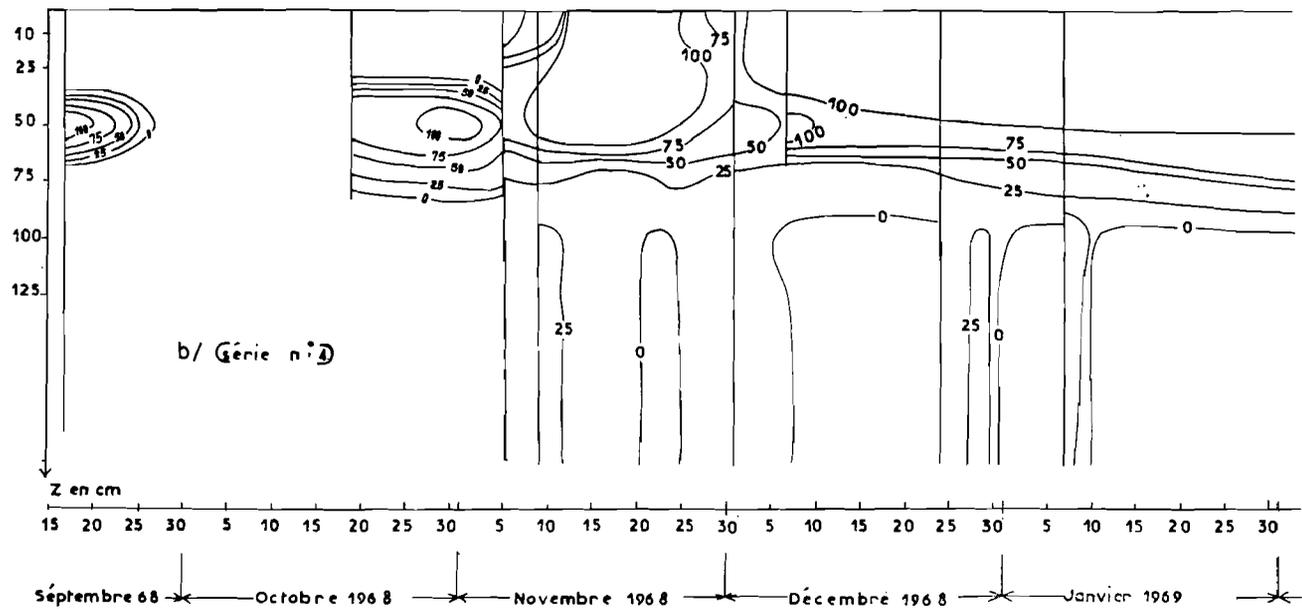


Fig. 10 b - Re-saturation du profil sous *Eucalyptus maideni* F. Muell en 1969.

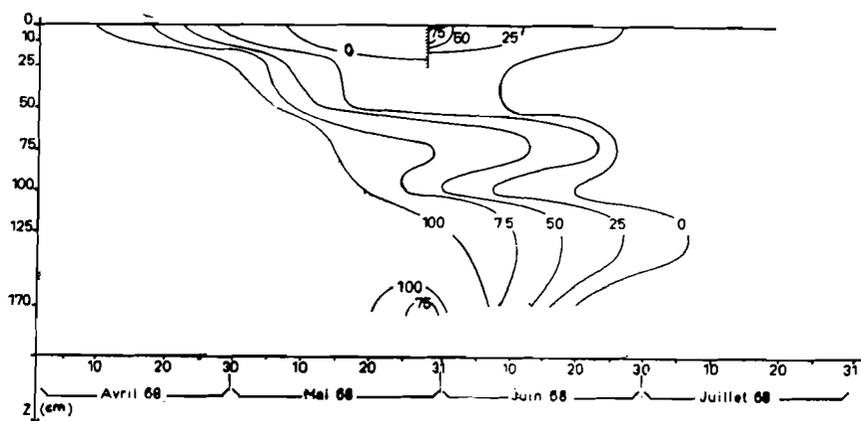


Fig. 11 a - Dé-saturation en 1968 sous *Eucalyptus saligna* Sm.

