

ETUDE SUR L'APTITUDE A L'IRRIGATION DE LA REGION DE MARRAKECH (1)

SOMMAIRE

- Introduction
- I. — Le climat et les sols de la région de Marrakech.
- II. — La capacité de rétention et le point de flétrissement des sols de la région de Marrakech.
- III. — Le système racinaire des arbres fruitiers de la région de Marrakech.
- IV. — Les besoins en eau des plantations et des cultures pratiquées dans la région de Marrakech et les hydro-modules.
 - A) Doses et fréquences des irrigations.
 - B) Consommation d'eau par les orangers.
 - C) Conclusions.
- V. — Les méthodes d'irrigation dans la région de Marrakech.
- VI. — Les pertes d'eau dans les séguias en terre, du périmètre irrigué par le barrage du N'Fis.
- VII. — Engrais et façons culturales dans la région de Marrakech.
 - A) Le sous-solage.
 - B) Engrais vert.
 - C) Les orangers et l'engrais minéral.
- VIII. — Plan de panachage.
- IX. — Résumé et conclusions.
- Bibliographie.

N.D.L.R. — Pour consolider au maximum les irrigations qui se pratiquent actuellement dans la plaine du Haouz et pour en étendre le bénéfice à une soixantaine de milliers d'hectares, les services du Protectorat ont étudié et entamé la réalisation d'un vaste aménagement hydro-agricole basé à la fois sur la régularisation et la distribution des eaux de l'Oued N'Fis et sur l'adduction des eaux de l'Oued Lakhdar et de l'Oued Tessaout.

Au premier rang des problèmes posés par cet aménagement figure l'étude des sols susceptibles d'être mis en valeur par l'irrigation et leur aptitude à recevoir l'eau qui leur fait actuellement défaut.

On sait quelle a été, dans ce domaine, l'importante contribution du Service de la Recherche agronomique qui, dès 1951, publiait sous la direction de L.-G. Grillot et avec la collaboration de MM. G. Bryssine et R. Jaminet une étude prélimi-

naire, remarquablement documentée, sur « les sols du périmètre irrigable de Marrakech ».

Mais la mise au point d'un avant-projet d'équipement intégral du Haouz exigeait que soient entreprises des études et recherches systématiques sur l'aptitude à l'irrigation des différentes zones à mettre en valeur. Ces études furent confiées à M. Enikeff, Ingénieur agronome I.A.M. (1), qui en 1954, sous la direction de M. Guitonneau, Ingénieur des Ponts et Chaussées, ancien chef de l'Arrondissement hydraulique de Marrakech, a présenté le résultat de ses travaux sous forme d'un mémoire administratif.

Ce mémoire apportait non seulement d'importantes précisions sur le problème des irrigations dans la région de Marrakech, mais il mettait en lumière la complexité et l'intérêt de

(1) Institut agronomique de Moscou.

INTRODUCTION

Le Haouz de Marrakech est une plaine dont les sols se sont formés sur des alluvions atlasiques d'âge quaternaire. Cette plaine est bordée au Sud par le Haut-Atlas, à l'Est par le Moyen-Atlas et, enfin à l'Ouest par les collines de Chichaoua. C'est une région semi-désertique, mais la vie y est possible grâce aux eaux appartenant à deux systèmes hydrographiques :

A l'Ouest, le système du Tensift, alimenté par les oueds N'Fis, Baja, Ourika, Zaf, Rdat, Laar ; et à l'Est, le système du Tessaout, alimenté par les oueds Akhdar et Tessaout.

La population du Haouz est dense — 30 à 40 habitants au km² — elle est laborieuse et est habituée depuis toujours au maniement d'eau. Mais l'irrégularité des débits des oueds domine toute la vie de la région. A certains moments l'importance des débits ne permet pas leur entier emploi et les eaux se perdent en s'écoulant à la mer. Mais le manque d'eau dans les oueds durant plusieurs mois de l'année oblige la population locale à réduire l'emblavure. La superficie totale du Haouz de Marrakech est de 300.000 hectares, et c'est seulement 100.000 hectares qui sont irrigués.

Dans la vallée de l'oued N'Fis, en 1929, a été construit un barrage dit « barrage Cavagnac » d'une capacité de 50.000.000 m³ d'eau. La mise en service de ce barrage a permis d'améliorer l'exploitation de 30.000 hectares environ sur les 67.000 hectares dominés par le cours du N'Fis.

Or, la population rurale du Maroc augmentant rapidement (3.500.000 en 1912 et 8.000.000 en 1952), les autorités du Protectorat en 1948-49 ont décidé de régulariser les eaux des oueds du Haouz en retenant leurs crues derrière de nouveaux barrages, ce qui devait permettre d'augmenter sensiblement les superficies cultivées et de nourrir ainsi une population plus importante.

Schématiquement ces aménagements prévoient :

1. — La construction de barrages sur le Tessaout à Timi N'Outine, et sur l'Akhdar à Aït-Chouarit ;
2. — Construction d'un canal amenant en Shrarhna une partie des eaux de l'oued El-Abid ;
3. — Construction d'un grand canal dit « Canal

de Rcade » qui doit amener les eaux des oueds cités plus haut, dans le Haouz central et la partie du bassin du N'Fis, non encore irriguée.

L'ensemble de ces aménagements permettra de porter le volume emmagasiné à 435 millions de mètres cubes d'eau ce qui suffira pour augmenter d'environ cent mille hectares les terrains à mettre en valeur.

On remarquera l'ampleur des aménagements prévus et la nécessité de poursuivre ces travaux sans tarder en raison de l'accroissement rapide de la population.

Quelle était à ce point de vue la situation en 1950 ?

Des documents provenant d'une expérimentation méthodique dans la région étaient inexistantes, et les services intéressés avaient à leur disposition seulement des renseignements provenant des sondages fragmentaires, effectués de temps à autre sur les besoins en eau des cultures pratiquées ici. A ceux-ci venaient s'ajouter les résultats des enquêtes effectuées parmi les colons de la région. Il est certain que l'ensemble des renseignements disponibles ne pouvait suffire, et, mis devant cette situation, le service de l'Hydraulique de Marrakech a décidé de procéder aux études nécessaires qui auraient permis d'obtenir une documentation aussi complète que possible sur les besoins en eau des cultures de la région et laquelle aurait permis d'asseoir la création d'un réseau d'irrigation, sur une base rationnelle.

Un programme d'études a été élaboré, lequel permettait d'aller vite sans sacrifier la précision dans l'exécution du programme. Tous les travaux ont été menés de front, ce qui permettait de contrôler par des recoupements, la marche de l'expérimentation et les résultats obtenus.

Ce programme comprenait les études suivantes :

- 1) l'analyse globale des sols,
- 2) les analyses physiques des sols,
- 3) la détermination de la consommation d'eau par les diverses cultures pratiquées dans la région,
- 4) la détermination du point de flétrissement des sols,

L'étude des problèmes posés par l'utilisation agricole de l'eau. Ce travail a retenu l'attention de M. le Professeur Lutaud, titulaire de la chaire de Géographie physique et de géologie dynamique à la Sorbonne et, présenté sous forme de deux thèses sur les irrigations et les sols, a valu à son auteur le titre scientifique d'Ingénieur-Docteur.

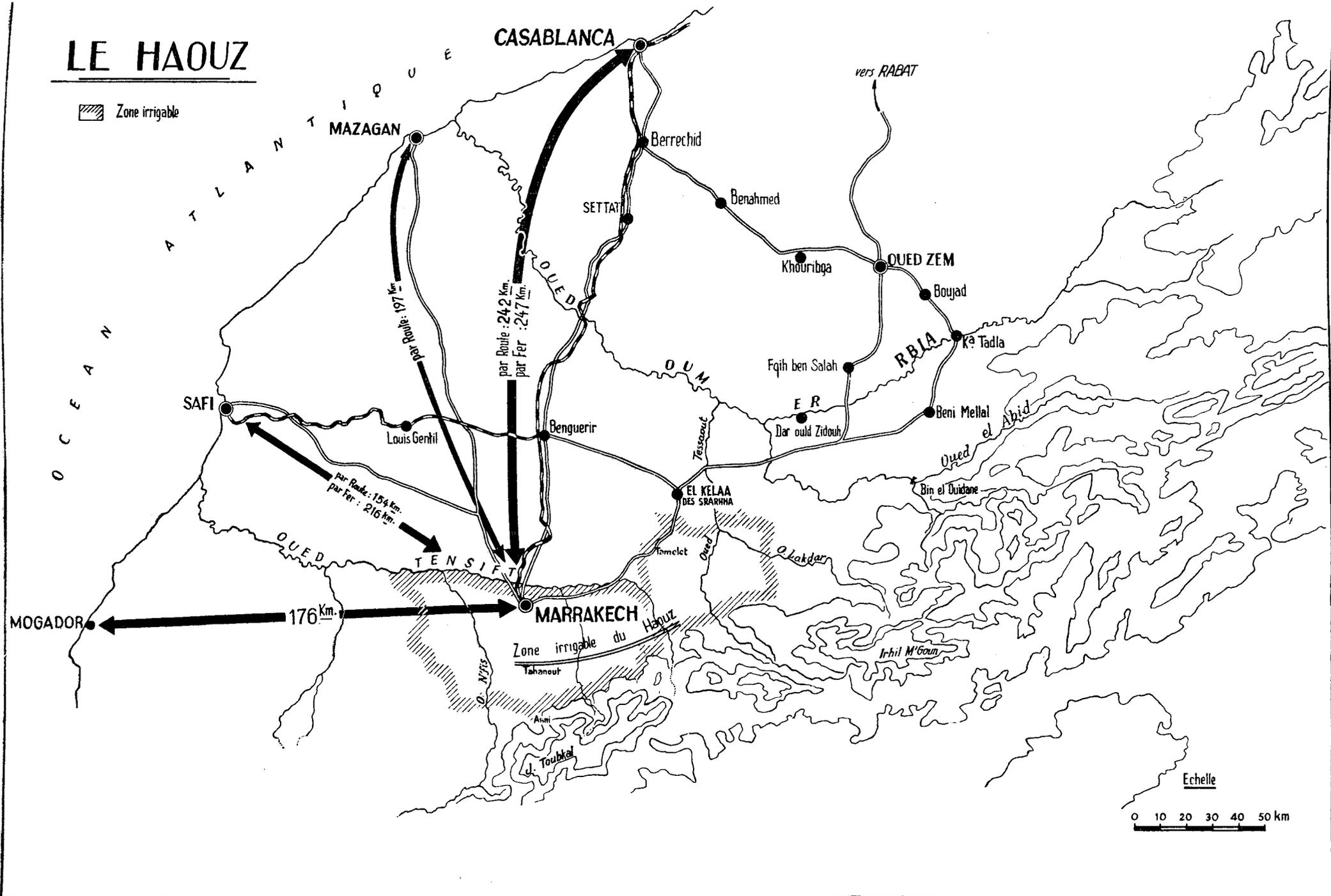
Il n'est pas impossible que la publication d'un tel document qui traite de questions touchant à de multiples domaines, climatologie, hydrologie agricole, qualités des sols et surtout

vocation agricole des périmètres à irriguer, provoque des « prises de position » diverses de la part de certains techniciens de la région de Marrakech. La matière traitée est encore trop neuve pour qu'une unité de doctrine ait pu être dégagée et réalisée entre tous ceux qui militent en faveur de la mise en valeur de cette région si attachante, mais si médiocrement pourvue en ressources hydrauliques.

Nous accueillerons d'ailleurs très volontiers les mises au point et rectifications qu'une telle étude pourrait éventuellement faire naître.

LE HAOUZ

 Zone irrigable



Echelle

0 10 20 30 40 50 km

- 5) les mesures d'évaporation de la surface du sol,
- 6) la détermination de la capacité de rétention des sols,
- 7) les études d'enracinement des divers arbres fruitiers et des cultures de la région,
- 8) les études de diverses méthodes d'irrigation employées dans la région.

On remarquera que ce programme embrasse tous les points qui intéressent les relations entre les plantes, l'eau et le sol, et dont la connaissance permet de déterminer avec une précision suffisante, les besoins en eau des cultures et les hydromodules.

La réalisation de ces projets comporte évidemment la création d'un réseau d'irrigation sur les terres qui doivent bénéficier des eaux emmagasinées derrière les barrages. Or il est impossible d'établir un réseau rationnel d'irrigation sans connaître les besoins en eau des cultures qui doivent être pratiquées dans la région.

Une fois les méthodes d'investigations mises au point, les travaux sur le terrain ont pu commencer. J'ai pu effectuer dans la plaine du Haouz 840 mesures de volumes d'eau donnés aux cultures, en me servant d'un déversoir à paroi mince d'ouverture rectangulaire. Ces mesures ont été précédées et suivies de prélèvement d'échantillons du sol, afin de suivre les variations de l'humidité des terres. Ces prélèvements, au nombre de plusieurs milliers, ont été effectués en quadruple exemplaire à l'aide d'une sonde agrolologique. Le détail de ces opérations se trouve dans les chapitres 7, 8 et 9.

Pour étudier la nature, la structure des sols et leur composition physique et chimique, les études des profils des sols en place ont été effectuées avec une densité par un profil par quinze hectares environ. Les densités : réelle et apparente, ont été déterminées au laboratoire et sur place (chapitres 2 et 3).

Pour les analyses physiques la méthode internationale a été utilisée, mais en raison d'une teneur très forte en argile des sols du Haouz, il était nécessaire de diminuer le poids des échantillons en les réduisant à 10 grammes et moins. Les analyses physiques effectuées ont montré, que malgré de faibles quantités de matière organique présente dans les

sols, il était toujours nécessaire de détruire celle-ci par eau oxygénée afin de pouvoir obtenir la dispersion voulue des particules terreuses. En ce qui concerne les déterminations du point de flétrissement, c'est la méthode C. I. Dolgoff qui a été employée, mais modifiée par l'utilisation de boîtes en aluminium, ce qui permettait d'introduire les échantillons du sol directement dans l'étuve sans manipulation additionnelle (chapitre 4).

La capacité de rétention des sols a été étudiée directement sur place et la méthode employée est décrite dans le chapitre 3.

Je crois devoir préciser que durant mes études et travaux sur le terrain je désirais me rapprocher le plus possible des conditions réelles d'une exploitation agricole. Pour ce faire, une étude d'enracinement des arbres fruitiers a été entreprise, laquelle a démontré que le système racinaire des arbres de la région n'occupait qu'une tranche de sol ne dépassant pas en moyenne 1 mètre de profondeur, contrairement aux idées admises. On supposait, en effet, que les racines pouvaient descendre à des profondeurs de plusieurs mètres à la recherche de l'humidité. La différence de comportement établie, montrait la nécessité d'apporter des modifications profondes aux méthodes d'irrigation et de culture pratiquées jusqu'à présent.

Les résultats de ces études m'ont permis d'envisager la rationalisation des méthodes d'irrigation et de culture par l'arrosage en cuvettes ; le recouvrement de celles-ci par la paille permettait non seulement la conservation (et s'il fallait la régénération) du sol, mais aussi l'espacement des irrigations et, par conséquent, l'économie d'eau, laquelle est rare. On obtient ainsi la possibilité d'étendre la superficie cultivée (chapitres 8, 9, 11 et 13).

La vérification de cette nouvelle pratique a été rendue possible grâce à la mise à ma disposition des parcelles d'essais à la Station Expérimentale de la Menara et dans les propriétés de MM. I. Deschazeaux et Sauzay. A M. Lunel, directeur de la station, et à MM. I. Deschazeau et Sauzay j'exprime ici ma gratitude. Cette expérimentation a montré l'efficacité des mesures proposées, et c'est ainsi que j'ai pu établir un plan de cultures adapté aux conditions locales tant au point de vue technique qu'économique (chapitre 14).

I. — LE CLIMAT ET LES SOLS DE LA REGION DE MARRAKECH

A. — LE CLIMAT

Le but de ces quelques lignes sur le climat de la région de Marrakech n'est pas de donner une étude détaillée, mais simplement un aperçu des phénomènes climatiques qui ont une influence certaine sur les besoins des plantes en eau et sur les hydromodules.

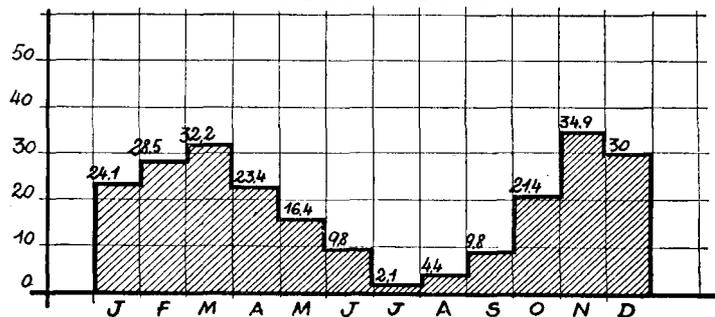
La région de Marrakech se trouve dans des conditions climatiques très dures, surtout en ce qui concerne les températures et la pluviométrie.

Les observations pour les vingt-cinq dernières années donnent une moyenne annuelle de 237 mm de pluie, ce qui rapproche cette région des climats semi-désertiques. Ces pluies tombent en 38 jours, et leur répartition durant les douze mois de l'année est très irrégulière. (voir graphique 1).

Ainsi, une agriculture rationnelle ne peut pas exister dans la région sans un appoint des irrigations. A ce déficit régulier des précipitations atmosphériques s'ajoutent des températures très élevées durant

PLUVIOMETRIE A MARRAKECH

Moyennes mensuelles sur 25 années d'observations



Graphique 1

l'été et assez basses en hiver. On compte une moyenne de quatre jours de gelées par an.

Comme le montre le graphique 2 les mois les plus chauds ici, sont juillet et août.

Ce sont aussi les mois avec les plus faibles précipitations atmosphériques.

Il semble donc que ces deux mois sont les mois critiques dans l'agriculture locale quand la consommation d'eau par les plantes doit augmenter sensiblement. A ces températures élevées durant les mois d'été, il faut ajouter le sirocco et le chergui.

Le chergui est un vent chaud d'Est ; il est brûlant, le ciel devient lourd et les orages éclatent en montagne. Le sirocco est un vent sec, violent, le plus souvent chargé de sable et qui souffle du Sud ou du Sud-Ouest. Ces deux vents chauds et desséchants abaissent brutalement et très bas l'humidité atmosphérique et provoquent un grand déséquilibre entre l'évaporation d'eau par les feuilles, et la capacité des racines et des vaisseaux d'amener l'eau aux tissus des feuilles, au fur et à mesure de l'évaporation rapide provoquée par le chergui et le sirocco. Comme conséquence, il y a une déshydratation des tissus et une chute des feuilles, des fruits ou des fleurs suivant la saison.

Les observations sur dix années, donnent une moyenne annuelle de dix-huit jours de chergui et de vingt et un jours de sirocco. Dans l'étude des hydromodules, il est donc indispensable de tenir compte de ce facteur, afin de pouvoir fournir rapidement l'eau nécessaire aux cultures dans ces moments critiques.

Aux précipitations atmosphériques faibles et les températures élevées qui dominent ici, s'ajoute l'humidité atmosphérique basse qui est de règle dans la région. Pendant le chergui et le sirocco l'hygromètre descend rapidement à zéro. Les mois les plus secs

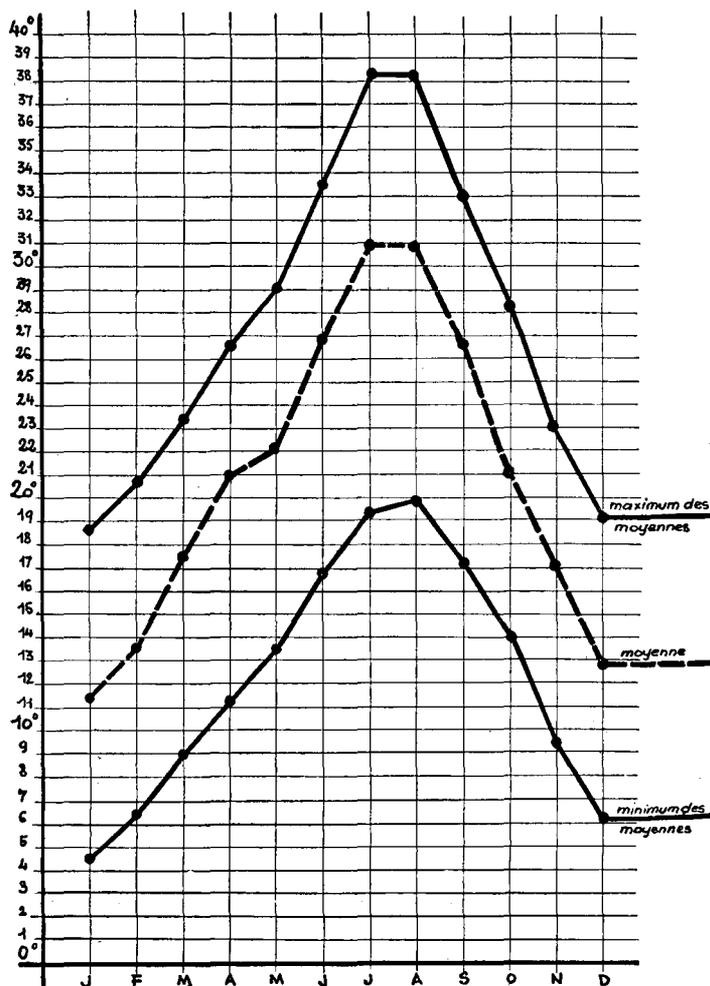
à Marrakech sont les mois de juillet et d'août. Les fortes températures et l'hygrométrie atmosphérique basse (graphique 3) qui caractérisent le climat de la région de Marrakech doivent avoir pour conséquence une très forte évaporation de la surface du sol, des réservoirs d'eau et des canaux, mais les observations suivies sur ces phénomènes manquent. Les quelques séries courtes qui existent ne permettent pas de tirer des conclusions valables.