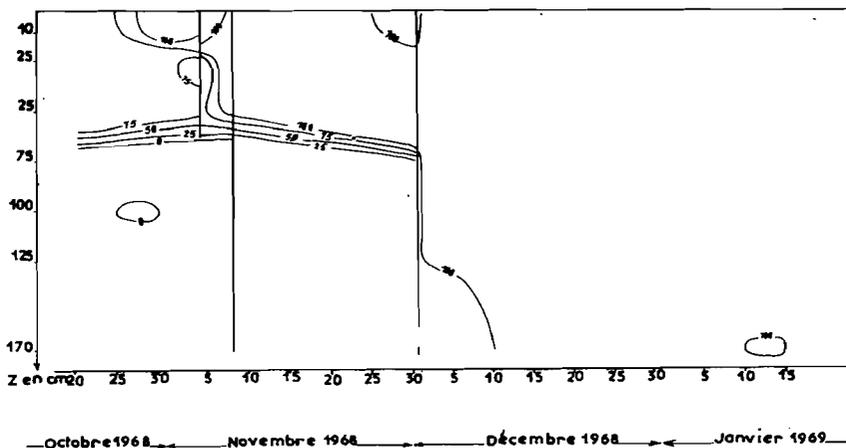


Fig. 11 b - Re-saturation du profil sous *Eucalyptus saligna* Sm. en 1968-1969

pendant au moins trois mois de l'année (juillet, août et septembre). Des études parallèles relatives à la croissance en circonférence des troncs montrent qu'au cours de cette période, le diamètre des arbres, mesuré à 1,30 mètre de hauteur, se rétracte et que d'importantes fentes de retrait apparaissent à la base du fût.

On montrerait de la même façon que les vitesses de croissance en circonférence diminuent au moment ou commence

la dé-saturation du sol, et que l'accroissement ne reprend qu'au mois d'octobre, alors que le profil se réhumecte (Poupon, 1970).

— Influence de la présence du maquis dans un placeau d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.

ETUDE DE LA DÉ-SATURATION (Figures 12 a et 12 b)

La présence dans les strates inférieures de la végétation d'un maquis assez dense, formé essentiellement de *Calycotome villosa*, *Cystus monspeliensis* et *Myrtus communis* influe considérablement sur les mouvements de l'eau dans le sol.

Tout se passe comme si cet étage arbustif jouait un rôle de tampon en modifiant le bilan hydrique de la végétation. En effet, dans le placeau dénué de maquis, le sol s'assèche vite au moins jusqu'à un mètre de profondeur. La dé-saturation commencée à la mi-mars est terminée le 10 avril. Les pluies de ce même jour, et celles plus tardives du 30 mai pénètrent légèrement dans les premiers centimètres.

Dans le placeau où le maquis a repoussé, l'assèchement du sol débute à peu près à la même époque, mais il progresse plus lentement. Les pluies du 10 avril se font ressentir assez profondément (jusqu'à 75 et 100 centimètres), tout comme celles du 30 mai. La dé-saturation du profil est obtenue avec un mois de décalage par rapport au placeau précédent.

ETUDE DE LA RE-SATURATION (Figures 12 c et 12 d)

Dans le placeau avec maquis, les 75 premiers centimètres de sol se réhumidifient très vite après les pluies. La présence d'une végétation arbustive semble limiter la perte d'eau puisque, après la saturation successive aux précipitations du 6 novembre, le sol commence à s'assécher le 25 novembre seulement, et ce, pour quelques jours car le 30 novembre, la reprise de la réhumectation est totale.

En l'absence de maquis, l'eau pénètre dans le sol, et ce sont les couches profondes qui se re-saturent les premières. Ce phénomène est donc tout à fait contraire à celui observé précédemment où la présence de calycotomes et de cistes semblait retenir l'eau dans les couches superficielles. Si la saturation concerne tout le profil, après la pluie du 5 novembre, le dessèchement suit aussitôt. Il faut attendre là aussi les importantes précipitations du 30 novembre pour voir le sol se réhumecter sur 125 centimètres.

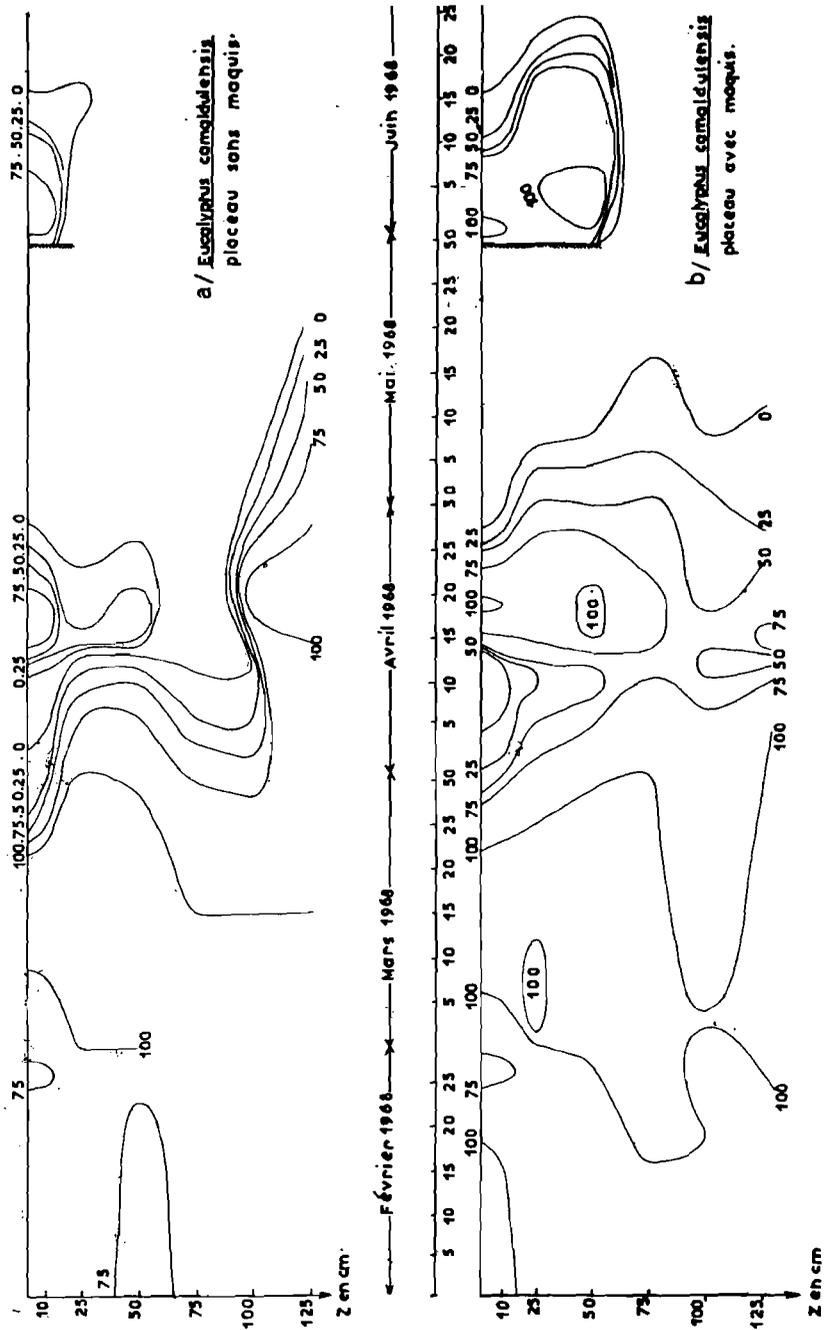


Fig. 12 a-b - Dé-saturation du sol dans deux plateaux d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn dont l'un se caractérise par la présence d'un maquis.