Ce court aperçu sur le climat de la région de Marrakech permet de faire les constatations suivantes :

a) En raison des précipitations atmosphé-

TEMPERATURES RELEVÉES A MARRAKECH

(Moyenne mensuelle sur 25 années d'observations)



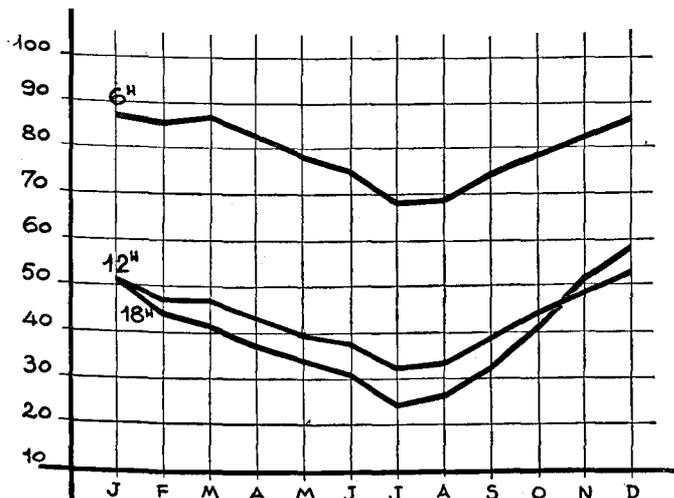
Graphique 2

riques faibles et irrégulières, l'agriculture rationnelle ne peut exister dans la région qu'avec appoint des irrigations.

b) Du point de vue agricole, les mois critiques sont les mois d'été et en particulier les mois de

MOYENNES MENSUELLES DE L'HUMIDITE
RELATIVE A MARRAKECH

observées à 6 h., 12 h., 18 h. pour 25 années d'observations



Graphique 3

juillet et d'août, quand la valeur des températures est la plus élevée de l'année, l'humidité atmosphérique la plus basse et par suite les besoins en eau plus élevés.

c) L'existence régulière des vents chauds et secs, chergui et sirocco, aggrave la situation de la région, au point de vue agricole en augmentant la consommation d'eau par les plantes et l'évaporation.

d) La présence des jours avec gelées ne favorise pas la culture des grands primeurs dans la région.

B. — LES SOLS

La consommation d'eau par les plantes est en étroite relation avec la nature du sol.

Pour faciliter l'étude des besoins des plantes en eau, une étude des sols a été menée parallèlement aux travaux entrepris. Le Centre de Recherches Agronomiques de Rabat a effectué une prospection très intéressante des sols de la région, et afin de ne pas créer une confusion dans la classification des sols locaux, les mêmes appellations des sols seront adoptées ici. De plus, comme il a été indiqué plus haut, le but recherché fut l'étude des hydromodules à appliquer dans les conditions locales et non l'étude des sols ; ainsi les sols ne seront étudiés qu'autant que cela peut aider à la meilleure compréhension des phénomènes qui conditionnent l'économie d'eau dans le sol et la consommation d'eau par les plantes.

Les sols de la région de Marrakech se sont formés sur les alluvions déposées par les oueds qui descendent de la montagne.

Comme tous les sols formés sur les alluvions, ils sont très hétérogènes : pratiquement, il n'existe

pas de grandes zones avec des types de sols bien différenciés, mais plutôt une mosaïque des sols sur la formation desquels le relief, le micro-relief et le micro-climat avaient assurément une influence prépondérante. Les matériaux qui constituent ces alluvions sont bien triés et la présence dans de nombreux endroits de lentilles constituées par des galets roulés de tous calibres, des limons, etc... confirme la nature alluvionnaire de ces sols. Il est certain aussi que dans de nombreux points du Haouz, les oueds continuent à être des agents d'alluvionnement. Ce qui frappe le plus, c'est la faiblesse des horizons humifères dans les sols du Haouz et la présence des inflorescences salines ; ce dernier phénomène indique l'existence d'une très forte évaporation. L'existence de ces conditions particulières à la région amène à classer les sols du Haouz plutôt parmi les sols azonaux.

Les types de sols.

Sur l'ensemble de la région de Marrakech, on rencontre les types de sols suivants :

- sols gris,
- sols bruns,
- sols châtaîns.

A côté de ces trois types, il existe une série de sols lesquels par leurs caractères morphologiques et physico-chimiques constituent des complexes des sols ou des sols intermédiaires entre ces trois types principaux. Par l'étendue des superficies occupées, les sols gris et les sols bruns viennent en tête.

Ces deux types occupent le Haouz à mi-chemin entre Tamelett et Marrakech et couvrent toute la plaine entre Marrakech et M'Zoudia.

Les sols gris. — L'horizon A des sols gris est d'une couleur gris-brunâtre dans les premiers cinq à dix centimètres et devient brun jaunâtre vers le bas de l'horizon.

Horizon A1 : dans cet horizon on remarque la présence de nombreuses galeries, trous et radicelles d'herbes, la structure est peu cohérente, souvent feuilletée.

L'horizon B est d'une couleur brun jaunâtre en haut qui s'éclaircit vers le bas ; parfois cet horizon est brun avec des taches violacées. L'horizon B n'est pas uniforme dans le sens vertical ; en haut, il est argileux, compact, de structure prismatique ; vers le bas, moins compact, fondu ; à partir d'une certaine profondeur de 70 à 80 centimètres, on constate la présence des concrétions calcaires de petites dimensions. Parfois, dans la partie supérieure de l'horizon B, on trouve du faux micélium ; l'ensemble est assis sur un limon compact. A côté de ces sols gris typiques, il existe toute une gamme de types intermé-

diaires entre les sols gris et les sols bruns ou les sols châtaîns. Dans ces sols, en raison de la pauvreté en matière humique de la partie superficielle, il est difficile parfois de faire la différence entre l'horizon A et le reste du sol.

Les sols bruns. — Les sols bruns que l'on rencontre des deux côtés de la vallée du N'Fis sont, en raison de leur faible teneur en matière organique surtout, des sols brun clair très voisins des sols gris.

L'horizon A d'une structure mi-poussiéreuse, mi-feuilletée, d'une couleur tantôt brun très foncé, tantôt plus pâle, est poreux et d'une épaisseur de 12 à 15 centimètres. Des galeries, des trous et des radicales sont toujours présents. L'horizon B dans sa partie supérieure est d'une structure prismatique légèrement motteuse, assez compacte. La couleur en haut de l'horizon est brun châtain, qui s'éclaircit vers le bas et devient plus pâle ou presque blanc. Parfois, la structure devient motteuse en noisette, moins compacte. Cet horizon surtout vers le bas est très calcaire. Parfois, ce sont des amas de calcaire, mais parfois on assiste à la création d'une véritable croûte, laquelle est plus ou moins rapprochée de la surface.

Les sols châtaîns. — Les sols châtaîns se trouvent surtout dans la partie de la plaine située à l'Est de Marrakech. On peut diviser les sols châtaîns en plusieurs sous-types. Leur couleur dans l'horizon A est plus ou moins marron, tantôt plus claire, allant vers le rose, tantôt plus foncée. Leur texture suivant le type va du limon argileux compact vers le limon sableux ou même sableux dans l'horizon A. Dans l'horizon B, la structure peut être motteuse ou prismatique en colonnes compactes de consistance forte ou moyenne. Ce qui les caractérise, c'est la présence de calcaire. Dans les sols châtaîns typiques, l'effervescence est parfois assez considérable dans le bas de l'horizon B. Mais si dans leur ensemble, les sols décrits plus haut se classent par leur caractère morphologique assez facilement parmi les sols types, par contre, les analyses globales effectuées ainsi que les analyses physiques montrent que par leurs caractères physico-chimiques, il est assez difficile de les considérer dans leurs catégories comme des sols typiques.

Cette particularité vient sans doute du fait que ce sont des sols formés sur des alluvions et dans des conditions où le micro-relief et le micro-climat ont eu une influence prépondérante, sans compter que les oueds submergeaient périodiquement ces plaines, en créant ainsi la migration intense des sels.

La présence dans les plaines du Haouz de nombreuses irrégularités de relief, souvent à peine visi-

bles, provoquent une répartition très irrégulière des précipitations atmosphériques, et une accumulation d'eau dans les dépressions. Cette différence dans le taux d'humidité entre les points très rapprochés conduit à la formation de sols très différents. Ainsi s'explique, semble-t-il, la présence partout de nombreux complexes de sols plutôt que des sols typiques.

On trouvera ci-après, échantillon 1, une analyse globale d'un sol gris et dont le profil présentait les caractères morphologiques d'un sol gris typique (km 12, route de Marrakech à Mogador).

On remarquera que la teneur en matière organique dans le bas de l'horizon B est aussi important qu'en A ; de plus, en bas de l'horizon B la teneur en CaO au lieu d'augmenter diminue, pour augmenter de nouveau, à une profondeur de 2 m. Or, dans un sol gris typique, la teneur en matière organique diminue très rapidement du haut vers le bas, pour n'être chiffrée à partir de 90 cm à 1 m qu'en dixièmes de pour cent.

En ce qui concerne la partie minérale du sol, la migration des sels que l'on constate semble indiquer que c'est dans l'horizon situé entre 0 m 40 et 1 m 20, que l'on peut apercevoir certaines accumulations.

L'analyse globale de l'échantillon 2 montre qu'un léger lessivage de la partie minérale du sol et, en particulier de MgO, Mn²⁺, O³⁻ et de F²⁻O³⁻ a eu lieu. Mais la teneur en chaux reste constante dans tous les horizons, et la matière organique varie peu et diminue très légèrement vers le bas du profil. Ce sol par ces caractères physico-chimiques serait un type intermédiaire, entre les sols gris et les sols châtaîns.

Par la répartition de la matière organique et par les déplacements insignifiants des sels, échantillon 3, ce sol se rapproche beaucoup d'un sol gris typique et la particularité de ce sol réside dans la faible teneur en CaO dans le bas de l'horizon B.

Dans ce sol, échantillon 4, on remarque une accumulation de A¹²⁺O³⁻, de F²⁻O³⁻, de Mn³⁺O⁴⁻ et de Na²⁺O dans l'horizon de 1 mètre. Par contre, dans le même horizon, on constate une décalcification très sensible.

Pour tous ces types de sols décrits, une conclusion importante se dégage : c'est leur pauvreté, en matière organique en général, et des horizons supérieurs en chaux, ce qui est assurément à la base de leurs mauvaises structures physiques. En ce qui concerne les autres éléments comme K, on les trouve en quantité suffisante. Dans aucune de ces analyses, on ne décèle de Na²⁺O en quantité alarmante.

Echantillon 1. — Analyse globale

Profondeur	Matières organiques	Si O ²	Al 2O ³	CaO	MgO	F 2O ³	Mn 2O ³	Na 2O	K 2O
0,10	2,02	54,0	16,63	3,90	2,35	5,17	1,00	1,48	3,83
0,40	1,48	54,80	19,46	3,00	2,39	4,34	1,13	1,92	4,07
1,20	2,05	59,00	16,97	2,50	3,91	5,83	1,02	2,05	4,08
2,00	2,14	60,00	14,96	4,50	3,04	4,04	1,01	1,66	3,86

Echantillon 2. — Analyse globale

Profondeur	Matières organiques	Si O ²	Al 2O ³	CaO	MgO	F 2O ³	Mn 2O ³	Na 2O	K 2O
0,10	2,30	61,0	14,56	3,70	3,32	4,64	0,79	1,79	3,49
0,40	2,39	54,10	16,95	3,50	3,84	6,55	1,11	1,62	3,39
0,80	1,53	48,50	21,59	3,40	3,47	7,51	1,23	1,80	3,22
1,60	2,08	58,50	15,55	3,70	3,40	6,85	0,89	1,47	2,51

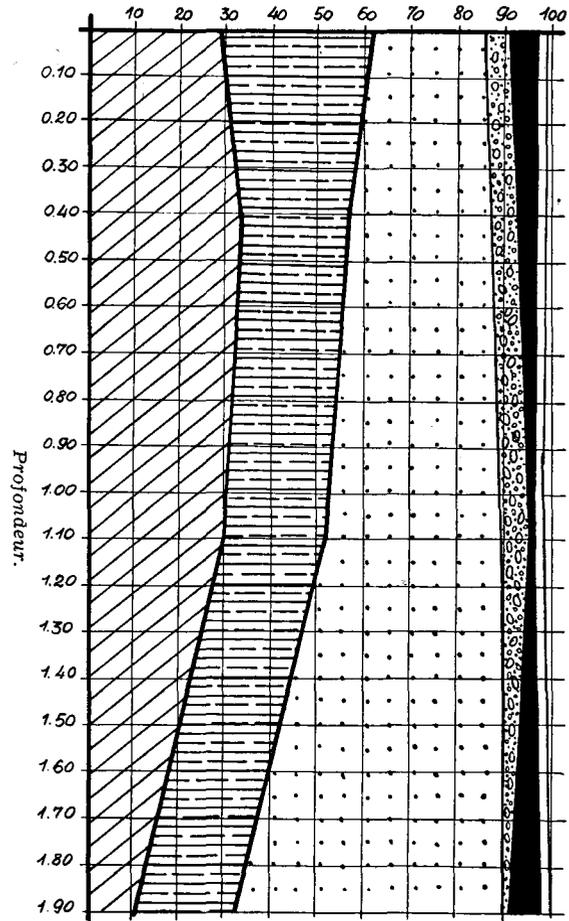
Echantillon 3. — Analyse globale

Profondeur	Matières organiques	Si O ²	Al 2O ³	CaO	MgO	F 2O ³	Mn 2O ³	Na 2O	K 2O
0,10	1,57	63,30	16,94	1,70	2,75	5,06	0,78	1,81	3,32
0,40	0,49	62,80	16,05	3,60	2,72	5,95	0,74	1,61	2,71
1,20	0,50	59,80	16,81	2,90	2,75	7,59	0,70	1,76	2,41

Echantillon 4. — Analyse globale

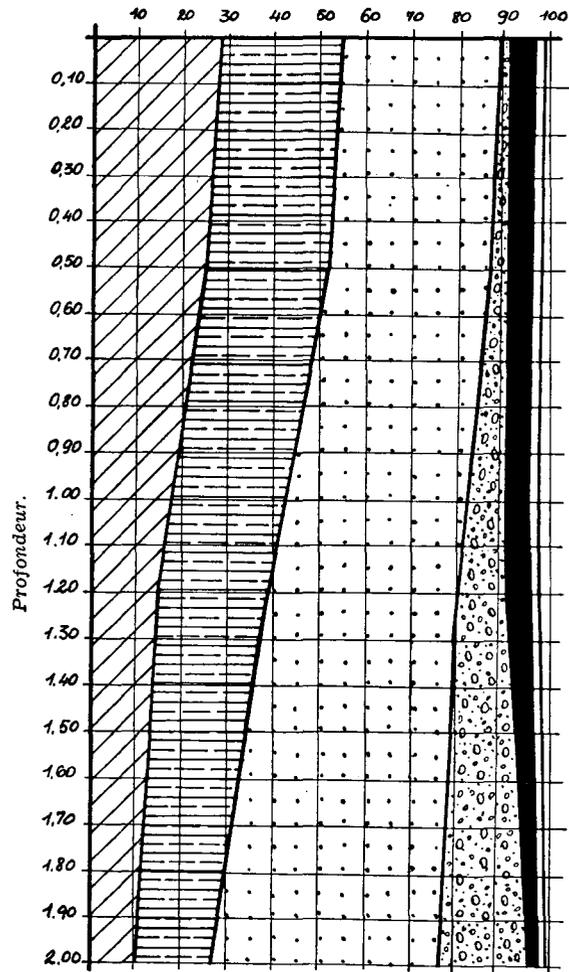
Profondeur	Matières organiques	Si O ²	Al 2O ³	CaO	MgO	F 2O ³	Mn 2O ³	Na 2O	K 2O
0,10	2,01	61,30	15,47	3,20	3,19	5,13	0,70	1,88	3,02
1,00	0,81	58,80	17,08	1,70	3,98	6,92	0,91	2,10	3,03
2,00	1,92	61,10	14,00	3,40	5,07	5,80	0,75	1,43	2,95

Profil n° 1. — Pourcentage



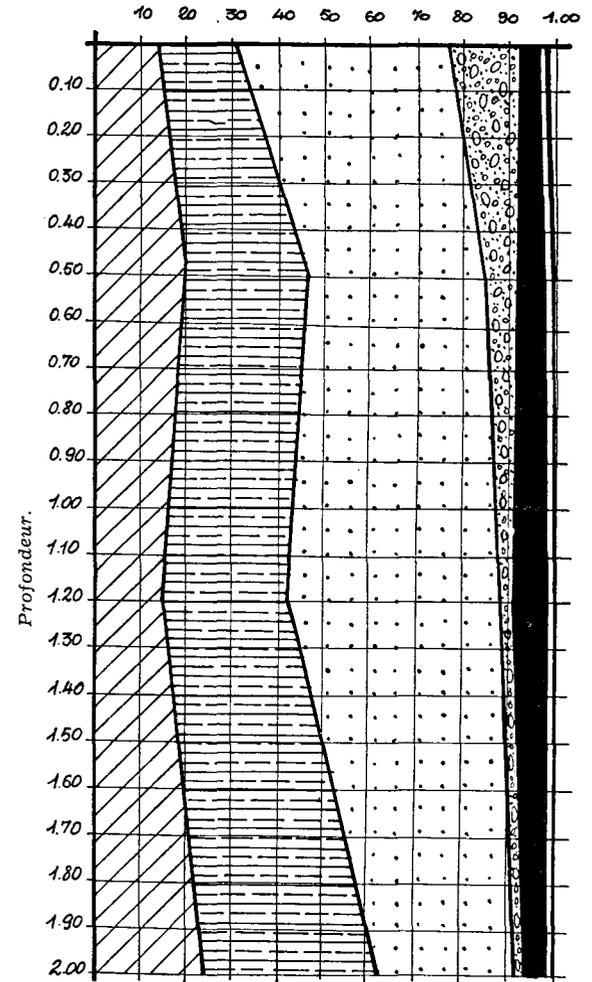
- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Argile |  Sable grossier |
|  Limon |  Chaux |
|  Sable fin |  Matières organiques |

Profil n° 2. — Pourcentage



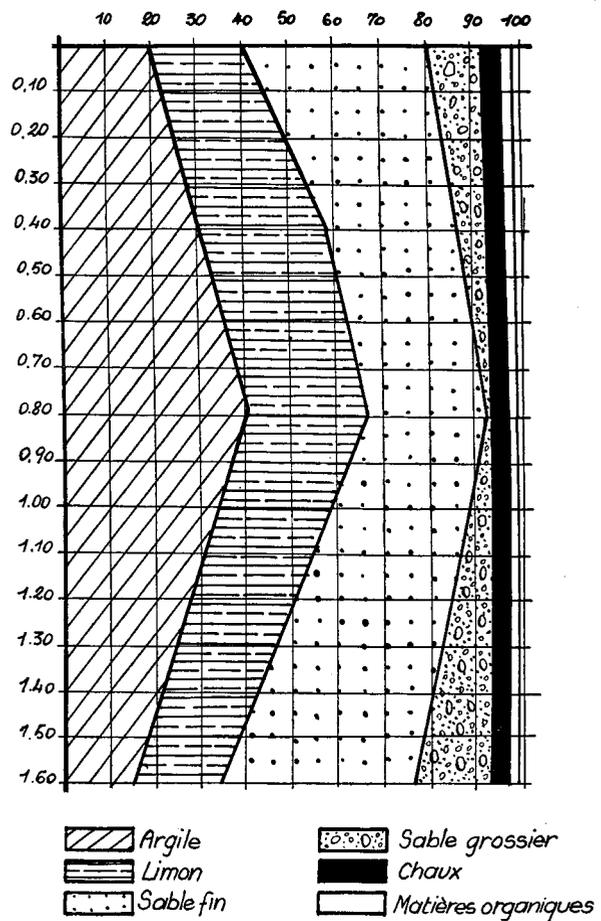
- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Argile |  Sable grossier |
|  Limon |  Chaux |
|  Sable fin |  Matières organiques |

Profil n° 3. — Pourcentage

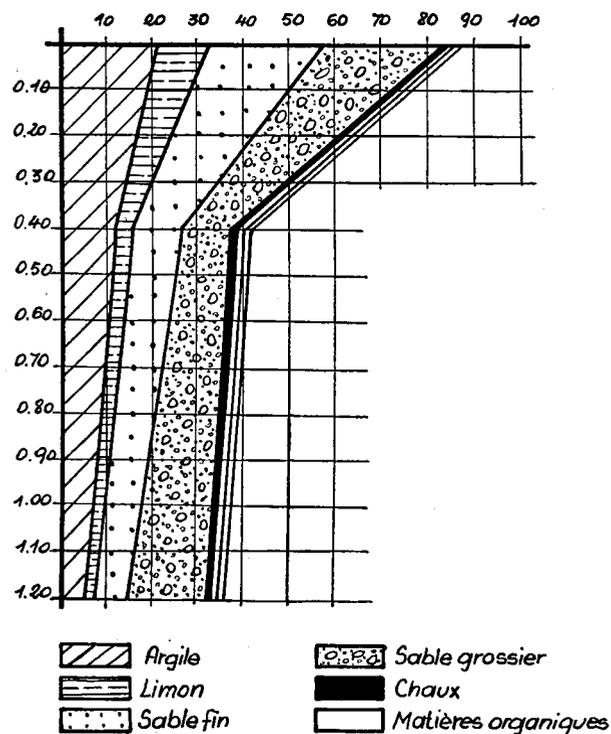


- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Argile |  Sable grossier |
|  Limon |  Chaux |
|  Sable fin |  Matières organiques |