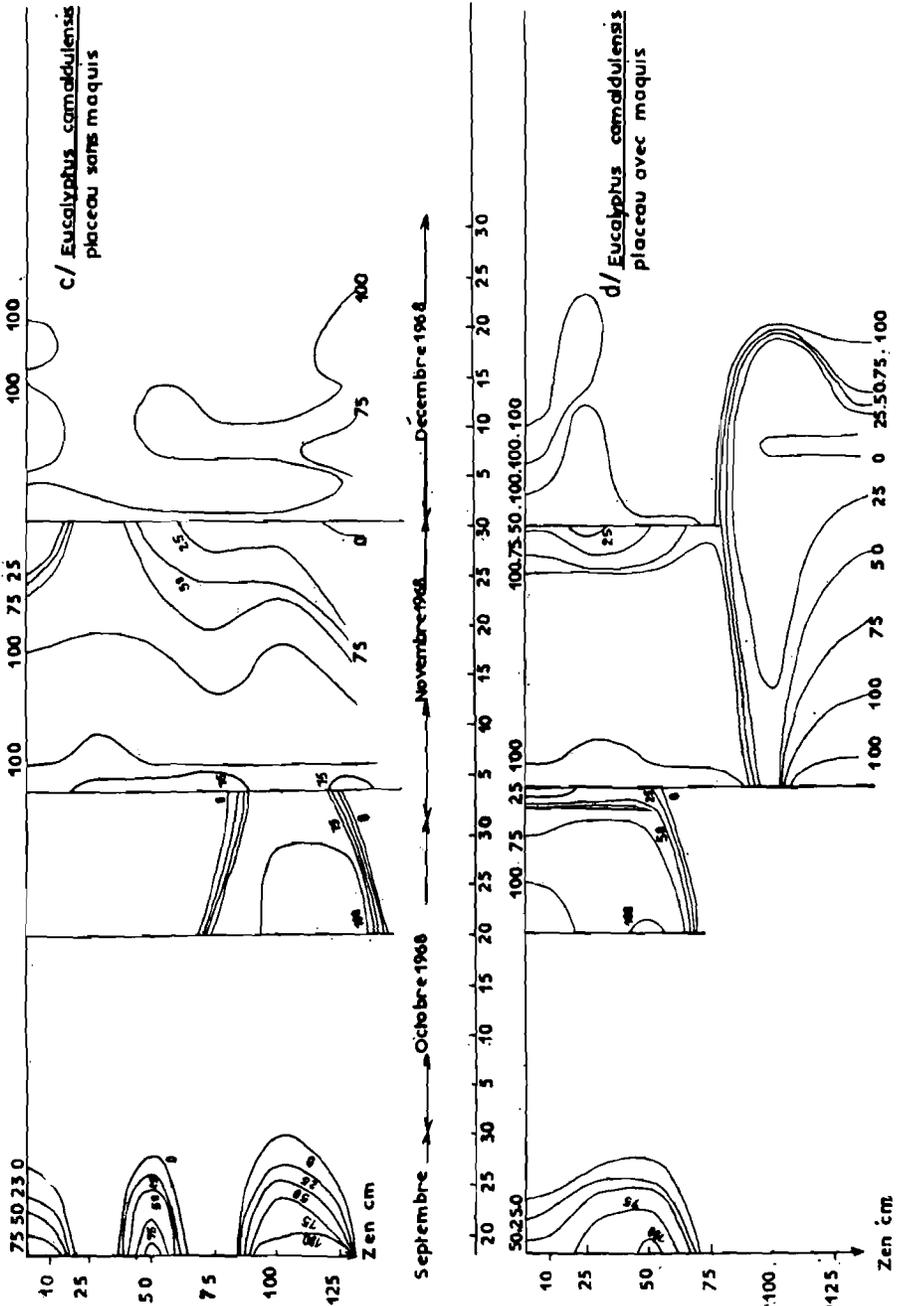


Fig. 12 c-d - Re-saturation du sol *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (le maquis s'étant réinstallé dans un des deux placeaux).

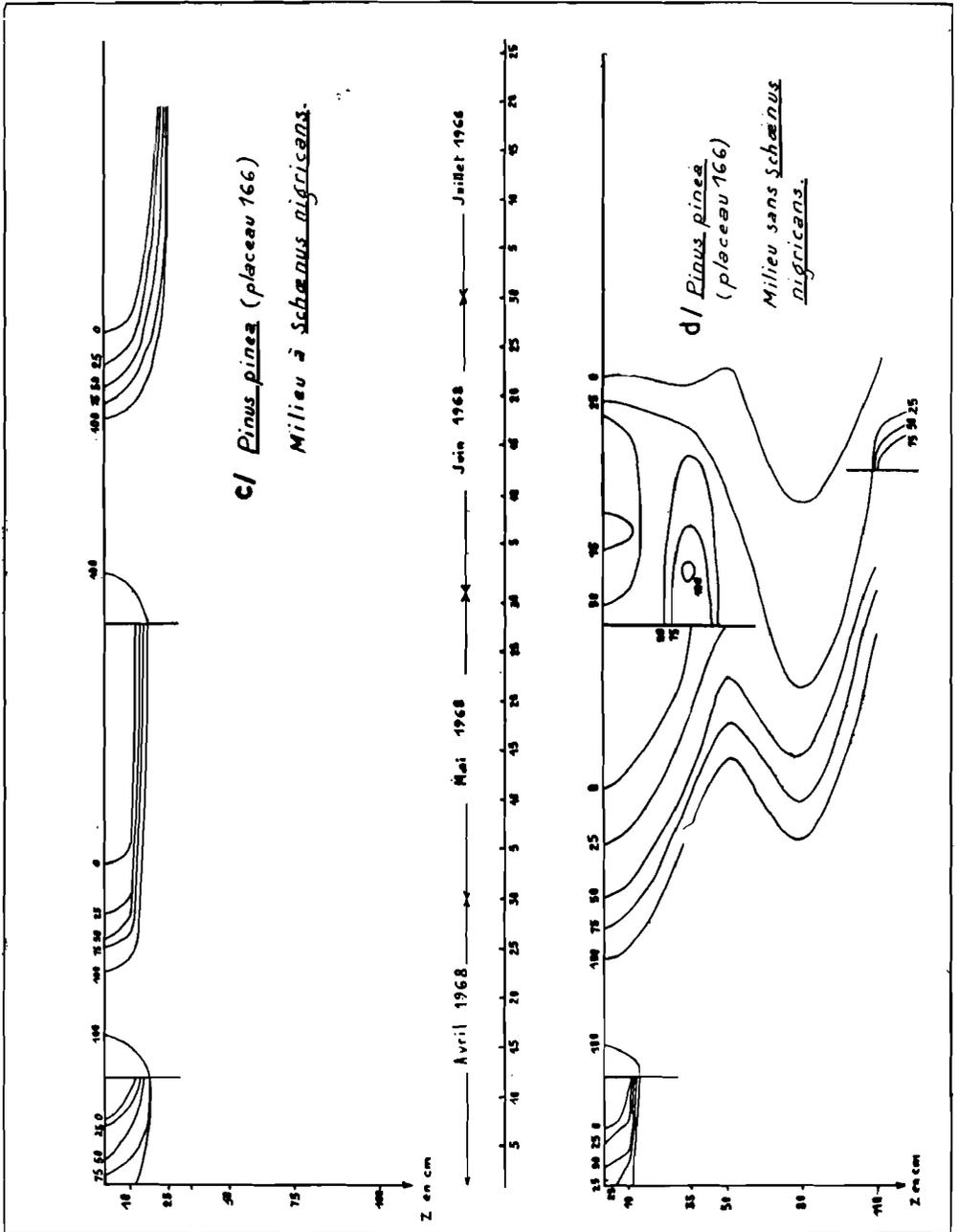


Fig. 13 c-d - Désaturation du sol dans le *placeau* 166

Dans le plateau 134, il existe un écart de trois semaines entre le début de la dé-saturation d'un milieu à l'autre. Les vitesses de dé-saturation sont aussi très différentes : en effet, en zones sans plantes montrant l'hydromorphie, l'assèchement du sol excessivement rapide en surface, s'effectue lentement en profondeur; là où croît *Schoenus nigricans*, il est beaucoup plus régulier sur tout le profil.

Dans le plateau 166, en milieu hydromorphe, la dé-saturation du sol ne se poursuit jamais au-dessous de 25 centimètres, même en plein été. Le pin pignon craignant les terrains gorgés d'eau, pousse alors très mal : il est chétif, petit (50 à 75 centimètres de haut) et se développe très irrégulièrement puisque certains individus présentent encore en 1968 des pousses juvéniles. Dans l'autre milieu, la dé-saturation du sol, quoique plus tardive que celle observée sous les plantations d'eucalyptus, est assez rapide. Le profil est totalement sec le 22 juin.

ETUDE DE LA RE-SATURATION

Là encore, le même phénomène est observé dans les deux plateaux, mais il est beaucoup plus accentué dans le plateau