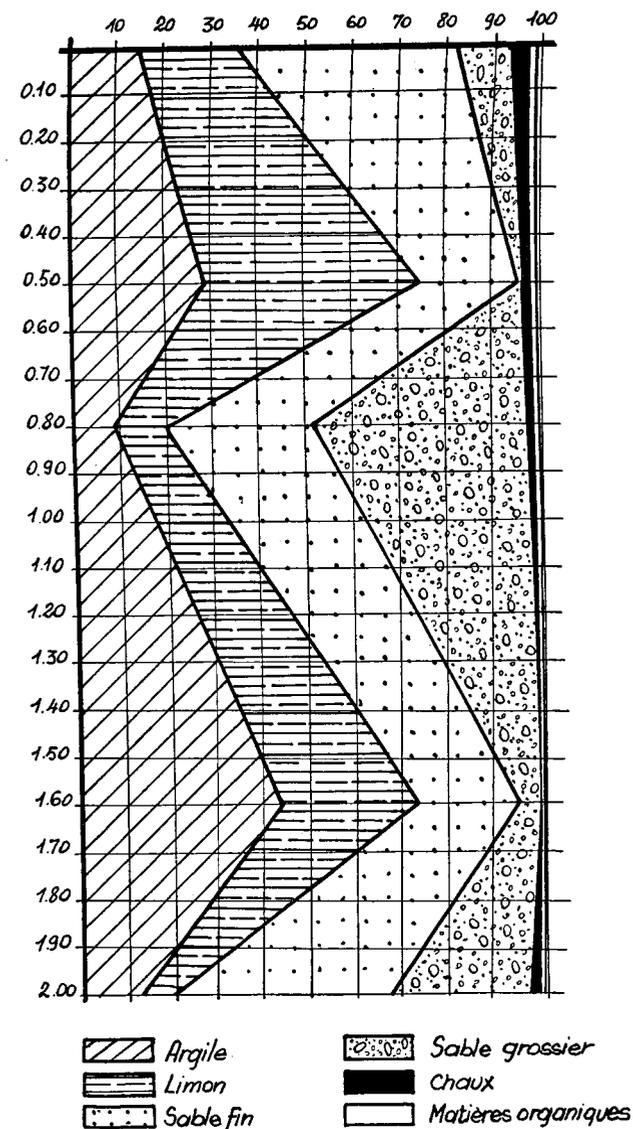
Profil n° 4. — Pourcentage



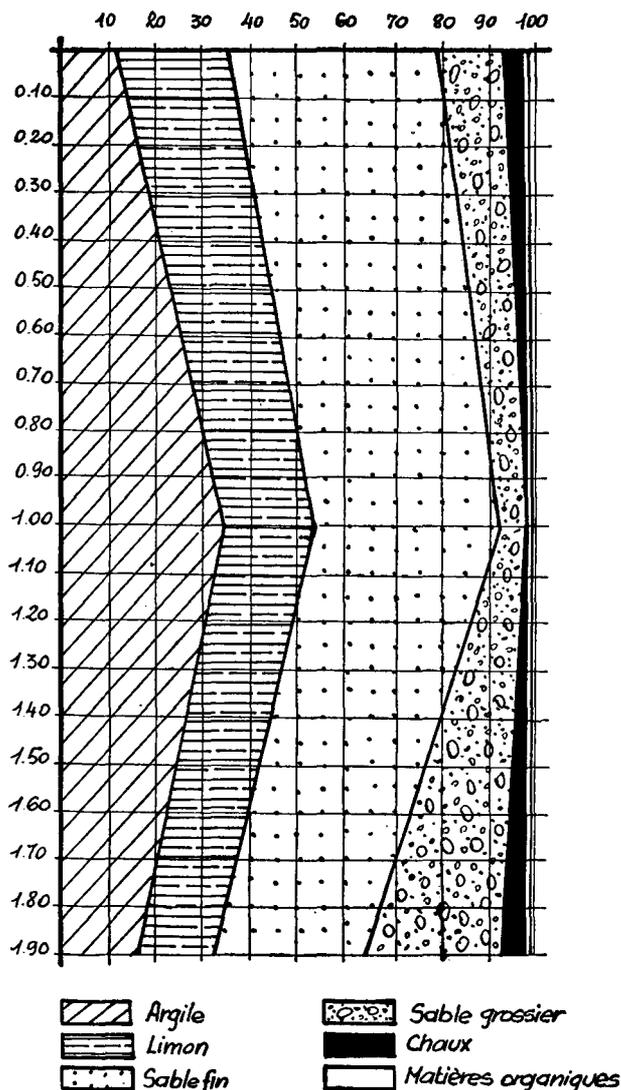
Profil n° 5. — Pourcentage



Profil n° 6. — Pourcentage



Profil n° 7. — Pourcentage



ANALYSES PHYSIQUES ET QUALITES HYDRIQUES DES SOLS

De nombreuses analyses physiques des sols de la région ont été effectuées, en particulier des sols des parcelles dans lesquelles eurent lieu certains essais.

Pour ne pas encombrer ces pages par des chiffres, ne sont données que quelques analyses physiques dans le tableau ci-après.

On remarquera que l'argile et le limon se concentrent surtout dans l'horizon qui se trouve de 0 m 40 à 1 m. Cela semble indiquer qu'il existait, et existe, des conditions sous lesquelles s'accomplissait une migration non seulement des sels solubles, mais aussi des particules colloïdales. Comme résultat de cette migration, les horizons supérieurs ont perdu

leur structure et leur cohésion, et les horizons B se sont enrichis en argile. Ces conditions pouvaient exister lors des submersions périodiques de ces plaines par des oueds en crue, et lors des irrigations pratiquées depuis des siècles.

La pauvreté de ces sols en matière organique et des horizons supérieurs en chaux, ce puissant coagulateur des colloïdes humiques et des colloïdes argileux, explique la dégradation progressive des sols irrigués de la région. En effet, tous les agriculteurs ici, ont constaté qu'un sol défriché et planté en agrumes est perméable, et assez facile à travailler au début. Mais avec les années, ce sol devient fondu à la surface en état humide, difficile à travailler en état sec, et perd sa perméabilité et sa structure, et les irrigations par submersion ne mouillent plus le sol qu'à une profondeur de 35 à 50 centimètres. A cette profondeur, le sol est devenu difficilement perméable en s'enrichissant en argile colloïdale peptisée et délavée des horizons supérieurs par l'eau. Ceci est précédé et accompagné par l'entraînement des sels de chaux qui sont solubles même à la température ordinaire. L'entraînement de la chaux dans le sol est assurément activé en été par les températures très élevées, qui dominent ici. Les propriétés hydriques de ces sols sont en corrélation avec leurs propriétés physico-chimiques. Ces sols se caractérisent par une faible stabilité de leur structure, ils sont asphyxiants à l'état humide et deviennent durs et difficiles à travailler à l'état sec. Les déterminations de la capacité de rétention de ces sols, qui ont été effectuées sur place, et au laboratoire (voir plus loin les méthodes employées) ont montré que la valeur de la capacité de rétention diminue avec la profondeur. Ainsi dans les analyses de l'économie de l'eau des sols, il est nécessaire de tenir compte de ce facteur. Les sols gris avec la présence des galets roulés dans l'horizon B ont la capacité de rétention plus faible que les sols profonds, ce qui est compréhensible. Les sols bruns ont le point de flétrissement élevé entre 8 et 13, ces sols cédant l'eau plus difficilement. Les sols gris, surtout dans les profils où l'horizon A est assez lessivé, ont le point de flétrissement plus bas, il varie entre 4 et 7. Il a été constaté que dans chaque type de sol du Haouz, le point de flétrissement varie avec la profondeur, car ces sols ne sont pas uniformes dans le sens vertical. Par exemple, pour le sol gris dont le profil a été décrit plus haut, et les résultats de l'analyse globale et de l'analyse physique donnés dans les tableaux 1 et 5, le point de flétrissement de l'horizon A (profondeur 10 m) est de 9,2, mais à la profondeur de 0 m 80 le point de flétrissement est de 5. Ainsi comme pour la capacité de rétention, il est nécessaire de tenir compte de ce facteur dans les calculs des besoins de plantes en eau, surtout dans l'arboriculture.

Analyses physiques des sols

	Profondeur	Argile	Limon	Sable fin	Sable ou gravier grossier	Carbonate de chaux	Matière organique
Profil n° 1	0,10	28,75	31,75	25,26	4,93	5,89	2,02
	0,40	33,50	23,50	31,18	5,22	3,57	1,48
	1,20	29,00	22,25	38,05	6,16	0,92	2,05
	2,00	9,75	21,00	58,31	0,53	6,80	2,14
Profil n° 2	0,10	27,75	27,25	33,54	2,02	5,84	2,22
	0,50	25,50	27,00	35,08	2,78	6,10	2,08
	1,20	15,50	24,50	40,15	11,35	5,33	1,58
	2,00	9,75	15,75	49,46	19,23	2,37	1,94
Profil n° 3	0,10	13,25	16,50	46,09	16,40	4,02	2,19
	0,50	20,00	25,50	37,93	6,79	6,31	1,92
	1,20	14,00	26,75	45,93	3,32	6,94	1,55
	2,00	22,50	36,75	30,18	2,45	4,78	1,76
Profil n° 4	0,10	19,00	19,75	41,09	11,76	4,60	2,30
	0,40	29,75	27,25	29,36	5,16	4,24	2,39
	0,80-90	39,75	27,25	24,84	0,41	4,84	1,53
	1,60	14,50	18,75	42,15	16,73	4,32	2,08
Profil n° 5	0,10	20,75	11,00	24,68	28,38	0,28	1,57
	0,40	12,00	3,00	11,36	10,63	1,92	0,49
	1,20	4,50	1,25	7,35	17,33	0,60	0,50
Profil n° 6	0,10	15,00	19,75	47,01	11,18	3,60	2,02
	0,50	28,50	45,00	20,58	0,56	2,33	1,52
	0,80	9,25	11,25	30,70	44,92	0,76	1,72
	1,60	41,75	29,25	21,67	4,66		1,20
	2,00	11,50	7,25	46,33	29,81	1,94	1,59
Profil n° 7	0,10	11,00	23,50	44,31	13,81	3,92	2,01
	1,00	33,75	18,75	38,96	6,09	0,16	0,81
	2,00	15,50	15,75	32,45	28,49	4,40	1,92

CONCLUSIONS

1. — La région de Marrakech possède beaucoup plus de bonnes terres que d'eau disponible pour les irrigations. Il sera donc raisonnable d'envisager l'aménagement en premier lieu seulement des meilleurs sols. Les types de sols à croûte, encroûtés ou à dalles sur une faible profondeur doivent être rejetés. En effet, il ne faut pas oublier que ces terres sont destinées à être exploitées surtout en cultures irriguées. Or, vu l'état actuel des sols et de nos connaissances, tout ce qui entrave la libre circulation de l'eau dans les terres irriguées amène une modification profonde du milieu, sans compter la création éventuelle d'une nappe phréatique nouvelle, d'où la nécessité d'engager des dépenses très importantes pour la réalisation d'un réseau de drainage, etc... Les meilleurs sols aptes à recevoir des cultures irriguées semblent se trouver entre Marrakech et M'Zoudia.

2. — Les analyses des sols de la région montrent que ces terres peuvent être considérées comme bonnes étant donné leur teneur en matières fertilisantes, sauf l'azote. Le manque d'azote s'explique par la faible teneur de ces sols en matière organique. La structure des sols gris et bruns est peu stable, et c'est vers l'enrichissement de ces sols en matière organique et vers l'amélioration de la structure de ces sols, que doit tendre l'effort.

En effet, pour les sols destinés à être irrigués, leur structure physique est d'une importance capitale,

car dans la terre dont la structure est peu stable, il existe un antagonisme tenace entre l'air et l'eau, et aussitôt après une irrigation, s'établissent dans ces sols les conditions anaérobiques avec toutes les conséquences que cela comporte : manque d'air, arrêt de la nitrification, etc... Mais dès que la terre est ressuyée, ces sols commencent presque aussitôt à manquer d'eau. De plus, la terre durcit presque sans transition et devient difficile à travailler.

Dans ces terres, en raison du manque de matière organique et souvent de chaux dans l'horizon supérieur, les irrigations successives aggravent la situation en délavant toujours les sels de chaux et la matière organique non fixée et non coagulée, ce qui amène la dégradation certaine et continue du sol des parcelles irriguées. Il est donc clair que les méthodes d'exploitation des terres irriguées et non irriguées ne doivent pas être les mêmes. Car quelles que soient la richesse d'un sol et sa structure physique, les irrigations répétées entraîneront toujours les sels de chaux, les colloïdes humiques et argileux, ce qui amènera fatalement à une échéance plus ou moins longue, la dégradation de ces terres, si les mesures nécessaires ne sont pas prises.

Ainsi cette particularité due aux irrigations doit être toujours présente à l'esprit de ceux qui vont exploiter les sols dans les périmètres irrigués, et ils doivent dès le début prendre les mesures nécessaires afin de maintenir ou même enrichir la teneur des sols en matière organique et en chaux.

II. — LA CAPACITE DE RETENTION ET LE POINT DE FLETRISSEMENT DES SOLS DE LA REGION DE MARRAKECH

Quelles sont les doses limites théoriques des irrigations dans les sols de la région de Marrakech ?

Pour répondre à ces questions, les déterminations de la capacité de rétention et de point de flétrissement des sols de la région ont été effectuées sur place et au laboratoire.

La connaissance de ces deux constantes permet, en effet, de calculer les doses maximum et minimum

théoriques et de les comparer aux doses d'irrigation pratiquées dans la région.

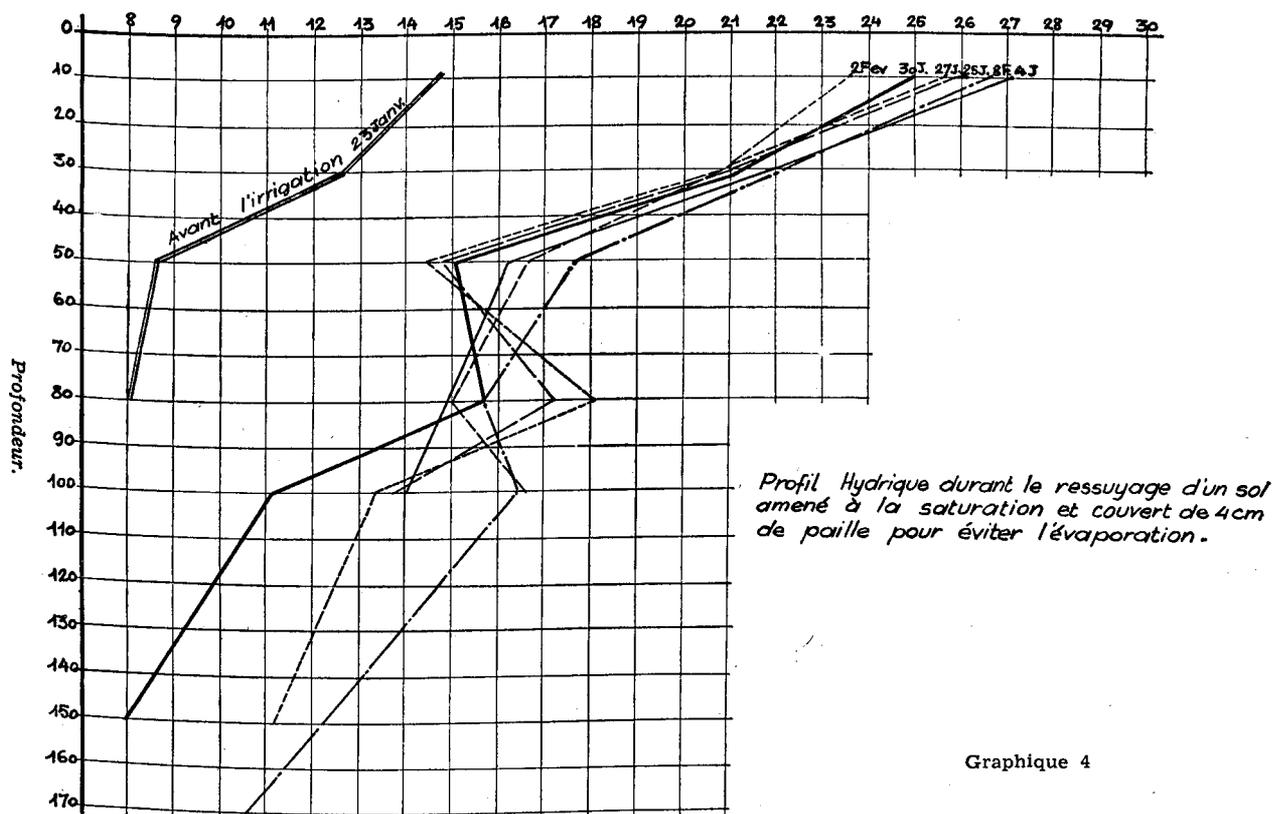
A. — CAPACITE DE RETENTION

Les graphiques et les tableaux ci-après, donnent les mouvements d'eau dans les sols des lotissements de Targa et de Saada, après qu'ils aient été amenés à la saturation et durant leur ressuyage.

Les sols profonds de Saada

Date du dosage d'humidité du sol	Profondeur des prélèvements en cm	Humidité du sol en % de la terre séchée à 105°	Date du dosage d'humidité du sol	Profondeur des prélèvements en cm	Humidité du sol en % de la terre séchée à 105°	Observations
23-1	10	14,7	30-1	10	24,9	L'irrigation a eu lieu le 23 Janvier et les chiffres du 23 Janvier donnent l'humidité du sol avant la saturation.
	30	12,7		30	21,5	
	50	8,6		50	15,1	
	80	8,0		80	15,7	
				100	11,1	
24-1	10	26,9	2-2	10	23,6	
	30	22,0		30	20,8	
	50	16,3		50	14,5	
	80	14,9		80	18,2	
	100	14,0		100	13,4	
25-1	10	25,7	8-2	10	26,6	
	30	21,1		30	22,1	
	50	14,2		50	17,6	
	80	17,2		80	15,7	
	100	13,8			100	16,4
27,1	10	25,6				
	30	20,9				
	50	16,6				
	80	15,0				
	100	16,6				

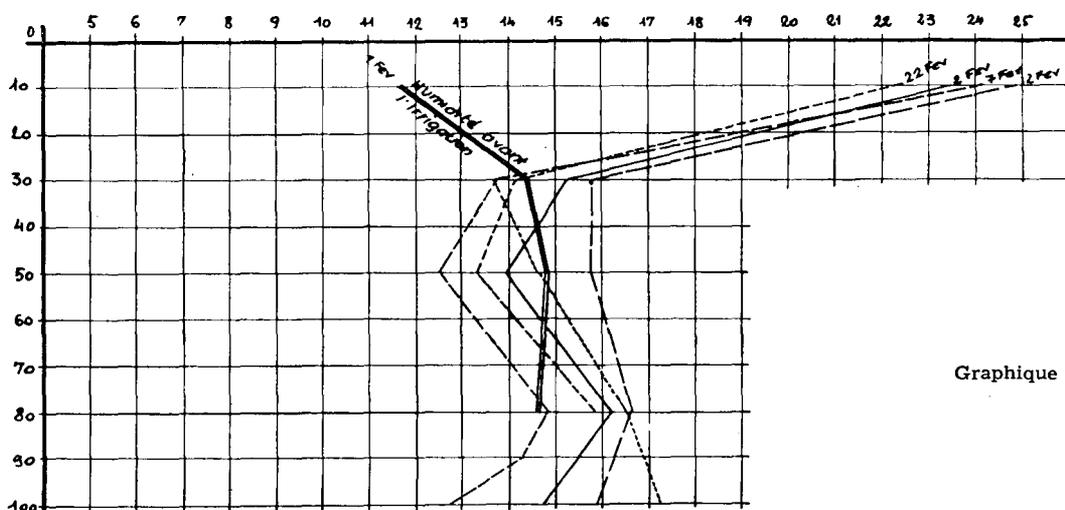
DETERMINATION DE LA CAPACITE DE RETENTION SUR PLACE
(sol du lotissement de Saada). Humidité du sol en pourcentage de la terre sèche



Les sols du lotissement de Targa avec une couche de galets roulés, à partir de 50 à 80 cm de profondeur

Date du dosage d'humidité du sol	Profondeur des prélèvements en cm	Humidité du sol en % de la terre séchée à 105°	Date du dosage d'humidité du sol	Profondeur des prélèvements en cm	Humidité du sol en % de la terre séchée à 105°	Observations
2-2	10	23,7	12-2	10	24,5	L'irrigation a eu lieu le 1 ^{er} Février
	30	15,2		30	13,8	
	50	13,9		50	12,5	
	80	16,2		80	14,9	
	100	14,7		100	14,4	
3-2	10	24,8	22-2	10	22,3	
	30	15,8		30	14,3	
	50	15,7		50	13,3	
	80	16,6		80	15,8	
	100	15,9		100	15,2	
7-2	10	24,7				
	30	13,7				
	50	14,5				
	80	16,5				
	100	16,5				

DETERMINATION DE LA CAPACITE DE RETENTION SUR PLACE
(sol du lotissement de Targa)



Graphique 5

Profil hydrique durant le ressuyage d'un sol amené à la saturation et couvert de 40^m de paille pour éviter l'évaporation.

Les déterminations de la capacité de rétention ont été effectuées dans les parcelles nues, non couvertes par la végétation, afin d'éliminer le facteur de transpiration d'eau par les plantes.