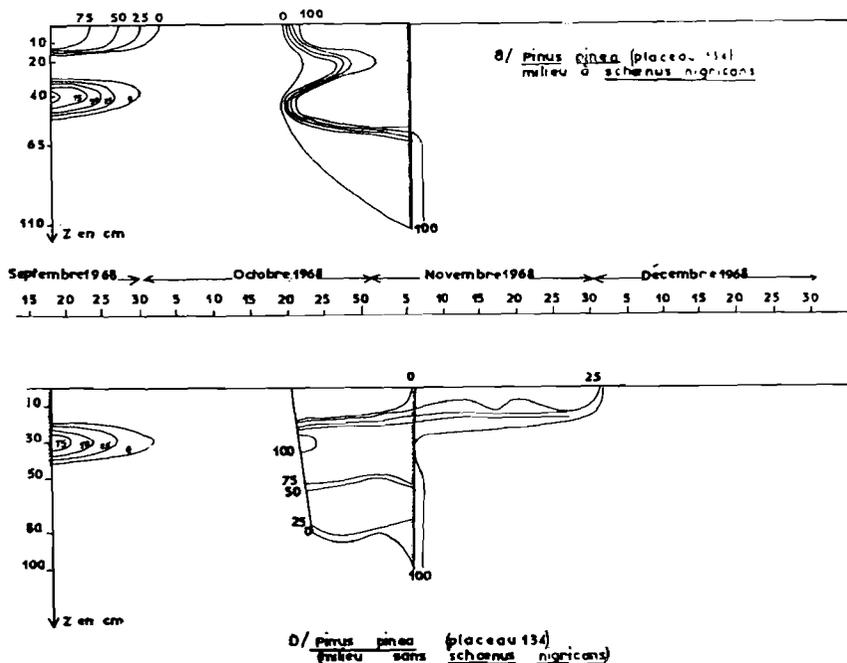


Fig. 14 a-b - Re-saturation sous *Pinus pinea* L. en 1968. Comparaison des zones avec ou sans *Schoenus nigricans*.

166 que dans le 134, comme le montrent les figures 14a, 14b, 14c et 14d.

Dans le plateau 134, dans les zones à *Schoenus nigricans*, la réhumidification du sol s'effectue rapidement sur tout le profil alors qu'ailleurs, les horizons de surface se saturent tardivement.

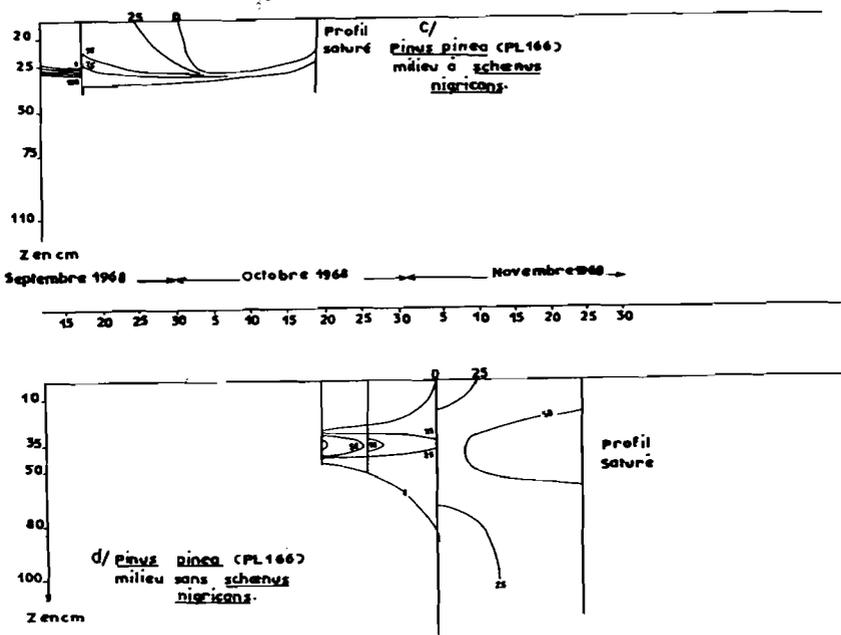


Fig. 14 c-d - Re-saturation du sol dans le plateau 166 sous couvert de *Pinus pinea* L. en 1968. Comparaison des zones avec ou sans *Schoenus nigricans*

Dans le plateau 166, les couches superficielles qui seules s'étaient asséchées en milieu hydromorphe, se saturent dès les premières pluies du mois de septembre. Il n'en est pas de même dans le reste de la plantation de *Pinus pinea* L. où il faut attendre le 18 octobre pour voir, après quelques précipitations, l'eau pénétrer dans le sol. Le profil est saturé avec plus d'un mois de retard sur le précédent.

La présence de *Schoenus nigricans* et de *Carex flacca* dans les plantations de *Pinus pinea* L. caractérise donc des zones où l'hydromorphie du sol est assez élevée; la désaturation y est tardive au printemps, et la re-saturation précoce en automne. De tels milieux ne sont guère favorables à la croissance de *Pinus pinea* L. surtout les premières années suivant la plantation. Le pin pignon redoute ces terrains gorgés d'eau; ses racines s'asphyxient probablement et leur développement dans de tels sols est malaisé.

CONCLUSIONS

Dans l'arboretum de Zerniza, nous constatons que le couvert végétal influe grandement sur les mouvements de l'eau dans le sol. Les arbres étudiés ont une dizaine d'années (ils ont été plantés en 1959-1960).

Les eucalyptus assèchent le profil (au moins sur la profondeur étudiée) beaucoup plus rapidement que les pins. Ce sont donc de grands consommateurs d'eau au printemps : sous un placeau d'eucalyptus le sol reste en dessous du point de flétrissement pendant une longue période. Les arbres sont ainsi placés dans des conditions très précaires de juin à septembre. Ce déficit hydrique se traduit dans la croissance elle-même : La vitesse d'élongation de la pousse terminale est réduite dès le mois d'avril, et au cours de l'été, le diamètre apparent du tronc diminue alors qu'à sa base apparaissent d'importantes fentes de retrait. La présence d'une strate de maquis paraît modifier considérablement les processus d'utilisation de l'eau par les arbres. Ce maquis permet d'écourter la période de sécheresse d'un mois au moins, car il semble jouer un rôle de tampon. Des mesures plus nombreuses de bilan hydrique sous les couronnes des arbres, et de croissance de ceux-ci dans les placeaux avec ou sans maquis permettraient de préciser les avantages et les inconvénients d'une telle strate, ce qui pour le forestier, serait d'une importance primordiale. A Zerniza, nous pouvons seulement conclure qu'au point de vue des mouvements de l'eau dans le sol, la présence de *Calycotome villosa*, *Cystus monspeliensis* et *Myrtus communis* semble être un facteur favorable.

Le comportement des pins s'avère très différent. En effet, que ce soit *Pinus pinea* L. ou *Pinus radiata* D. Don., ces arbres commencent à utiliser l'eau du sol quand les profils sous eucalyptus (situés dans les mêmes conditions topographiques) sont totalement dé-saturés. De ce fait, la période de sécheresse édaphique est plus réduite; des rétrécissements du diamètre du tronc ont pu être notés chez plusieurs individus, mais ce n'est pas un phénomène général, et le retrait n'atteint jamais plus de 1 % de l'accroissement total annuel. La présente étude permet aussi d'affirmer que *Pinus pinea* L., sur lequel beaucoup d'espoirs sont actuellement fondés, pour les reboisements

en Tunisie du Nord, redoute, au moins les premières années après la plantation, l'hydromorphie excessive. En zones où la dé-saturation n'atteint que les couches superficielles, il se développe fort mal, reste chétif et rabougri. Il semble que de tels terrains doivent être utilisés à d'autres fins.

Ces études, pour être complètes, devraient être poursuivies pendant plusieurs années compte tenu des exigences toujours accrues des arbres qui sont dans une phase active de croissance, et des régimes de précipitations qui varient considérablement d'une année à l'autre.

RESUME

Les auteurs décrivent les variations de l'état hydrique des sols, mesuré au moyen de sondes Bouyoucos, dans des stations situées sous différents couverts végétaux (eucalyptus, pins) et pour différents sols, dans l'arboretum de Zerniza Mogods : Tunisie du Nord).

Ils mettent en évidence les variations dues aux différences climatiques d'une année à l'autre, et celles dues à la nature du couvert végétal; les eucalyptus s'avèrent de beaucoup plus grands consommateurs d'eau que les pins.

SUMMARY

The authors describe the variations of the hydric state of the soil, measured by means of Bouyoucos moisture meters in stations situated in areas of different vegetal covering (eucalyptus, pine) and on different soils, in Zerniza arboretum (Mogods, Northern Tunisia).

They show the variations due to climatic differences from year to year, and the difference in the nature of the vegetal covering; eucalyptus are shown to have much more need of water than pines.