Après l'irrigation, ces parcelles furent couvertes par une épaisseur de 40 cm de paille pour éliminer le facteur d'évaporation. Afin de saturer le sol, les doses d'irrigation de 1.700 m³ et 3.400 m³ d'eau

à l'hectare furent employées. Pour les dosages de l'humidité du sol aussitôt après la saturation et durant le ressuyage, les prélèvements à différentes profondeurs furent effectués à la sonde agrologique. L'échantillon fut mis dans une petite boîte en aluminium avec une fermeture à vis et transporté au laboratoire où les dosages d'humidité du sol furent effectués aussitôt.

La première conclusion qui se dégage de la lecture des chiffres est que l'eau libre, laquelle peut descendre suivant les lois de gravité, a quitté les couches supérieures — 1 m — dans les premières 48 heures, après l'irrigation. Ceci est exact tant pour les sols profonds de Saada, que pour les sols du lotissement de Targa.

En effet, en observant sur le graphique N° 4 les déterminations de l'humidité du sol qui ont été effectuées les 24 et 25 janvier, soit 24 heures et 48 heures après l'irrigation, et sur le graphique N° 5 les déterminations des 2 et 3 février, effectuées aussi 24 et 48 heures après la mise en eau, et en comparant ces chiffres avec ceux de l'humidité du sol, avant les irrigations dans les mêmes parcelles, on constate que dans les deux cas, l'eau libre a dépassé la profondeur de 1 mètre en 48 heures.

Ensuite, jusqu'à la fin des observations, l'eau est descendue lentement vers le bas, ce qui se manifeste sur les graphiques par les faibles variations et les diminutions d'humidité dans divers horizons, et par l'augmentation de la zone mouillée.

Ici, il faut ajouter que l'eau dans le sol ne se trouve pas à l'état d'un équilibre constant, mais en mouvement plus ou moins lent. Dans ces conditions, la difficulté principale de la détermination de la capacité de rétention, réside dans le choix de l'insatiant où, après la saturation de l'espace lacunaire et le ressuyage, l'eau du sol se rapproche le plus de l'état d'équilibre. Ce sont les dosages répétés et le plus rapprochés possible de l'humidité du sol, après sa saturation et durant le ressuyage, qui sont d'une aide la plus précieuse au chercheur.

La durée des observations fut de seize jours dans les sols de Saada et de vingt-deux jours dans les sols du lotissement de Targa.

On constate sur le graphique, qu'après le ressuya-

ge, l'eau retenue par le sol s'est maintenue dans chaque horizon, dans des limites étroites et ceci pour les deux types de sol.

On peut donc considérer ces limites comme celles de la capacité de rétention de ces sols.

Les sols de la région de Marrakech se sont formés sur des alluvions déposés par les oueds qui traversent le pays, et ces sols ne sont pas homogènes dans le sens vertical. Presque toujours ces sols présentent une superposition de plusieurs horizons différents par leur composition physico-chimique.

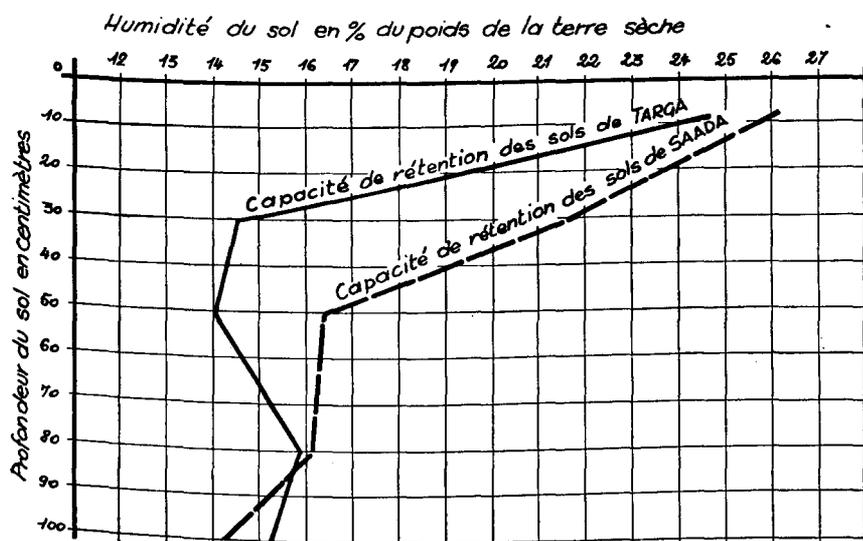
Les déterminations effectuées de la capacité de rétention de ces sols montrent que chaque horizon est caractérisé par une capacité de rétention particulière. Il semble donc que pour la région de Marrakech, il est préférable de faire, pour une profondeur déterminée, une moyenne des capacités de rétention de divers horizons composant ces sols, pour serrer ainsi de plus près la réalité.

Le graphique 6 et le tableau ci-après donnent les courbes de C.R. ainsi que les capacités de rétention par divers horizons des sols des lotissements de Targa et de Saada.

SOLS DU LOTISSEMENT DE SAADA		SOLS DU LOTISSEMENT DE TARGA	
Profondeur du sol en cm	Capacité de rétention	Profondeur du sol en cm	Capacité de rétention
10	25,6	10	23,8
30	21,5	30	14,6
50	16,4	50	14,0
80	16,1	80	15,9
100	14,2	100	15,2
Moyenne pour une profondeur de 1 mètre : 18,7		Moyenne pour une profondeur de 1 mètre : 16,7	

COURBES DE CAPACITE DE RETENTION AUX DIFFERENTS HORIZONS DES SOLS DES LOTISSEMENTS DE TARGA ET DE SAADA

Capacité de rétention moyenne pour une profondeur de 1^m,00 { Sol de Targa : 16,7
Sol de Saada : 18,7



Capacité de rétention par horizons

Sol de Targa	
0.10	25,8
0.30	14,6
0.50	14,0
0.80	15,9
1.00	15,2
Moyenne : 16,7	
Sol de Saada	
0.10	25,6
0.30	21,5
0.50	16,4
0.80	16,1
1.00	14,2
Moyenne : 18,7	

Graphique 6

L'examen des courbes montre que la valeur de la capacité de rétention diminue du haut vers le bas et ceci pour les deux types de sols.

Ceci peut s'expliquer par la présence des plus grandes quantités de la matière humique dans les couches supérieures et par les différences de la composition physique des divers horizons.

B. — POINTS DE FLÉTRISSEMENT

La connaissance du point de flétrissement est indispensable pour la détermination de la limite inférieure de l'humidité du sol au-dessous de laquelle on ne peut pas descendre, sans compromettre la récolte des arbres et des cultures.

Comme il a été indiqué dans les pages précédentes, les sols de la région de Marrakech ne sont pas homogènes dans le sens vertical et présentent une superposition de plusieurs horizons différents par leur composition physicochimique. Des échantillons furent prélevés dans ces différents horizons et dans divers types de sols et leurs points de flétrissement furent déterminés. Après de nombreuses expériences, la méthode suivante fut mise au point pour la détermination du point de flétrissement des sols de la région.

Des boîtes rondes d'aluminium de 6 cm × 4 cm, sont remplies par 60 grammes de sol à étudier, 6 à 7 graines d'orge germées sont placées dans chaque boîte. Du phosphate d'ammoniaque et du sulfate de potassium ont été ajoutés afin d'assurer une vigueur suffisante aux plantes. L'eau a été ajoutée dans les boîtes légèrement inclinées au début, et remises ensuite dans la position normale, afin de chasser l'air. Après la germination, quatre plantes par récipient ont été laissées.

Quand la deuxième feuille dépasse la première, les plantes sont prêtes pour l'essai, car les racines remplissent le récipient. A ce moment, de la paraf-

fine liquide, mélangée avec de la vaseline industrielle dans la proportion de 3 à 1, a été versée dans le récipient, afin d'isoler le sol à étudier de tout contact avec l'atmosphère ambiante.

Dans le processus de flétrissement des plantes, trois phases ont été observées :

- 1) quand les feuilles commencent à flétrir, et leurs sommets s'abaissent : c'est le début du flétrissement ;
- 2) quand toutes les feuilles se sont abaissées à la moitié de leur longueur : flétrissement réel ;
- 3) quand toutes les feuilles se sont flétries et se sont abaissées sur toute leur longueur : flétrissement permanent.

Dès la deuxième phase du flétrissement, le récipient est placé dans un dessiccateur pendant 24 heures, et l'atmosphère est saturée d'humidité à l'aide de copeaux mouillés. Si les feuilles ne se redressent pas durant les 24 heures suivantes, le point de flétrissement permanent a été atteint. Aussitôt la couche de paraffine est enlevée, ainsi que les plantes et le maximum de radicelles. Le sol est pesé et le dosage de l'humidité du sol est effectué dans le même récipient, dans l'étuve à 105° durant 48 heures.

L'observation rigoureuse de la technique de vérification de l'état de flétrissement permanent, nous a permis d'obtenir des résultats stables et constants.

On remarquera que la méthode utilisée se distingue par la simplicité du matériel utilisé et par la précision des résultats obtenus. Elle remplace les méthodes coûteuses des observations sur place et est d'un prix de revient raisonnable.

Pour tous ces travaux, les plants d'orge furent utilisés comme un plant très robuste et bien adapté à la région.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus pour divers types et divers horizons des sols étudiés.

Nature du sol	Profondeur de l'horizon en cm.	Point de flétrissement	Point de flétrissement moyen	Observations	
sol argileux, lourd présentant quatre horizons différents dans le sens vertical	10	7,1	8,2	cet horizon de sable de rivière se rencontre presque dans tous les sols de la région. L'épaisseur de cet horizon est très variable ainsi que la profondeur à laquelle il se trouve.	
	50	10,5			
	100	7,1			
sable de rivière fin	180	2,3	7,0		
	sol argileux avec alternance des horizons argileux et des horizons à galets roulés, cimentés par l'argile	10			7,4
		60			6,5
110		7,1			
sol argileux avec des galets roulés noyés dans l'argile en plus ou moins grande quantité, à partir de 40 cm. à 1 m 20 se trouve un horizon de véritable sable de rivière	10	7,2			5,1
	40	5,9			
	1 m. 20	2,2			
Sol profond argileux lourd, avec quatre horizons différents	10	7,8		9,6	
	30	13,1			
	100	8			

Les chiffres du tableau montrent que le point de flétrissement varie dans les sols étudiés, entre 2,2 pour les horizons constitués presque de sable de rivière et 13,1 pour les sols lourds.

Dans les sols profonds du lotissement de Saada, et les sols qui s'étendent plus loin vers l'Oued N'Fis, on trouve presque toujours un horizon très argileux à une profondeur variant de 30 cm à 50 cm. Cet horizon se remarque (voir tableau) par le point de flétrissement très élevé 13,3. Par contre, à une profondeur variant entre 80 cm et 2 m, on trouve un

horizon constitué presque par du sable de rivière pur. Le point de flétrissement de cet horizon se trouve entre 2,0 et 4,3. Ainsi, comme pour la capacité de rétention des sols d'ici, il est préférable de ne pas s'arrêter sur la détermination du point de flétrissement d'un seul horizon, mais de tous les horizons, constituant le sol de la zone occupée par les racines des cultures pratiquées. La moyenne des points de flétrissement des horizons occupés par les racines doit constituer une constante pour les calculs des doses d'irrigation nécessaires aux cultures dans les sols étudiés.

III. — LE SYSTEME RADICULAIRE DES ARBRES FRUITIERS DE LA REGION DE MARRAKECH

L'étude du système racinaire des plantes de la région de Marrakech, était indispensable, afin de déterminer la profondeur de la tranche du sol occupée par les racines de ces plantes.

Cette étude constitue un complément indispensable des études de la capacité de rétention et du point de flétrissement des sols d'ici, ainsi que des doses d'irrigation utilisées dans la région. En effet, une dose rationnelle d'irrigation doit seulement alimenter la tranche du sol occupée par les racines des plantes. Les doses trop fortes dont les eaux s'infiltreraient au-dessous de la zone des racines constituant un gaspillage et une bonne partie d'eau ainsi apportée, est perdue pour les plantes. De plus, si l'eau apportée aux cultures, aux doses répondant aux besoins de ces plantes en eau est bienfaisante, les doses trop élevées ne peuvent conduire qu'à un lessivage intense, à un tassement et à la dégradation de ces sols.

Les agrumes, les abricotiers et les oliviers, sont surtout cultivés dans la région de Marrakech, et c'est leur système racinaire qui a été étudié. La méthode choisie fut la méthode de délavage des racines à l'aide d'une pompe.

Cette méthode permet de constater la répartition des racines sur place, sans la moindre modification y soit apportée.

Le tableau ainsi obtenu, montre exactement le développement des racines dans le sens horizontal et vertical, l'importance du système racinaire et la profondeur réelle de la zone occupée par les racines.

LE SYSTEME RADICULAIRE DES ORANGERS DANS LES SOLS DE LA STATION DE LA MENARA

Le système racinaire des orangers fut étudié dans les sols profonds de Saada, dans les sols du lotissement de Targa et dans les sols de la station expérimentale de la Menara. Le profil du sol de la Station de la Ménara est le suivant :

- sol argileux avec la présence, vers le bas, des concrétions calcaires de très petites dimensions et parfois de quelques galets roulés. L'épaisseur de l'horizon est de 35 à 50 cm.
- Horizons de galets roulés cimentés par l'argile. Epaisseur de l'horizon de 25 à 30 cm.
- Une couche d'argile sans galet, de 15 à 20 cm d'épaisseur, très humide.
- Une couche de galets surtout de petites dimensions, cimentés par l'argile, avec une forte proportion de sable. Epaisseur de la couche 30 à 40 cm.
- Une couche de 15 à 40 cm d'épaisseur d'argile très sablonneux et gorgée d'eau.

2 mètres



Système racinaire d'orangers à la station de la Ménara.

Les autres profils des terres de la Station ressemblent à celui décrit ici, et ne diffèrent que par l'épaisseur des horizons et par les dimensions des galets roulés.

L'oranger dont les racines furent délavées à la Station, était de la variété « Washington Navel » et âgé de 18 ans. Son système racinaire était bien développé et très dense. La tranche du sol occupée par les racines de l'oranger était de 45 à 50 cm de profondeur. Au-dessous de cette zone, on ne trouvait aucune racine. C'est une zone de galets roulés, cimentés par l'argile et l'ensemble présente une couche compacte et très dense, où les racines ne pénètrent pas.

Les photographies jointes, montrent la répartition des racines dans le sol.

On remarquera que les racines s'étendent parallèlement à la surface du sol et c'est seulement un faisceau de cinq racines qui plonge dans le sol à la verticale, en prolongement du tronc d'arbre. Ceci s'explique par le fait que le porte-greffe de cet oranger était un bigaradier, dont le système racinaire est caractérisé par la présence d'un faisceau de racines pivotantes.

En raison de la présence de nombreux galets roulés dans le sol, les racines traçantes sont très tourmentées. En effet, ces galets présentent des obstacles que les racines sont obligées de contourner. Pour ne pas tuer l'arbre, c'est une moitié seulement du système racinaire qui fut délavée. Sur cette moitié, 14 racines traçantes furent dénombrées d'un diamètre de 2 cm à 5 cm. Sur ces 14 racines, 11 dépassaient par leur longueur, la projection de la couronne de l'arbre et allaient s'entremêler avec les racines des arbres voisins. La longueur de ces racines traçantes variait entre 1 m et 4 m 50.

De nombreuses blessures furent observées sur les racines et plusieurs racines étaient sectionnées soit récemment, soit antérieurement. Ces blessures ont été faites par le travail du cover-crop. A l'endroit où la racine a été sectionnée, on constate que la blessure était cicatrisée et des nouvelles racelles avaient repoussé. Le développement du chevelu est très important. Au voisinage immédiat du tronc d'arbre où le cover-crop ne pénètre pas, le chevelu se trouve de 3 à 5 cm de la surface du sol. Dans le sol travaillé par le cover-crop, le développement vers la surface du chevelu est limité par la profondeur du travail de cover-crop. Ainsi dans les terres de la Station de la Ménara, les racines des orangers n'occupent le sol que sur une profondeur de 45 à 50 cm. Dans les sols de ce type, il est donc suffisant de mouiller une zone de 75 cm de profondeur pour que l'arbre puisse recevoir toute l'eau qui lui est nécessaire.

LE SYSTEME RADICULAIRE D'UN CLEMENTINIER DANS LE SOL DU LOTISSEMENT DE TARGA

Le sol du lotissement de Targa où les racines d'un clémentinier furent délavées, est similaire dans

ses grandes lignes, à celui de la Station de la Ménara.

Mais le premier horizon est beaucoup moins argileux, et devient de plus en plus sablonneux vers le bas. Aussi l'horizon où les galets roulés deviennent très denses, se trouve-t-il à partir de 90 cm.

Dans l'ensemble, dans ce sol, les racines de clémentiniers ont le même développement, mais la profondeur de la zone occupée par elles est de 70 cm au lieu de 45-50 cm à la station de la Ménara.

Le diamètre du tronc d'arbre était de 27 cm et le diamètre des plus grosses racines de 8 cm.

La longueur des racines dépassait la projection de la couronne de l'arbre, mais le chevelu et les racelles devenaient, à partir de là, beaucoup moins denses. Comme à la Station de la Ménara, c'est la profondeur du travail de cover-crop qui limite le développement du chevelu vers la surface.

LE SYSTEME RADICULAIRE D'UN ORANGER DANS LES TERRES PROFONDES DE SAADA

Les racines d'un oranger furent délavées dans une plantation, au lotissement de Saada. Le sol de Saada a le profil suivant :

0	_____	horizon argileux de la couleur gris brunâtre d'une épaisseur de 20 à 25 cm.
25	_____	horizon très argileux lourd en haut et qui devient plus sablonneux vers le bas, de la couleur brun jaunâtre. L'épaisseur de la couche est de 50 à 60 cm.
75	_____	horizon argileux d'une épaisseur de 20 à 35 cm d'une couleur jaunâtre.
95	_____	horizon argileux de la couleur jaune-brun clair d'une épaisseur de 40 à 50 cm.
145	_____	horizon sablo-argileux, qui devient de plus en plus sablonneux vers le bas, épaisseur de la couche 50 à 70 cm.
200	_____	

L'oranger dont les racines furent délavées, était âgé de 12 ans. Son système racinaire était bien développé et occupait en profondeur une tranche de sol de 80 cm. Contrairement à ce qui a été observé à la Station de la Ménara et dans le lotissement de Targa, les racines traçantes sont parfaitement rectilignes et n'ont pas un profil tourmenté. Ceci indique que ces racines se développent facilement et sans rencontrer des obstacles comme c'est le cas dans les sols ayant un horizon avec des galets roulés.

Comme dans les essais précédents, c'est seulement la moitié de l'ensemble des racines qui a été délavée, afin de ne pas tuer l'arbre.

Sur cette moitié, 8 grosses racines et 4 pivots ont été dénombrés. Le diamètre de ces racines tra-



Le système racinaire d'orangers dans les terres profondes de Saada.

çantes était de 5 à 8 cm. Entre les grosses racines traçantes, existent de très nombreuses racines courtes, de diamètre d'un doigt. Ces racines prennent naissance sur le premier mètre de grosses racines traçantes et empruntent à peu près la même direction. Le chevelu était extrêmement développé et son extension vers la surface était limitée par la profondeur du travail du cover-crop. En effet, au pied de l'arbre où le cover-crop ne pénètre pas, le chevelu se trouve à 3-5 cm de la surface du sol.

Etant donné la profondeur occupée par le système racinaire des orangers dans les sols du lotissement de Saada, 80 cm — les doses d'irrigation à utiliser doivent mouiller le sol à une profondeur ne dépassant pas 1 mètre.

LE SYSTEME RADICULAIRE DE L'ABRICOTIER

Les racines de l'abricotier ont été délavées dans les terres de la Station de la Ménara et du lotissement de Saada. Les sols de ces deux lotissements ont été décrits dans les pages précédentes. L'étude des racines de l'abricotier de la Station de la Ménara, était particulièrement intéressante, car l'abricotier se trouvait à l'angle d'une parcelle et à égale distance de 7 m de deux rangées de brise-vent. L'un était composé d'eucalyptus, et l'autre de cyprès.

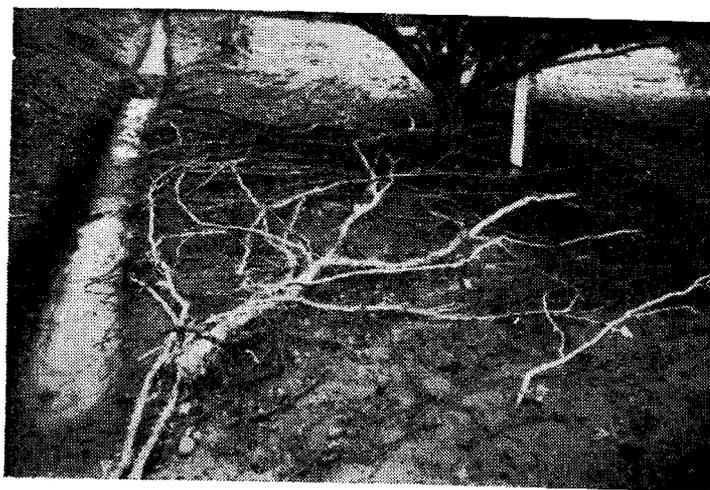
Ainsi, parallèlement à l'étude des racines d'abricotiers il a été possible d'étudier le développement des racines de deux autres arbres — eucalyptus et cyprès — qui constituent des brise-vent courants dans la région.

Le système racinaire de l'abricotier, dans les

terres de la Station était bien développé et dense. Mais le nombre de racines vers la rangée d'eucalyptus fut moindre et leur longueur plus faible.