BIBLIOGRAPHIE

- BALDY Ch., DIMANCHE P., MARION, J., POUPON H. et SCHOENENBERGER A. (1969). — Note préliminaire concernant la station expérimentale de bioclimatologie et de physiologie de la croissance installée à Zerniza (Mogods) dans le Nord de la Tunisie.
Inst. Rebois. de Tunis. Variétés scientifiques N° 1.
- BALDY Ch., POUPON H. et SCHOENENBERGER A. (1970). — Le climat de Zerniza de novembre 1966 à mars 1969.
Ann. I.N.R.F. Tunisie .Vol. 4. fasc. 1.
- BELL D.B. (1967). — The relation between height growth in conifers and the weather. *J. Oxford Univ. Forestry Soc.*, Vol 5.
- BOUYOUCOS G.J. et MICK A.H. (1940). — An electrical resistance method for continuous measurement of soil moisture under field conditions.
Mich. agric. Exp. Sta. Techn. Bull., 172 : 1-38.
- BOUYOUCOS G.J. et MICK A.H. (1948). — A fabric absorption unit for continuous measurement of soil moisture on the field.
Soil Sci., 66 : 217-232.
- BOUYOUCOS G.J. (1954). — New developed nylon units for measuring soil moisture in the field.
Highway Res. Abstr. January, 29-32.
- COLMAN E.A. (1946). — The place of electrical soil moisture meters in hydrologis research. *tran. Amer. geophys. Un.*, 27 : 847-853.
- COLMAN E.A. (1946). — The place of electrical soil moisture meters in hydrologis instrument.
Soil Sci., 67 : 425-438.
- DE VRIES J. et KING K.M. (1961). — Note on the volume of influence of a neutron surface moisture probe.
Canad. J. Soil Sci., 4 : 253-257.
- HOLMES J.W. (1950). — Calibration and field use of the neutron scattering method of measuring soil water content.
Aust. J. Appl. Sci., 7 : 45-48.
- HUTISCH I. (1948). — The scotch Pine in nothernmast Finland and its dependence on the climate in the last decades.
Acta Botanica Fennica, 42 : 4-75.
- KORSTIAN C.R. (1921). — Relation of precipitation to height growth of forest tree samplings.
Trans. Utah. Acad. Sci., 2 : 259-266.
- KRAMER P.J. (1949). — Plant and soil water relationships.
New York, Mc Graw Hill ed., 347 p.

- KURANZ J.L. (1960). — Measurement of moisture and density in soils by nuclear method.
Am. Soc. for Testing Materials, Spec. Tech. Publ., 268 : 40-54.
- MAC DOUGAL D.T. et SHREVE F. (1924). — Growth in trees and massive organs of plants.
Carnegie Institution of Washington. Publi. 350.
- MITCHELL A.F. (1965). — The growth in early life of the leading shoot of some conifers.
Forestry, XXXVIII (1) : 121-136.
- MOTLEY J.A. (1949). — Correlation of elongation in white and red pine with rainfall.
Butler Univ. Bot. Studies, 9 : 1-8.
- NEGISI K. et SATOO T. (1954). — The effect of drying soil on apparent photosynthesis, transpiration, carbohydrate reserves and growth of seedlings of Akamatu (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.).
Jour. Jap. Forestry Soc., 36 : 66-71.
- ORLOV A.J. (1960). — Effect of soil factors on the main features of some forest types in the southern taïga.
Bjull. Mosk. Obisc. Ispyt. Pris. (otd Biol.), 65 (3) : 116-131.
- PEARSON G.A. (1918). — The relation between spring precipitation and height growth of western yellow pine samplings in Arizona.
Journ. Forestry, 16 : 677-689.
- POUPON H. (1970). — Etude de la croissance en hauteur et en circonférence de quelques espèces de pins et d'eucalyptus dans l'arboretum de Zerniza.
Ann. I.N.R.F. Tunisie, vol. 4, fasc. 5.
- UNDERWOOD N., VAN BAVEL C.H.M. et SWANSON R.W. (1954). — A portable slow neutron flux meter for measuring soil moisture.
Soil Sci., 77 : 339-340.
- VAN DER MAREL H.M. (1959). — Rapid determination of soil water by dielectric measurement of dioxane extract.
Soil Sci., 87 : 105-119.
- WACK B. (1962). — Mesure de l'humidité des sols par diffusion d'un faisceau de neutrons thermiques.
C.R. Acad. Sci. Paris, 254 : 1002-1004.
- WILCOX, J.C. (1961). — Note on effects of wetting and drying on readings of electrical resistance blocks in soil.
Canad. J. Soil. Sci., 41 : 250-252.