La profondeur de la tranche de sol occupée par les racines d'abricotier était de 30 à 40 cm. Plus bas se trouvait une zone compacte et dense et dans laquelle les racines ne pénétraient pas.

Les racines avaient un profil très tourmenté, ce qui est dû à la présence de nombreux galets qui forment des obstacles au développement normal des racines. Le diamètre de l'arbre était de 30 cm et la longueur des racines traçantes allaient jusqu'à 5 mètres. Le diamètre des racines était de 2 à 7 cm. Le chevelu était très développé et couvrait le sol par un canevas extrêmement dense. L'extension du chevelu vers la surface est limitée, comme dans le cas des orangers par la profondeur du travail du cover-crop.



Le système racinaire d'abricotiers à la station de la Ménara, entremêlé avec celui d'eucalyptus dont les racines sont peintes en blanc.

Le système racinaire de l'abricotier a été envahi par les racines des eucalyptus lesquelles ayant traversé les racines de la première rangée d'abricotiers allaient plus loin, et à 18 mètres, les racines des eucalyptus étaient toujours présentes. Le développement en bois de l'abricotier ne semblait pas avoir souffert de la concurrence des racines des eucalyptus, mais la récolte de ces arbres fut toujours insignifiante.

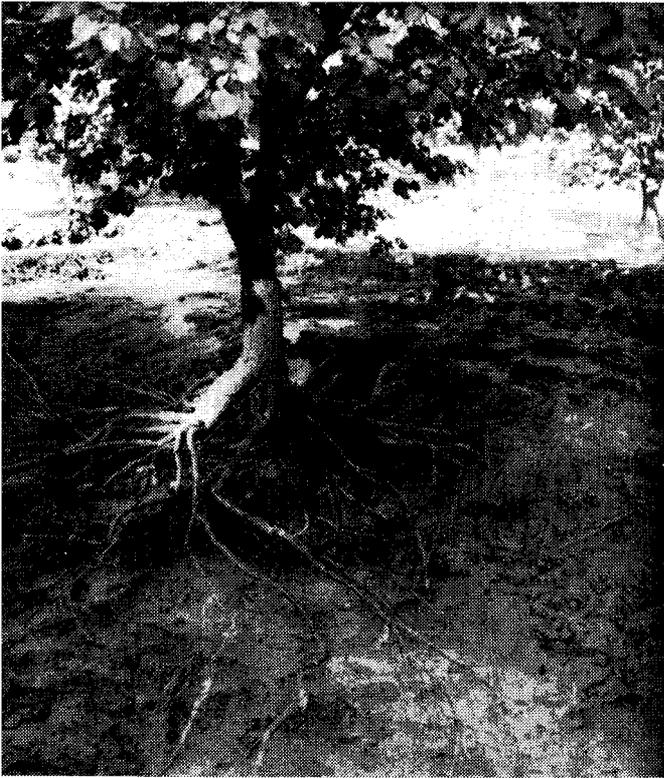
Ainsi l'eucalyptus comme un brise-vent, doit être condamné. Plus haut, il a été dit que l'abricotier se trouvait aussi à 7 m d'une rangée de cyprès. Les racines des cyprès sont peu développées et ne touchent les racines des abricotiers qu'à la périphérie

de celles-ci. Ainsi il semble que les cyprès, distants de 7 m n'influencent peu ou pas du tout le développement des abricotiers. Les photos jointes montrent la pénétration des racines d'eucalyptus dans le système racinaire de l'abricotier. Afin de les rendre plus visibles, les racines des eucalyptus ont été blanchies à la chaux et elles sont blanches sur les photos.

LE SYSTEME RADICULAIRE DE L'ABRICOTIER DANS LES TERRES PROFONDES DU LOTISSEMENT DE SAADA

Dans les terres de Saada, les racines d'abricotiers occupent une zone de 75 à 90 cm de profondeur et non de 35 à 40 cm comme dans les terres de la Station de la Ménara.

Les racines traçantes sont rectilignes et ont un profil normal. Les grosses racines — 4 — font au départ du tronc d'arbre, une voûte sur 30 cm environ. Des pieds de cette voûte partent ensuite les racines



Le système racinaire d'un abricotier dans les terres profondes de Saada. Les grosses racines au départ du tronc forment une voûte.

traçantes d'un diamètre de 2 à 5 cm au départ. Les racines qui forment la voûte ont un diamètre de 10 centimètres.

Toutes les racines traçantes dépassaient la projection de la couronne de l'abricotier et leur longueur était de 4 à 5 mètres. Le plus grand diamètre de la couronne de l'abricotier était de 4 m 95.

La profondeur de la tranche de sol occupée par les racines de l'abricotier à la Station de la Ménara étant de 35 à 40 cm et du lotissement de Saada de 75 à 90 cm, une dose d'irrigation qui peut mouiller le sol sur cette profondeur doit être suffisante.

LE SYSTEME RADICULAIRE DE L'OLIVIER

Les racines d'un olivier de 18 ans ont été délavées dans le sol profond du lotissement de Saada.

Le diamètre de l'arbre était de 24 cm et le plus grand diamètre de la couronne de 5 m 50.

Le système racinaire de cet olivier fut puissant et bien développé. Aucun signe ne montrait que l'arbre a éprouvé des difficultés à faire pénétrer ses racines dans le sol dans n'importe quelle direction. La masse principale des racines traçantes se trouvait dans une zone de 35 à 60 cm de profondeur. La profondeur totale de la tranche de sol occupée par les racines était de 90 cm à 1 m. Les racines traçantes sont très ramifiées. Certaines racines traçantes ont été sectionnées lors du passage du cover-crop et les nouvelles radicelles repoussaient à l'emplacement de la blessure. Le diamètre des racines traçantes au départ du tronc était de 6 à 8 cm et leur longueur de 4 à 5 m 50.

Ainsi l'étude du système racinaire des arbres fruitiers de la région de Marrakech montre que les racines de ces arbres descendent sur une profondeur de 1 mètre au maximum. Les doses d'irrigation à employer doivent donc tenir compte de ce facteur primordial.

LES RACINES D'UN OLIVIER CENTENAIRE DANS LES SOLS PROFONDS DE CHICHAOUA

Les racines d'un olivier ayant plus de cent ans d'existence ont été délavées dans une propriété de Chichaoua, située en bordure de l'oued. Les sondages effectués ont montré qu'à 4 m 50 on se trouvait encore dans les alluvions et ainsi il n'y avait aucun obstacle matériel au développement des racines dans le sens vertical.

Les arbres ont été plantés en lignes distantes de 20 m et espacés sur la ligne à 6 m. Les photos jointes montrent l'aspect général de la plantation et donnent plusieurs vues du système racinaire de l'olivier étudié.

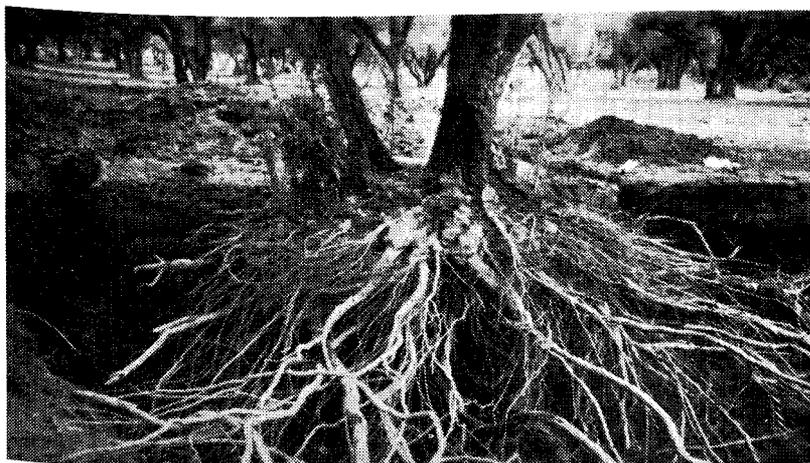
Les observations effectuées montrent que les racines de cet olivier très âgé, occupent immédiatement autour de l'arbre une tranche de sol de 1 m 20 de profondeur et qu'il n'existe aucune racine pivotante. En partant obliquement de la base de l'olivier, les



Vue de l'ensemble de la plantation et des racines qui s'étendent jusqu'à 10 mètres du tronc de l'olivier.

grosses racines forment un dôme ayant au sommet le tronc d'arbre, et les photographies jointes font apparaître l'absence de racines pivotantes ainsi que les différents aspects du système racinaire de l'olivier.

Sur la ligne où les oliviers étaient plantés plus serrés à 6 m de distance, on constatait aussi que les racines des deux arbres voisins évitaient autant que possible de s'entre-pénétrer et cherchaient semblait-il à se créer un « espace vital ».



Vue d'en haut de la voûte formée par les racines

immédiatement autour du tronc. Dans un rayon de 1 m 50 à 2 m 50, quelques-unes des grosses racines se trouvent à leur niveau le plus bas, c'est-à-dire à une profondeur de 1 m 20, mais la masse principale des racines reste dans une tranche du sol profonde de 70 à 80 cm seulement.

A partir d'un rayon de 2 m 50, les racines remontent pour se maintenir de 10 à 50 cm au-dessous du niveau du sol. La photographie ci-contre montre bien les racines remontantes d'une profondeur de 70 - 80 cm pour rester ensuite



A partir d'un rayon de 2 m 50, les racines de l'olivier remontent pour se maintenir ensuite à une profondeur de 10 à 50 centimètres au-dessous du niveau du sol. Cette photographie montre ce phénomène

légèrement au-dessous du niveau du sol. A l'extrémité se trouve le point de rencontre des racines de deux arbres situés à 20 m de distance. Un phénomène curieux a été observé. Au début, il a été indiqué que la distance entre les lignes des oliviers était de 20 mètres. Les racines traçantes qui se maintiennent à une profondeur de 10 à 50 cm, vont à une distance de 10 mètres où elles rencontrent les racines d'une rangée voisine, mais il n'y a pas d'entre-pénétration des racines des deux oliviers, sauf quelques exceptions.

Au contraire, arrivées à la proximité des racines d'un autre arbre, elles tournent à gauche ou à droite.

Il faut ajouter que les oliviers avaient un chevelu puissamment développé et sur toute la superficie de la plantation, chaque centimètre carré de sol, à partir de 10 cm et jusqu'à 50 cm de profondeur, a été exploré par les radicelles.

Ainsi, les oliviers centenaires ne font pas exception et leur système racinaire occupe une tranche de sol de 1 m 20 de profondeur seulement. Il en résulte que les fortes doses d'irrigation ne sont pas à recommander.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus

Variétés	Nature du sol	écartement entre les arbres	âge de l'arbre	diamètre du tronc de l'arbre	diamètre de la couronne	longueur des racines traçantes	profondeur zone occupée par racines
Orangers Washington Navel	sol de la station	7 X 6	18	23 cm.	5,00	2 à 4 m.	40 à 50 cm.
Clémentiniers	sol de Targa	7 X 6	15	24 cm.	5,10	1,5 à 4,5	80 cm.
Orangers Washington Navel	sol de Saada	6 X 6,5	12	23 cm.	4,90	2 à 4,5	80 — 90 cm.
Abricotiers	sol de la station	7 X 8	17	30 cm.	5,50	4 à 5 m.	30 — 40 cm.
Abricotiers Canino ..	sol de Saada	7 X 7	10	18 cm.	4,95	4 à 5 m.	75 — 90 cm.
Oliviers	sol de Saada	10 X 10	15	24 cm.	5,50	4 à 5,50	90 — 1 m.

IV. — LES BESOINS EN EAU DES PLANTATIONS ET DES CULTURES PRATIQUES DANS LA REGION DE MARRAKECH ET LES HYDROMODULES

Ainsi qu'il a été indiqué au début de cette étude, l'élaboration des hydromodules rationnels à appliquer dans le réseau de distribution d'eau impliquait une connaissance parfaite des besoins en eau des cultures pratiquées dans la région de Marrakech.

Des observations ont été poursuivies régulièrement afin de photographier aussi fidèlement que possible la situation existante dans la région au point de vue des irrigations, quant à leurs doses et à leurs fréquences et de déterminer la consommation d'eau des diverses plantations et cultures, en particulier des orangers.

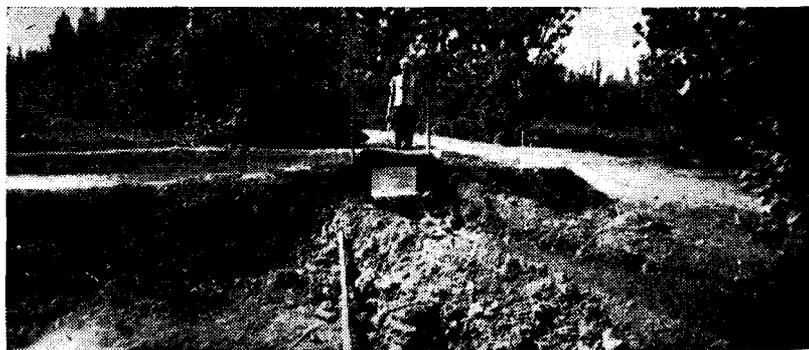
A. — DOSES ET FREQUENCES DES IRRIGATIONS

Le contrôle des quantités d'eau données par les irrigations a été effectué à l'aide d'un déversoir portatif à parois minces et ouvertures rectangulaires. Ce déversoir fut garni sur ses trois côtés d'une toile de bâche afin de rendre l'installation étanche.

Quatre piquets en fer aidaient à maintenir le déversoir dans la position verticale. Un niveau à eau servait à vérifier la position horizontale de crête du déversoir, ainsi que la position verticale de l'ensemble. Une échelle métallique placée en amont servait à la lecture de

l'épaisseur de la lame d'eau au-dessus de la crête du déversoir. Les photographies jointes montrent quelques installations réalisées.

Pour certaines cultures, le contrôle des irrigations a pu être effectué durant toute la campagne agricole. Pour d'autres, des sondages périodiques ont eu lieu. Sur le Tableau I qui donne les résultats de contrôle des doses et des fréquences des irrigations, sont portées les doses observées en mètres cubes d'eau ramenés à l'hectare. Pour le tabac, les tomates, les cultures vivrières et les fèves où ont eu lieu seulement des sondages périodiques, on trouvera à côté des quantités d'eau contrôlées, des doses d'irrigation représentant les moyennes des doses observées. Enfin, pour les orangers, sont données les doses et les fréquences des irrigations observées durant les années 1951 et 1952, cette culture représentant la base économique de toutes les exploitations agricoles de la région.



Vue d'ensemble d'une installation de déversoir portatif.

TABLEAU I

Nature des cultures	Eau en m ³ par hectare												Nbre total d'irriga- tions	
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre		Total en m ³
Oliviers		390	470	630	520	510	580	440	480	510	520		5.050	10
Abricotiers		640	480	590	480	520	470	620	710	490			4.800	9
Luzerne		580	620	540	720	620	530	640	490	530	640		15.810	26
			560	650	510	490	720	520	610					
Bersim	430	540	480	490					480	420	520	500	12.820	26
	480	470	510	530					740	510	430	460		
Céréales		600	440	470					410	470	480	540		
orge		480	540							520		780	2.320	4
Maïs					530	810	510 470	550					2.870	5
Tabac		580	430 470	500	470	500	500 450	500 500	470				3.370	11
Tomates et cultures vivri- ères		510	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	13.500	27
			500	430	500	500	500	500	500	500				
Fèves	500	500	500						790	470	520	500	7.800	15
		500	500						510	530	500	500		
Oranger 1951			690	340 570	520	580 640	565	695 595	710	540	520		6.965	12
	640	600	490	530	750	630	620	700	590	610 540		590	7.290	12

Les chiffres du Tableau I montrent que les doses d'irrigation employées dans la région pour les diverses cultures, varient entre 400 m³ et 800 m³ à l'hectare. Les observations effectuées durant ces essais ont permis de constater, toutes autres conditions étant égales, que ce sont les irrigations effectuées sur un sol labouré qui absorbent les quantités importantes d'eau, représentant presque une fois et demie une irrigation effectuée sur un sol ayant déjà été mouillé. La première irrigation pour la culture des céréales effectuée sur un sol sec non labouré, absorbe dans les conditions locales 500 m³ d'eau environ. La deuxième irrigation des céréales faite après la germination absorbe de 700 à 800 m³ d'eau, la terre ayant été déjà labourée, et les irrigations suivantes de nouveau 400 à 500 m³ environ. Les écarts constatés entre les doses d'irrigation employées dans la luzernière sont dûs surtout à l'état d'esprit de l'irrigateur et en partie au degré de développement des plantes : aussitôt après la coupe, la dose employée est presque toujours plus faible, mais quelques temps après, les tiges de la luzerne plus développées diminuent la vitesse d'eau et en augmentent la consommation. Pour les cultures sur billons, telles que tabac, tomates, etc., c'est surtout l'écartement entre les billons qui conditionne l'importance de la dose employée et pour un écartement de 90 centimètres à 1 mètre entre les billons, les quantités d'eau employées n'ont jamais dépassé 450 à 600 m³.

En ce qui concerne la culture du bersim, cette culture demande dans les conditions locales d'importantes quantités d'eau. La meilleure époque des semis semble être le mois de septembre. Dans les sols de la région, une croûte se forme après une irrigation dans les terres labourées ; la graine du bersim étant très petite n'arrive pas à percer facilement la croûte formée et pour assurer une bonne germination, il est absolument indispensable, dans les conditions locales, de donner après le semis de bersim, une irrigation tous les quatre jours. Ceci maintient la surface du sol humide empêchant la formation de la croûte et la levée du bersim est assurée ainsi dans de bonnes conditions.

Ensuite, comme pour la luzerne, 3 à 4 irrigations par mois sont nécessaires si l'on veut obtenir de hauts rendements.

Dans les conditions locales, les froids de l'hiver arrêtent la croissance de la luzerne ; par contre, c'est durant les mois froids que le bersim se développe suffisamment bien. Ainsi, ces deux cultures fourragères se complètent ici, et elles peuvent assurer à elles deux l'alimentation du bétail.

Comme il a été indiqué au début, les doses des irrigations observées pour toutes les cultures variaient entre 400 et 800 m³ environ. Les dosages d'humidité du sol furent effectués à plusieurs reprises avant et après les irrigations, et ces dosages ont montré que les irrigations

de 400 à 800 m³ étaient suffisantes pour amener sur une profondeur de 1 mètre l'humidité du sol au voisinage de sa capacité de rétention. Le tableau ci-dessous donne les résultats de certains de ces dosages.

Dose d'irrigation	Profondeur du prélèvement	Humidité du sol en % de la terre sèche avant l'irrigation.	Humidité du sol en % de la terre sèche après l'irrigation.
571 m ³	0,10	10,0	20,2
	0,30	15,8	19,5
	0,50	20,2	22,9
	0,80	17,1	19,5
	1,00	15,3	16,8
489 m ³	0,10	12,4	21,7
	0,30	16,9	19,3
	0,50	19,9	21,1
	0,80	15,7	17,8
	1,00	15,0	16,5

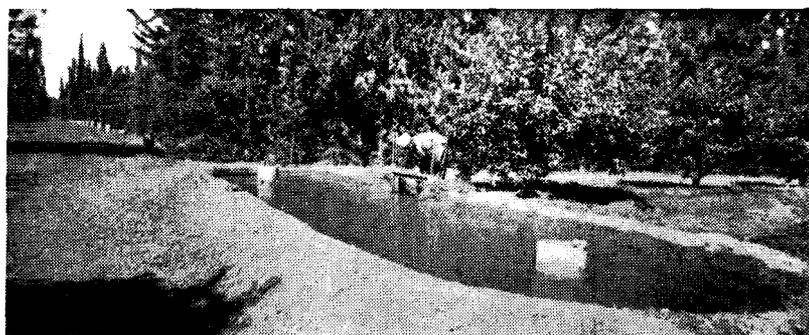
Or, presque tout le système racinaire de toutes les plantes cultivées dans la région, se trouve dans la tranche du sol d'une profondeur d'un mètre environ. Il est certain que ces doses d'irrigation doivent être considérées dans les conditions locales comme suffisantes.

B. — CONSOMMATION D'EAU PAR LES ORANGERS

Une étude suivie durant deux années a été entreprise ici pour déterminer la consommation d'eau par les orangers, cette culture étant celle de base pour la plupart des exploitations de la région.

Dans ce but, il était nécessaire de mettre au point une méthode qui permette de contrôler les quantités d'eau données par les irrigations et de chiffrer : la transpiration des orangers, l'évaporation de la surface du sol des parcelles d'essais et la percolation dans les couches profondes du sol.

Comme travail préparatoire à cette étude, des analyses globales et physiques du sol des parcelles d'essais ont été effectuées, et la capacité de réten-



Le contrôle des doses d'irrigation. L'installation d'un déversoir portable réalisé à la Ménara.

tion, le point de flétrissement, les densités réelles et apparentes des mêmes sols ont été déterminées.

Il était aussi important de savoir la profondeur de la tranche du sol occupée par les racines des orangers, afin de pouvoir déterminer la dose d'irrigation, laquelle aurait été apte de mouiller la terre dans les conditions locales à la profondeur nécessaire.

Ce côté de la question a été aussi étudié et la documentation nécessaire obtenue. Comme système d'irrigation, c'est l'irrigation en cuvettes qui a été adoptée, car elle évitait le ruissellement, permettait un contrôle facile des quantités d'eau utilisées, et donnait la certitude que l'eau employée dans un point donné y restait.

Il faut ajouter que le terme « la consommation d'eau par les orangers » signifie ici la quantité totale d'eau transpirée par l'oranger, retenue par lui pour la formation des tissus et percolée, s'il y a lieu, au-dessous de la zone occupée par les racines des orangers.

On devine combien les recherches de ce type sont difficiles et combien délicate est l'interprétation des résultats obtenus, ces difficultés résultant de la nature même des choses.

Après quelques mises au point, la méthode suivante a été adoptée :

1) Deux séries d'orangers furent choisies dans une parcelle où l'irrigation se faisait en cuvettes. Les

paille donnait, toutes autres conditions étant égales, l'évaporation de la surface du sol.

3) Les prélèvements de sol pour les dosages de l'humidité ont été effectués avant et après les irrigations et à plusieurs reprises entre deux irrigations aux profondeurs suivantes : 10, 30, 50, 80 et 100 centimètres et ensuite à 1 m 50 et 2 mètres.

4) En 1951 et en 1952, les quantités totales d'eau données par les irrigations aux deux parcelles des orangers en observation furent notées. Ce contrôle se faisait à l'aide d'un déversoir. Les renseignements météorologiques ont été fournis par la station officielle de Météorologie de l'Aviation à Marrakech. En 1951, toute initiative sur le choix des dates des irrigations a été laissée au propriétaire du domaine où cette étude a eu lieu afin que cet essai soit poursuivi suivant les traditions établies dans la région.

En 1952, les résultats des dosages de l'humidité du sol et les conditions atmosphériques existantes et prévisibles étaient prises en considération avant de décider s'il y avait lieu d'irriguer ou non.

LES ANALYSES PHYSIQUES ET LES PROPRIETES HYDRIQUES DES SOLS

Les observations dans les parcelles d'essais ont commencé par les analyses physiques et par les déterminations des propriétés hydriques de ces sols. Le tableau 1 donne les résultats de ces analyses.

T A B L E A U 1

Profondeur	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Carbonate en carbonate de chaux	Matières organiques	Densité réelle	Densité apparente	Porosité	Capacité de rétention	Point de flétrissure
0,10	29,75	28,25	26,33	6,15	5,55	2,02	2,20	1,30	41	25,6	7,1
0,30	18,75	33,50	36,68	4,43	3,41	1,52	2,10	1,31	37	21,5	
0,50	31,75	27,75	31,50	2,95	3,25	1,40	2,02	1,60	20	16,4	10,5
1,00	29,50	21,25	41,18	3,12	1,02	2,01	2,15	1,47	32	14,2	7,1

dimensions de ces cuvettes furent de 4 m 50 × 5 m 50. Dans la première série, le sol dans les cuvettes fut recouvert d'une couche de 50 centimètres de paille. Ceci permettait de supprimer l'évaporation de la surface du sol et les déterminations de la teneur en eau du sol de ces parcelles permettaient de chiffrer la transpiration et la consommation réelle d'eau par l'oranger.

2) Dans la deuxième série d'arbres, le sol fut laissé nu et les dosages de l'humidité du sol de ces parcelles à différentes profondeurs ont eu lieu périodiquement, ce qui permettait de chiffrer la consommation globale d'eau par les orangers dans ces parcelles. La différence entre les quantités d'eau consommées par les orangers des parcelles à sol nu, et les orangers dans les parcelles à sol couvert de

On remarquera que c'est l'horizon se trouvant à 50 centimètres de profondeur qui a une teneur en argile la plus forte. En même temps, la porosité de cet horizon est faible et le point de flétrissement élevé. La capacité de rétention de sol des parcelles d'essais représentent comme on le voit la capacité de rétention moyenne des sols de la région. En raison des pluies tombées, les irrigations dans les parcelles choisies pour les essais ont été arrêtés en 1950 au mois de novembre, mais les observations sur les parcelles et les dosages de l'humidité du sol ont commencé le 1^{er} janvier 1951. Les premiers prélèvements ont eu lieu les 4, 12, 17 et 22 janvier et le tableau 2 ci-dessous donne les résultats des dosages effectués.

TABLEAU 2

Date des prélèvements	Profondeur prélevée	Humidité du sol	Date	Profondeur	Humidité du sol	Date	Profondeur	Humidité du sol	Date de prélèvement	Profondeur	Humidité du sol	Capacité de rétention	Point de flétrissement
Le 4 janvier	0,10	21,1	Le 12 Janvier	0,10	21,3	Le 17 Janvier	0,10	21,5	Le 22 Janvier	0,10	21,9	25,6	7,1
	0,30	20,4		0,30	20,1		0,30	21,2		21,5			
	0,50	15,8		0,50	18,7		0,50	17,2		16,4	10,5		
	0,80	13,5		0,80	13,0		0,80	15,6		16,1			
	1,00	13,6		1,00	12,3		1,00	16,8		14,2	7,1		
Moyenne											18,7	8,2	

Les chiffres du tableau montrent que malgré l'arrêt au début du mois de novembre des irrigations, les quantités d'eau qui existaient dans le sol en fin janvier étaient largement suffisantes pour assurer le développement normal des orangers, car l'humidité du sol se maintenait bien au-dessus du point de flétrissement, sur toute la profondeur du sol occupée par les racines des arbres.

DOSAGES DE L'HUMIDITE DU SOL

La première irrigation de l'année 1951 a eu lieu le 16 mars. Les dosages de l'humidité du sol effectués avant l'irrigation montrent que cette première irrigation a été prématurée. En effet, le 16 mars l'humidité du sol était encore loin du point de flétrissement, mais l'arrêt des pluies, les conditions atmosphériques existantes et surtout la tradition ont décidé de la date de cette première irrigation.

TABLEAU 3

Date d'irrigation	Profondeur prélevée	Humidité du sol avant l'irrigation	Humidité du sol après l'irrigation	Capacité de rétention	Point de flétrissement
16 Mars 1951	0,10	15,8	26,3	25,6	7,1
	0,30	18,9	20,0	21,5	
	0,50	17,6	17,4	16,4	10,5
	0,80	13,4	16,1	16,1	
	1,00	13,1	13,7	14,2	7,1

Les irrigations suivantes ont eu lieu les 4 avril, le 21, le 7 et le 4 juin, et les graphiques 7 et 8 donnent le mouvement d'eau dans le sol durant cette période pour les parcelles où l'évaporation de la surface du sol a été supprimée par une couverture de paille, et pour les parcelles à sol nu où l'évaporation de la surface du sol s'ajoutait à la transpiration d'eau par l'oranger.

Ces graphiques montrent que le comportement des parcelles des orangers à sol nu et à sol couvert de paille fut différent.

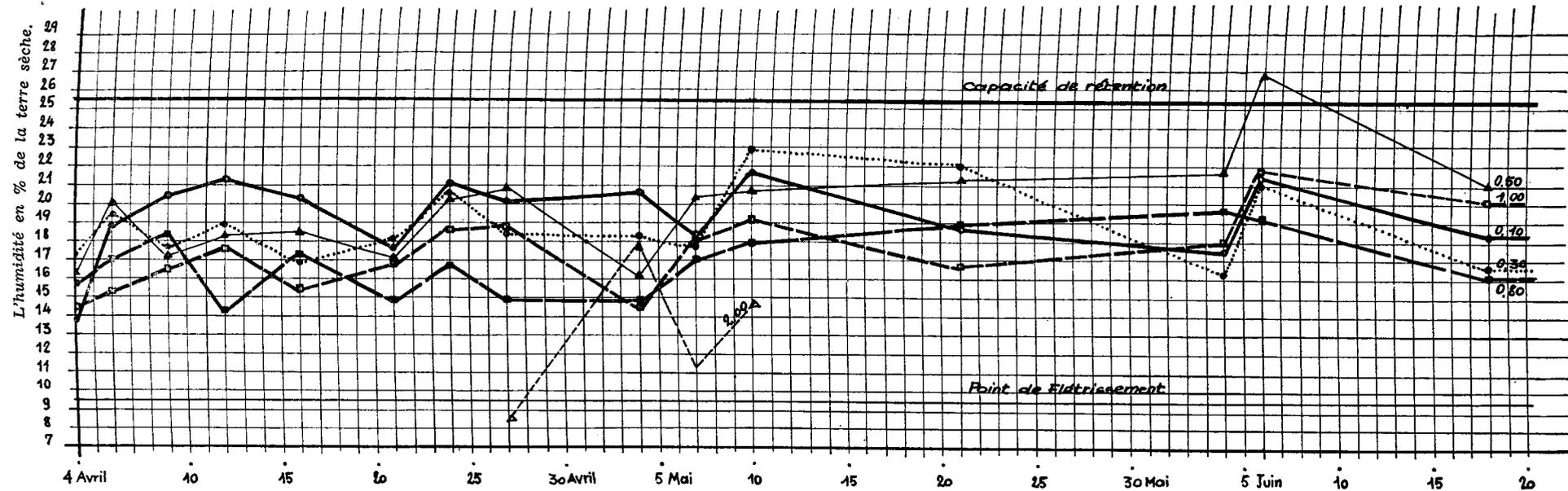
Dans les premiers dix centimètres des parcelles à sol nu, les variations de l'humidité du sol entre deux irrigations sont importantes et jusqu'au 30 mai l'humidité du sol dans les premiers 10 à 30 centimètres fut presque plus basse que dans les horizons de 50, 80 et 100 centimètres. Par contre, dans les parcelles dont le sol fut couvert par la paille et où l'évaporation était inexistante, la situation est inverse et jusqu'au 20 mai, les horizons les plus humides furent presque toujours ceux de 10 à 30 centimètres et ensuite de 50 centimètres. De plus, l'amplitude des fluctuations de l'humidité du sol dans ces dernières parcelles entre deux irrigations fut faible.

Ceci semble indiquer que les besoins en eau seuls des orangers, touchaient peu les réserves d'eau du sol et que les fortes fluctuations de l'humidité dans les premiers 30 centimètres des parcelles à sol nu furent surtout dues aux phénomènes d'évaporation. Les besoins en eau des orangers jusqu'au 15-20 mai furent faibles, car l'humidité du sol dans toute la zone des racines varie peu et reste presque constante. Mais à partir du 10-15 mai l'élévation de la température et la diminution de l'humidité atmosphérique semble accélérer la transpiration chez les orangers et l'évaporation de la surface du sol. Ceci se traduit sur le graphique des parcelles à sol nu par la baisse générale de l'humidité et par le rapprochement entre les courbes, ce qui indique l'égalisation de l'humidité du sol dans toute la zone des racines.

La forte diminution de l'humidité dans toute la zone des racines des parcelles à sol nu semble indiquer aussi que les effets de l'évaporation et de la transpiration sont sensibles jusqu'à un mètre de profondeur.

L'élévation de la température atmosphérique provoque une nette augmentation de la transpiration chez les orangers. Ceci se remarque sur le graphique des parcelles à sol couvert de paille par la diminution de l'humidité dans les premiers 30 centimètres du sol où se trouve la masse principale du che-

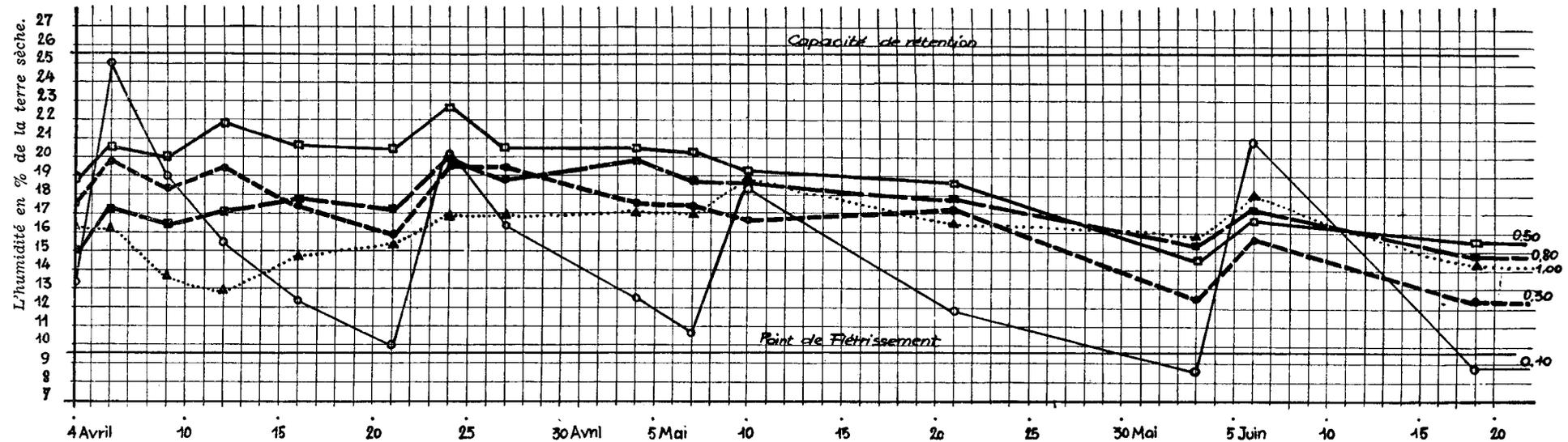
Mode d'irrigation en cuvette de 4,50 × 5,50 (l'humidité du sol des parcelles dont le sol est recouvert de paille pour éviter l'évaporation)
et aux profondeurs de 0 m 10, 0 m 30, 0 m 50, 0 m 80, 1 m 00



Les volumes et les dates des irrigations : le 4 avril 335 m3, le 21 avril 571 m3, le 7 mai 518 m3, le 4 juin 576 m3.

Graphique 7

L'humidité du sol des parcelles dont le sol fut laissé nu aux profondeurs de 0 m 10, 0 m 30, 0 m 50, 0 m 80, 1 m 00



Les volumes et les dates des irrigations : le 4 avril 335 m3, le 21 avril 571 m3, le 7 mai 518 m3, le 4 juin 576 m3.

Graphique 8

velu, à partir du 20 mai. A partir de cette date, cette humidité descend au-dessous de l'humidité des zones de 50, 80 et 100 cm ; tandis qu'avant le 20 mai, l'humidité des premiers 30 centimètres du sol fut toujours plus élevée.

Il fut remarqué durant ces essais, qu'en supprimant l'évaporation de la surface du sol dans les parcelles des orangers par une couche de paille, les mouvements d'eau, surtout dans les premiers 30 centimètres du sol, sont très sensibles à tous les changements dans les conditions atmosphériques. Cela semble provenir du fait que c'est dans cette zone que se trouve la masse principale du chevelu, laquelle est la partie la plus active du système racinaire de l'oranger, et l'augmentation ou diminution de la transpiration chez les orangers se traduisent par les mouvements d'eau dans la tranche supérieure du sol.

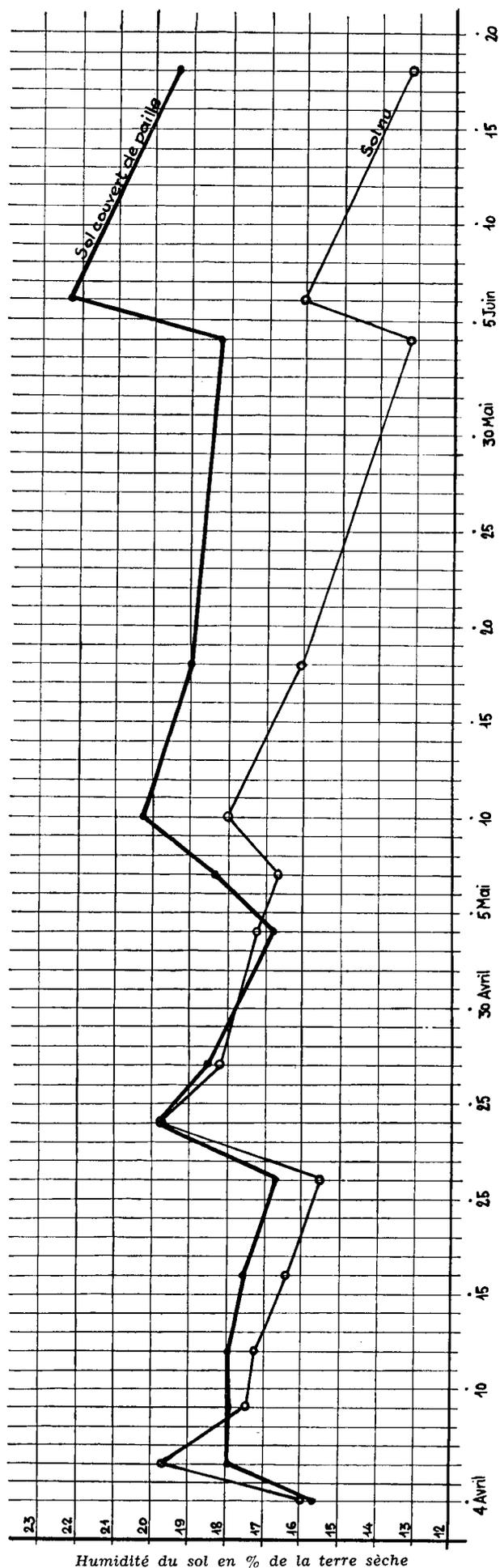
Le graphique 9 représente l'humidité moyenne du sol sur une profondeur de 1 mètre des parcelles à sol nu et à sol couvert de paille. Ce graphique montre d'une façon très claire, l'importance de l'évaporation de la surface du sol dans l'économie d'eau des parcelles d'expériences. En effet, l'humidité du sol des parcelles couvertes de paille fut toujours plus élevée que celle des parcelles non protégées contre l'évaporation. Cette différence dans la teneur en eau entre les deux types de parcelles est due à l'effet de l'évaporation dans le cas des parcelles à sol nu, car toutes autres conditions furent égales dans cet essai.

Les résultats des observations effectuées ont montré une grande importance de l'évaporation de la surface du sol dans l'économie d'eau des sols de la région. La comparaison entre les graphiques de mouvement d'eau et les renseignements météorologiques montre qu'il existe une corrélation inverse entre les températures et l'humidité du sol et l'augmentation de la température atmosphérique provoque une baisse de l'humidité du sol. La corrélation est directe entre les températures et l'évaporation. (graphique 10).

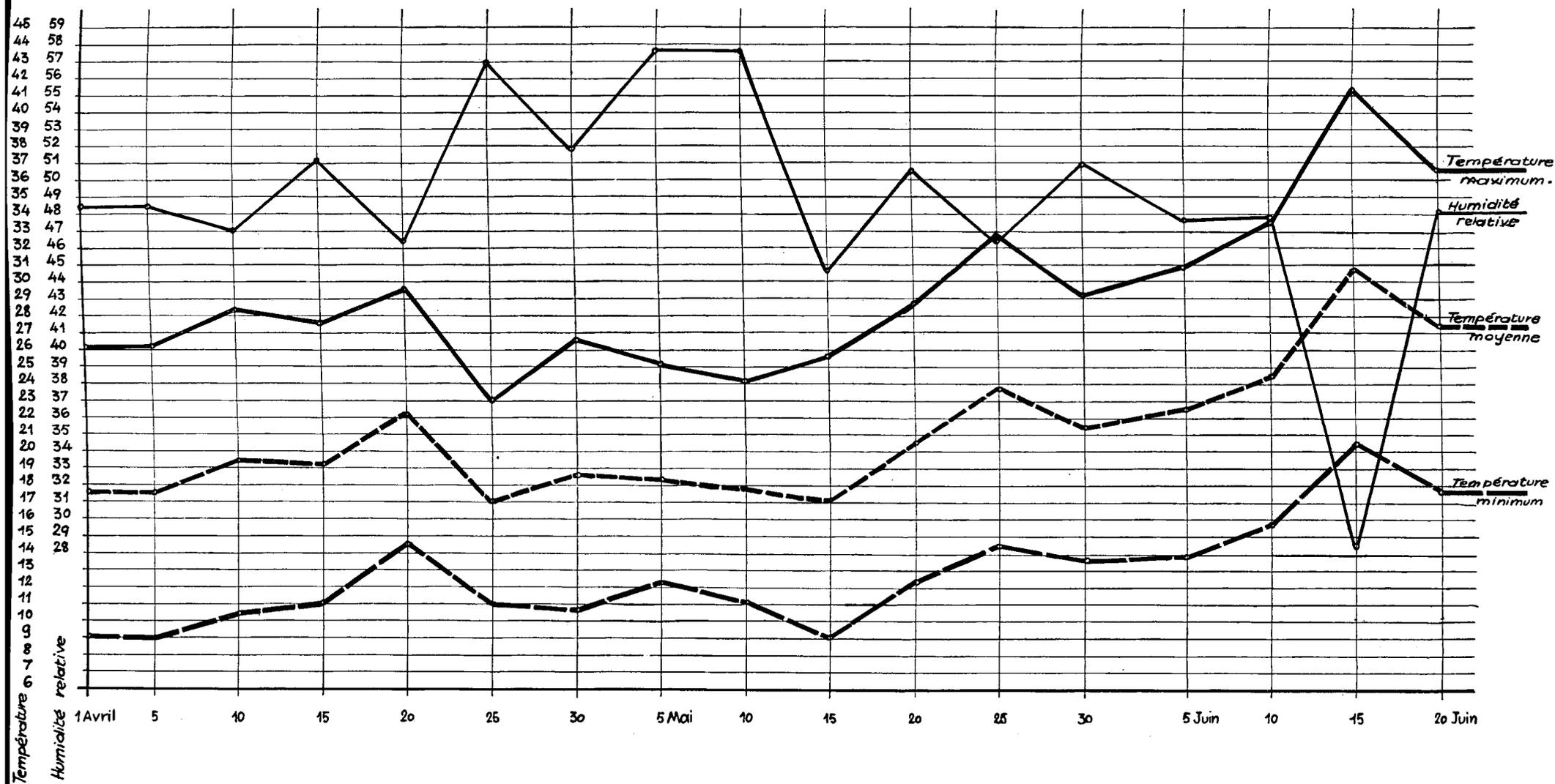
Les observations de la campagne 1952 ont confirmé celles de 1951 en ce qui concerne l'importance de l'évaporation de la surface du sol et la consommation d'eau par les orangers.

IRRIGATION DES ORANGERS DANS LES TERRES PROFONDES DU LOTISSEMENT DE SAADA

Mode d'irrigation : en cuvettes de 4 m 50 × 5 m 50. L'humidité moyenne du sol sur 1 m de profondeur avant et après les irrigations de :
335 m³ le 4 avril, 571 m³ le 21 avril, 518 m³ le 7 mai, 576 m³ le 4 juin



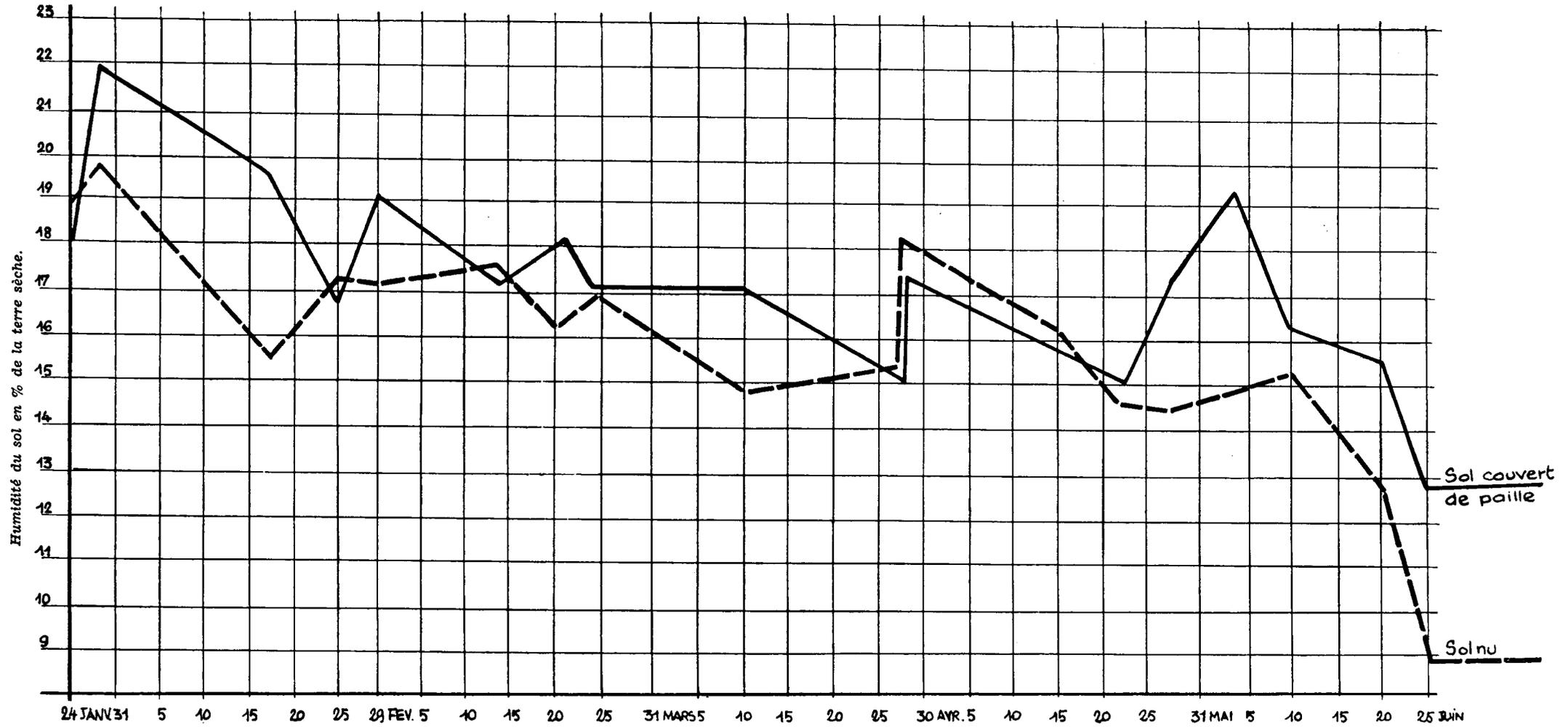
TEMPERATURE ET HUMIDITE RELATIVE DU 1^{er} AVRIL AU 20 JUIN 1951



Graphique 10

L'IRRIGATION DES ORANGERS DANS LES TERRES PROFONDES DU LOTISSEMENT DE SAADA

Mode d'irrigation : en cuvettes de 4 m 50 × 5 m 50. L'humidité moyenne sur une profondeur de 1 m du sol des parcelles à sol nu et du sol des parcelles couvert de paille. Année 1952

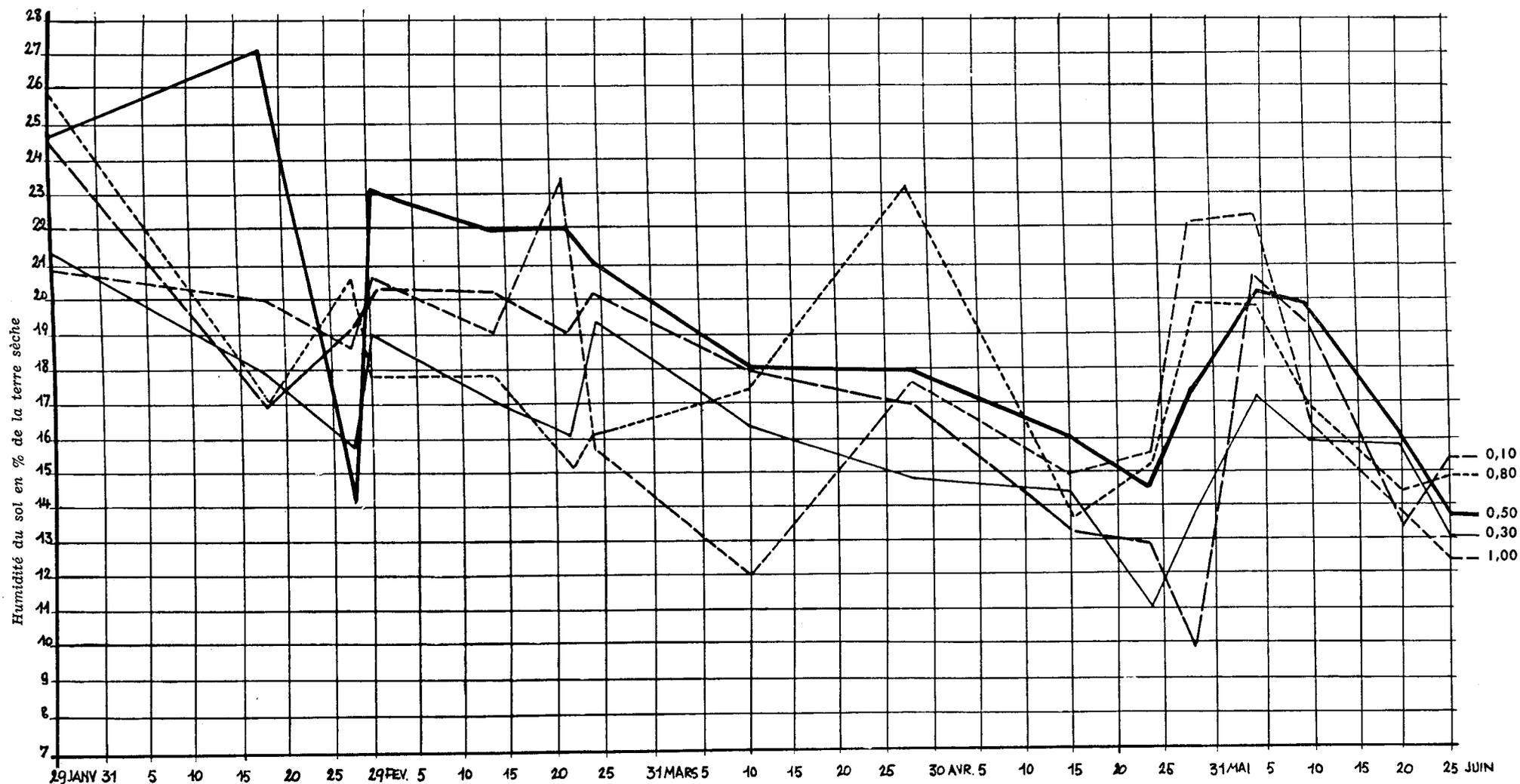


Graphique 11

IRRIGATION DES ORANGERS DANS LES TERRES PROFONDES DU LOTISSEMENT DE SAADA. — ANNEE 1952

Irrigation en cuvettes. Le sol des parcelles est couvert de 50 cm de paille pour supprimer l'évaporation de la surface du sol

Humidité du sol avant et après les irrigations : le 24 janvier, 635 m³ ; le 27 février, 604 m³ ; le 20 mars, 489 m³ ; le 28 mai, 753 m³

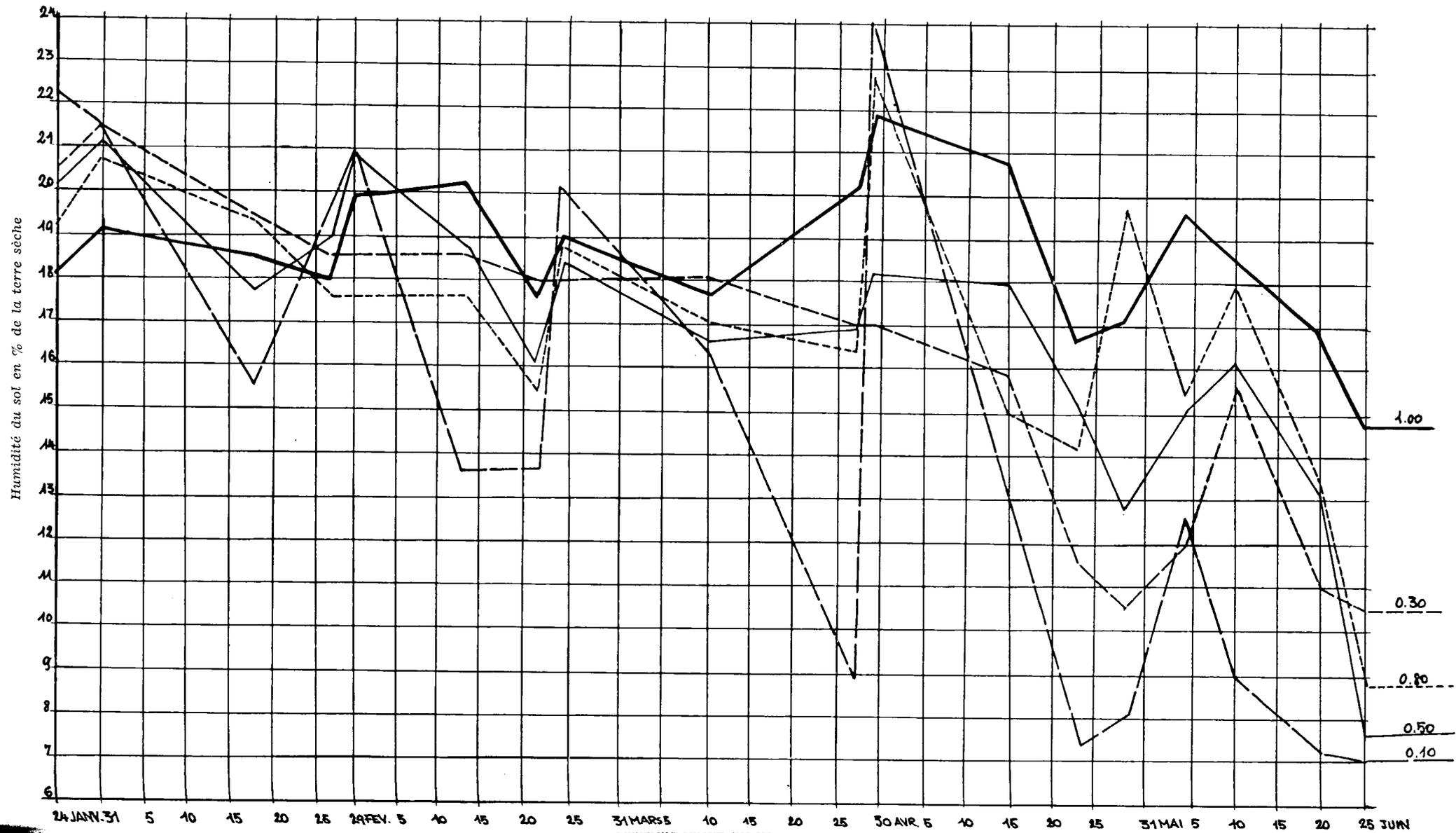


Graphique 12

L'IRRIGATION DES ORANGERS DANS LES TERRES PROFONDES DU LOTISSEMENT DE SAADA. — ANNEE 1952

Irrigation en cuvettes. Le sol des parcelles est laissé nu

L'humidité du sol avant et après les irrigations : le 24 janvier, 635 m³ ; le 27 février, 604 m³ ; le 20 mars, 489 m³ ; le 28 avril, 530 m³ ; le 28 mai, 753 m³ ; le 25 juin, 635 m³



Devant les résultats obtenus en 1951, il fût décidé de supprimer un certain nombre d'irrigations des orangers afin de pouvoir continuer à observer par les dosages d'humidité du sol les besoins réels des orangers en eau.

Le graphique 11 donne l'humidité moyenne du sol sur une profondeur de 1 mètre des parcelles à sol nu et à sol couvert de paille pour une période du 1^{er} janvier au 20 juillet 1952.

On remarquera que malgré la suppression durant cette période de deux irrigations dans les parcelles où l'évaporation a été supprimée par une couche de paille, l'humidité du sol dans ces parcelles est aussi élevée que celle des parcelles à sol nu ayant reçu deux fois plus d'eau.

Toutes autres conditions étant égales, il est certain que c'est l'évaporation de la surface du sol et non la consommation d'eau par l'oranger lui-même qui est à la base de cette grande différence dans les

dépenses en eau entre ces deux séries de parcelles.

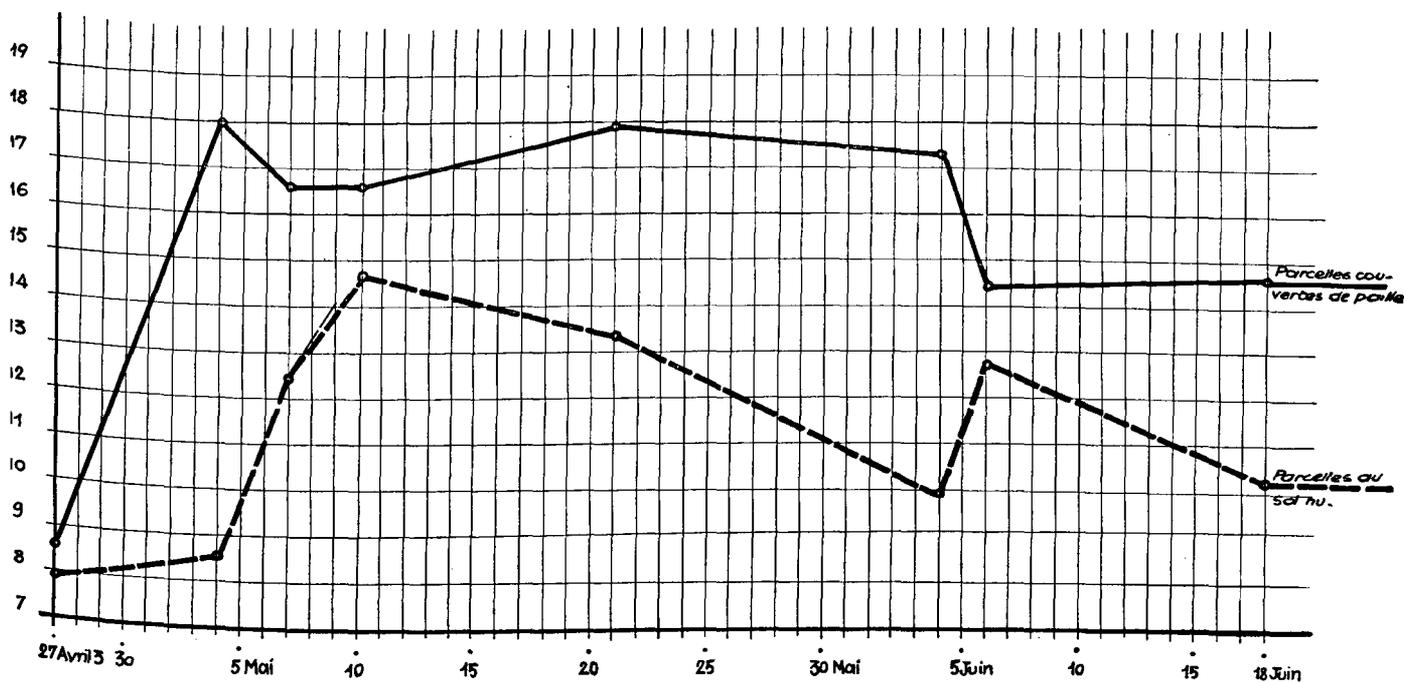
Les graphiques 12 et 13 donnent les mouvements d'eau sur un mètre de profondeur dans les deux séries des parcelles durant la campagne 1952. L'allure générale des courbes est identique à celui des graphiques de l'année 1951 et il semble que les mêmes causes ont provoqué les effets similaires en 1952.

Dans les parcelles dont le sol fut couvert par la paille pour supprimer l'évaporation d'eau de la surface du sol, les variations de l'humidité du sol sont dues à deux facteurs seulement : la consommation d'eau par l'oranger et la percolation dans les horizons plus profonds.

Les dosages de l'humidité du sol dans les horizons au-dessous de la zone occupée par les racines de l'oranger — 1 m 50 et 2 m — ont été effectués et le graphique 14 et le tableau joints donnent les résultats de ces observations pour l'année 1951.

PERCOLATION DES EAUX D'IRRIGATION AU-DESSOUS DE LA TERRE OCCUPEE PAR LES RACINES DES ORANGERS

Humidité moyenne de la tranche du sol comprise entre 1 m et 2 m de profondeur



Graphique 14

TABLEAU 4

Date du prélèvement	Profondeur du prélèvement	Humidité du sol parcelle nue	Humidité du sol parcelle couverte de paille	Humidité du sol Moyenne pour 2 m de profondeur sol nu	Humidité du sol Moyenne pour 2 m de profondeur sol couvert de paille	Teneur en eau disponible Parcelle à sol nu. en m ³ .	eau disponible. Parcelle à sol couvert de paille
27 Avril	2m.	7,9	8,5	7,9	8,5	0	0
4 Mai	2m.	8,5	18,0	8,5	18,0	0	960 m ³
7 Mai	1m,50	13,8	15,2	12,4	16,6	327 m ³	802 m ³
	2m.	11,1	18,1				
10 Mai	1m,50	14,5	18,4	14,7	16,6	587 m ³	802 m ³
	2m,00	15,00	14,8				
21 Mai	1m,50	12,5	18,4	13,4	17,9	440 m ³	960 m ³
	2m,00	15,4	17,4				
4 Juin	1m,50	9,2	17,6	9,9	17,3	45 m ³	881 m ³
	2m,00	10,6	17,1				
6 Juin	1m,50	13,1	15,3	12,8	14,4	327 m ³	553 m ³
	2m,00	12,5	13,5				
18 Juin	1m,50	10,5	13,9	10,2	14,6	79 m ³	576 m ³
	2m,00	10,0	15,3				

Les chiffres du tableau montrent que les pertes par percolation sont plus importantes dans les parcelles à sol couvert de paille que dans celles à sol nu. Cela s'explique par le fait que l'absence d'évaporation dans les premières doit laisser des quantités importantes d'eau non utilisées par les orangers et cette eau se perd par la percolation.

A partir du 30 mai, les pertes par percolation semblent diminuer dans les parcelles où l'évaporation a été supprimée par une couche de paille. Cette diminution des pertes correspond à l'élévation de la température atmosphérique (voir météo) et comme suite à l'augmentation de la transpiration de l'oran-

ger, et de ses besoins en eau, ce qui laissait des réserves plus faibles dans le sol.

CONSOMMATION REELLE D'EAU PAR LES ORANGERS

L'ensemble des observations effectuées permet de présent de chiffrer la consommation réelle d'eau par les orangers pour les périodes des observations, et de donner les tableaux avec les dates, les doses, la fréquence des irrigations et les quantités totales d'eau utilisées durant les années 1951-1952.

TABLEAU 5

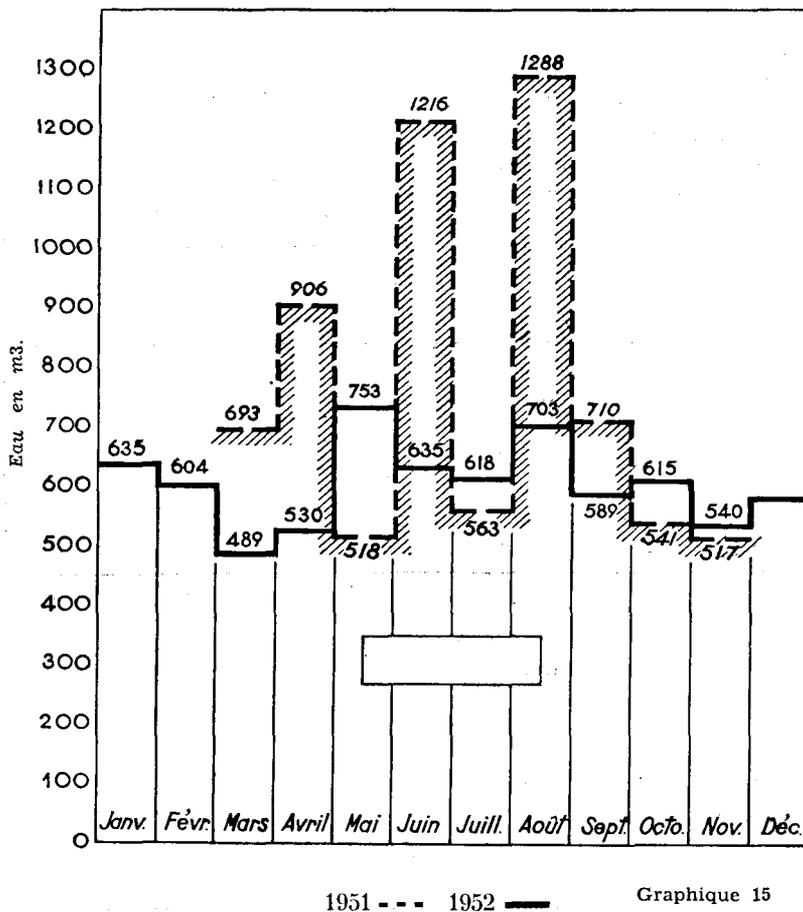
Consommation d'eau par les Orangers

Période des prélèvements et des dosages	Eau consommée par les orangers et évaporation de la surface du sol dans les parcelles à sol nu.	Eau consommée réellement par les orangers dans les parcelles à sol couvert de paille.	Evaporation de la surface du sol dans les parcelles à sol nu.	Eau donnée par les irrigations aux parcelles à sol nu.	Eau donnée par les irrigations aux parcelles à sol couvert de paille.	Eau consommée par les orangers et évaporation dans les parcelles à sol nu en M ³ à l'hectare	Eau consommée réellement par les orangers dans les parcelles à sol nu en % d'eau apportée.	Eau consommée réellement par les orangers dans les parcelles à sol couvert de paille en % de l'eau donnée par les irrigations
Essais Année 1951								
4 Avril — 21 Avril	408	251	157	335	335			
21 Avril — 7 Mai	350	184	166	571	571			
7 Mai — 4 Juin	721	267	454	518	518			
4 Juin — 18 Juin	467	461	006	576	576			
	1.946	1.163	788	2.000	2.000		97 %	58 %
Essais Année 1952								
24 Janvier				635	635			
24 Janvier — 27 Février	528	320	208	604	604	138		
27 Février — 20 Mars	430	198	232	489	489	13		
20 Mars — 28 Avril	279	146	133	530		69		
28 Avril — 28 Mai	992	216	770	753	753	115		
28 Mai — 25 Juin	882	776	106	635		229	86 %	67 %
	3.111	1.656	3.629	3.629	2.481	564	86 %	67 %

TABLEAU 6

ANNEE 1951			ANNEE 1952		
Dates des irrigations	Doses par irrigation	Nombre de jours entre 2 irrigations	Dates des irrigations	Doses par irrigation en m ³	Nombre de jours entre 2 irrigations
Le 16 Mars	693	19	Le 24 Janvier	635	34
Le 4 Avril	335	17	Le 27 Février	604	22
Le 21 Avril	571	16	Le 20 Mars	489	39
Le 7 Mai	518	28	Le 28 Avril	530	30
Le 7 Juin	576	14	Le 28 Mai	753	28
Le 18 Juin	640	23	Le 25 Juin	635	18
Le 11 Juillet	563	25	Le 13 Juillet	618	28
Le 5 Août	692	22	Le 10 Août	703	30
Le 27 Août	596	23	Le 9 Septembre	589	31
Le 19 Septembre	710	23	Le 10 Octobre	615	17
Le 12 Octobre	541	22	Le 27 Octobre	540	38
Le 3 Novembre	517		Le 4 Décembre	585	
12 irrigations	6.952 m ³ dose moyenne 579 m ³	Moyenne 21 jours	12 irrigations	7.296 m ³ dose moyenne 608 m ³	Moyenne 28,6 jours

CONSOMMATION MENSUELLE D'EAU
POUR LES ORANGERS (en m³ par hectare)



1) Les quantités d'eau données aux orangers durant ces deux années d'essais, (graphique 15) et les doses d'irrigation employées ont été suffisantes pour assurer le développement normal des plantations, car le taux d'humidité du sol a été toujours au-dessus du point de flétrissement et la tranche du sol occupée par les racines a été mouillée sur toute sa profondeur.

2) Dans les conditions locales et pour les périodes considérées, l'eau consommée par les orangers et évaporée de la surface du sol a été égale en 1951 à 97 % d'eau apportée par les irrigations, et à 86 % en 1952. L'eau perdue par percolation fut de 3 % en 1951 et de 14 % en 1952.

3) Dans les conditions locales et pour les périodes considérées, l'eau consommée réellement par les orangers, c'est-à-dire transpirée et retenue pour la formation des tissus, a été en 1951 de 58 % d'eau apportée par les irrigations, et de 67 % en 1952.

4) Les quantités d'eau évaporées de la surface du sol furent égales en 1951 à 39 % d'eau apportée par les irrigations et à 40 % en 1952. Ainsi dans les conditions locales, les pertes d'eau par l'évaporation de la surface du sol sont très importantes. Une couche de paille de 40 à 50 centimètres d'épaisseur supprime pratiquement toute évaporation de la sur-

face du sol dans les conditions locales. L'intérêt de cette constatation est ici évidente pour l'arboriculture, car dans les conditions de l'expérience, cela réduit la consommation d'eau de 7.000 m³ à 4.200 m³ à l'hectare, sans nuire aucunement au développement normal des orangers.

Il appartient au praticien de rechercher un tonnage de paille économique lequel appliqué à la surface du sol des plantations permettrait de réaliser une économie sensible d'eau.

5) L'étude de la consommation d'eau par les orangers irrigués en cuvette et dans les conditions locales durant ces deux dernières années a donné une consommation globale annuelle par hectare de 6.952 m³ en 1951 et de 7.296 m³ en 1952. Ceci donne une moyenne annuelle de 7.124 m³. Cette quantité d'eau a été donnée durant ces deux années en douze irrigations, la dose moyenne d'une irrigation étant ainsi de 594 m³.

6) En moyenne, les irrigations ont lieu tous les 21 jours en 1951 et tous les 28 jours en 1952.

Les dosages de l'humidité du sol avant et après les irrigations ont montré que les irrigations tous les 21 jours par la méthode des cuvettes étaient trop rapprochées et c'est une fréquence d'irrigations se rapprochant de une tous les 30 jours qui semble être suffisante.

7) En 1950-1951, il a été possible de laisser les orangers sans irrigation durant les mois de décembre, janvier, février et jusqu'au 16 mars, les précipitations atmosphériques ayant assuré durant cette période les besoins en eau des orangers.

8) En 1952, le manque de pluie a obligé d'irriguer durant tous les mois de l'année.

C. — CONCLUSIONS SUR LES BESOINS EN EAU DES DIVERSES PLANTATIONS

Dans les tableaux qui vont suivre est donné le résumé des résultats obtenus en ce qui concerne la consommation d'eau par les diverses plantations et cultures.

Le tableau 4 donne les quantités mensuelles d'eau employées par culture et par hectare, dans les conditions locales, le nombre mensuel des irrigations, les hydromodules mensuels et les quantités d'eau totales annuelles par culture.

Sur le tableau 5 sont indiqués les quantités annuelles d'eau dépensées par culture et par hec-

ture, les périodes d'irrigation et les hydromodules par saison d'irrigation et par hectare.

Les tableaux 4 et 5 montrent que ce sont la luzerne, le bersim et les cultures vivrières qui ont les besoins en eau les plus élevés : entre 13 et 16.000 m³ par an et par hectare. Les besoins des autres cultures varient entre 2.500 et 7.000 m³ par an et par hectare. Les mois de pointes pour la luzerne sont les mois de juillet, août et septembre. Pour le bersim et les céréales, ce sont les mois d'automne et du printemps ; les mois de décembre et de janvier sont les mois où l'on irrigue le moins. On remarquera que les doses des irrigations varient entre 350 m³ par hectare, la dose la plus faible enregistrée, et 780 m³ la dose la plus forte.

La dose moyenne employée s'établit entre 450 et 600 m³ par hectare. L'expérience des irrigations des orangers, de la luzerne et des céréales, et la profondeur d'enracinement des cultures pratiquées ici, montrent que ces doses dans les conditions locales, sont largement suffisantes. L'utilisation des doses plus fortes augmente les pertes par percolation, sans aucun profit pour les cultures. Ainsi, les résultats obtenus par ces études, peuvent servir de base certaine, soit à l'exploitation du barrage existant, car ces chiffres permettent d'établir un programme maxi-

mun des cultures pour chaque année, soit à l'établissement d'un projet rationnel d'irrigation de la région.

Saisons des irrigations et hydromodules par saison et par culture

Nature de la culture	Période des irrigations	total annuel	hydro-modules par saison des irrigations en l/s
Olivier	février-novembre	5.050 m ³	01,19
Abricotier	février-octobre	4.800 —	01,20
Orange 1951	mars-novembre	6.965 —	01,27
Orange 1952	janvier-décembre	7.290 —	01,23
Luzerne	février-novembre	15.810 —	01,53
Bersim	septembre-avril	12.820 —	01,61
Céréales	octobre-mars	2.320 —	01,14
Mais	mai-août	2.870 —	01,27
Tabac	février-septembre	5.370 —	01,23
Tomates et cultures	février-décembre	13.500 —	01,47
Fèves	septembre-mars	7.800 —	01,42

V. — LES METHODES D'IRRIGATION DANS LA REGION DE MARRAKECH

Une bonne irrigation doit mouiller le sol sur une profondeur ne dépassant pas la tranche du sol occupée par les racines de la plante. La nature du sol, ses propriétés hydriques et la méthode d'utilisation d'eau conditionnent dans une large mesure l'importance des irrigations.

L'IRRIGATION DES VERGERS

Dans la région de Marrakech l'irrigation des arbres fruitiers et des oliviers se pratique de deux façons :

- 1) par submersion totale,
- 2) par irrigation en cuvettes.

La technique de l'irrigation par submersion dans les conditions locales est la suivante :

Pour commencer, les arbres sont butés au pied afin d'éviter le contact direct entre l'eau et le tronc de l'arbre, ou dans le même but, la base du tronc est dégagée et se trouve entourée par un ados circulaire, établi à 30-40 cm de distance du tronc d'arbre.

Ensuite, après le passage du cover-crop, une ou deux rigoles d'arrosage sont établies entre les deux rangées d'arbres. L'eau est amenée à l'aide de ces

deux rigoles au point le plus bas de la parcelle, un barrage est établi sur la rigole et l'eau est dirigée à gauche et à droite de la rigole, afin d'inonder l'espace entre les deux rangées d'arbres. Ces petits barrages sont répétés sur la rigole tous les 5-7 mètres et en remontant du bas vers le haut. Cette opération est répétée jusqu'à l'inondation de toute la parcelle. Cette méthode est très répandue, mais assez souvent, au lieu d'établir une rigole et d'irriguer en partant du bas vers le haut, l'eau est simplement déversée en haut de la parcelle, s'écoule suivant la plus grande pente et ainsi jusqu'à l'inondation totale de la parcelle.

L'irrigation des arbres fruitiers en cuvettes est pratiquée dans la région de deux façons :

- 1) les cuvettes de plus ou moins grandes dimensions sont établies autour de chaque arbre et seules les cuvettes reçoivent de l'eau ;

Le reste de la superficie du verger n'est pas inondé.

- 2) les ados partagent toute la superficie du verger en cuvettes ayant l'arbre à leur milieu ; de cette façon, toute la superficie du verger est irriguée, mais chaque arbre a son bassin particulier.

Le remplissage des cuvettes se fait comme règle générale, dans les deux cas, par des rigoles d'arro-

sage. La disposition de ces rigoles est variable, et dans certains cas, une rigole sert au remplissage de deux rangées de cuvettes situées à gauche et à droite de la rigole et dans d'autres cas, chaque rangée des cuvettes est desservie par une seule rigole. Il arrive qu'une fois toute la superficie de la plantation partagée en cuvettes, l'irrigation se fait en laissant passer l'eau d'une cuvette à l'autre, suivant la plus grande pente.

Les observations effectuées durant ces essais, ont montré que la pratique d'irrigation par la submersion totale doit être condamnée, et que c'est l'irrigation en cuvettes qui est la mieux adaptée aux conditions locales.

En effet, les sols ici, en raison surtout du manque de matières organiques, ne possèdent pas une bonne structure ; l'irrigation par la submersion, se caractérise par le fait qu'il est impossible d'éviter par cette méthode le ruissellement. Un lessivage intense du sol qui en résulte, finit par la dégradation progressive et sûre du sol avec toutes ses conséquences. Après quelques années d'irrigation par submersion, le sol devient battant, difficile à travailler et peu perméable. Afin d'assurer les besoins des plantations en eau, il devient nécessaire de passer le cover-crop, presque après chaque irrigation, car sans ce labour, l'eau ruisselle sur la surface du sol sans pénétrer en profondeur et les plantations d'arbres périssent par manque d'eau. Par contre, dans l'irrigation par la méthode des cuvettes individuelles, il est facile de régler la dose d'eau utilisée, le ruissellement est supprimé et la pénétration d'eau en profondeur est assurée.

Des essais ont été effectués afin de comparer l'efficacité des deux méthodes d'irrigation dans les conditions locales et de déterminer la profondeur de pénétration d'eau suivant la méthode adoptée. Ces essais ont eu lieu dans les lotissements de Targa et de Saada.



L'irrigation des orangers en cuvettes. Une rigole établie entre deux rangées d'orangers sert au remplissage des cuvettes

Le tableau ci-dessous donne la dose d'eau, la profondeur de pénétration et l'humidité du sol à différents niveaux, pour chaque méthode d'irrigation.

L'humidité du sol avant et 24 heures après les irrigations en cuvettes et par inondation totale

dose des irrigations	Profondeur du prélèvement en mètres	humidité du sol avant l'irrigation en cuvettes	humidité du sol après l'irrigation en cuvettes	humidité du sol avant l'irrigation par submersion totale	humidité du sol après l'irrigation par submersion totale	Observations
335 m ³	0,10	13,9	25,2	10,0	26,7	l'humidité du sol est donnée en % de la terre séchée à 105° durant 48 heures
	0,30	17,1	19,9	11,6	22,3	
	0,50	16,0	20,9	13,4	22,1	
	0,80	15,9	17,2	9,2	10,0	
	1,00	14,1	16	7	7,2	
693 m ³	0,10	15,8	26,3	9,8	26,4	
	0,50	18,9	20,0	12,3	23,2	
	0,50	17,6	18,9	14,6	22,9	
	0,80	13,4	18,1	10,1	11,3	
	1,00	13,1	15,0	9,2	9,2	

Les chiffres du tableau montrent que la même dose d'irrigation pénètre 24 heures après, à une profondeur de 1 m et plus, dans les plantations irriguées en cuvettes, et pratiquement à peine à 60 cm dans les plantations irriguées par la submersion totale. De plus, 24 heures après l'irrigation, toute l'eau est concentrée dans les premiers 50 cm dans le cas des parcelles irriguées par submersion, ce qui maintient le sol dans l'état voisin de l'asphyxie et favorise une forte évaporation. Par contre, la répartition d'eau dans le sol est beaucoup plus uniforme dans les parcelles irriguées en cuvettes.

Comme il a été dit plus haut, l'emploi de la méthode d'irrigation par submersion totale nécessite pour assurer les besoins des plantations en eau, un travail de sol par un cover-crop. Dans certaines plantations, ce passage de cover-crop est effectué après chaque irrigation ; dans d'autres, toutes les 2 ou 3 irrigations. Ceci représente dans les conditions locales de 5 à 14 passages de cover-crop par an et la suppression de ce travail supplémentaire du sol, économiserait de 50.000 à 100.000 francs par hectare et par an aux plantations des arbres fruitiers de la région.

Etant donnée l'importance de cette question, un essai d'irrigation en cuvettes, suivi, durant ces deux dernières années, a été entrepris dans une plantation de Saada. Deux passages seulement de

cover-crop ont été effectués chaque année dans ces plantations : un passage au mois d'octobre et un passage au printemps au mois de mai. Les cuvettes ont été démolies par le passage du cover-crop et refaites aussitôt après.

Les irrigations ont été effectuées aux doses habituelles, mais elles étaient plus espacées que dans les plantations où l'irrigation se faisait par la submersion. Avant et après chaque irrigation, des échantillons du sol ont été prélevés à différentes profondeurs et les dosages de l'humidité du sol furent effectués (1). L'humidité du sol s'est maintenue toujours au-dessus du point de flétrissement et ainsi à aucun moment, les orangers n'ont souffert du manque d'eau. Aussi, dans les conditions locales, l'irrigation en cuvettes est-elle la plus économique, car elle permet : la suppression de 5 à 12 passages de cover-crop, permet le contrôle facile des doses d'irrigation, évite le ruissellement et freine ainsi la dégradation du sol.

La suppression du travail fréquent du sol est à conseiller aussi pour d'autres raisons. En effet, les labours stimulent l'activité microbienne et en particulier la nitrification, en créant dans le sol, les conditions aérobies. Mais dans les conditions locales, quand l'alimentation du sol en eau est assurée uniquement par les irrigations, l'azote nitrique formé, est aussitôt lessivé par les irrigations successives. De plus, le lessivage des sels de chaux de la matière humique et la mise en suspension du colloïde argileux, rendue plus facile dans un sol labouré, et comme suite la destruction de la structure du sol n'est que plus rapide.

Ainsi, le travail fréquent du sol, dans les vergers, dans les conditions locales, où n'existent que les cultures irriguées, est non la source d'enrichissement, mais d'appauvrissement progressif et sûr des sols.

Dans plusieurs plantations où l'irrigation se faisait par submersion et où le sol a été labouré après chaque irrigation, des échantillons des eaux d'irrigation ont été prélevés à l'entrée de la plantation et à 50, 100 et 150 m à l'intérieur.

Ces prélèvements ont été effectués à plusieurs reprises et les sédiments contenus dans ces eaux ont été déterminés et ramenés en poids pour une irrigation de 500 m³ à l'hectare. Le tableau 1 donne les moyennes de ces déterminations.

Tableau 1

Sédiment dans les eaux d'irrigation :

- à l'entrée de la plantation : 20 kg pour une irrigation de 500 m³ à l'hectare ;
- à 50 m à l'intérieur : 1.717 kg pour une irrigation de 500 m³ à l'hectare ;
- à 100 m à l'intérieur : 2.891 kg pour une irrigation de 500 m³ à l'hectare ;
- à 150 m à l'intérieur : 5.510 kg pour une irrigation de 500 m³ à l'hectare.

(1) Se reporter aux graphiques contenus dans le chapitre IV (B : Consommation d'eau par les orangers).

On remarquera qu'à l'entrée de la plantation, l'eau a été presque limpide (20 kg de sédiment pour 500 m³ d'eau) mais ayant parcouru seulement 150 m dans la terre labourée, elle se charge de 5.510 kg de sédiments. De cette mise en suspension des particules terreuses, résulte un triage de ces particules dont les plus fines finissent par colmater le sol.

CONCLUSION

L'exposé des pages précédentes montre que la méthode d'irrigation employée a une influence considérable sur la quantité d'eau absorbée par l'irrigation elle-même.

Ainsi, avant de choisir une méthode d'irrigation pour une culture, toutes les données du problème doivent être soigneusement étudiées, et la décision définitive sur la méthode à employer ne doit être prise qu'après cet examen.

Les observations effectuées ont permis de constater l'utilisation dans la région de Marrakech, des méthodes suivantes d'irrigation :

L'arboriculture :

- a) irrigation par submersion totale,
- b) irrigation en cuvettes de plus ou moins grandes dimensions, faites autour de l'arbre sans submersion de la superficie totale du verger ;
- c) irrigation en cuvettes avec submersion de toute la superficie du verger.

Les céréales et les cultures fourragères :

- a) irrigation en planches de plus ou moins grandes dimensions pour les terres à pente faible ;
- b) irrigation en terrasses et petites planches pour les terres à pente forte.

Les cultures maraîchères :

- a) irrigation par billons ;
- b) irrigation en cuvettes de plus ou moins grandes dimensions.

Les cultures industrielles :

- a) irrigation surtout en billons.

Les avantages et les inconvénients de certaines méthodes ont été suffisamment développés et précisés ci-dessus.

En définitive, pour l'arboriculture fruitière, c'est l'irrigation en cuvettes qui est la mieux indiquée dans les conditions locales, tandis que pour la culture industrielle, c'est l'irrigation en billons qui doit être préférée.

Le recensement des richesses en eau du Haouz ainsi que la reconnaissance de ses sols, ont été effectués et il apparaît de ces travaux, que le Haouz

possède beaucoup plus de terres disponibles que d'eau. Les observations et les études qui ont été effectuées ces deux dernières années montrent que l'extension de la superficie cultivée et plantée en arbres doit être recherchée dans l'état actuel des aména-

gements hydrauliques, surtout dans l'amélioration des méthodes d'irrigation et de la technique culturale : ceci permettrait la réduction des hydromodules et une économie sensible d'eau, laquelle pourra être utilisée pour de nouvelles cultures.

VI. — LES PERTES D'EAU DANS LES SEGUIAS EN TERRE DU PERIMETRE IRRIGUE PAR LE BARRAGE DU N'FIS

Une série de mesures de pertes d'eau dans les séguías en terre, ont été effectuées à partir de l'été 1951. Les essais ont eu lieu sur les séguías qui sont en eau, soit en permanence, soit un jour sur deux, ou périodiquement au moment de lâchers d'eau du barrage du N'Fis. Il est certain que la nature du sol a une influence décisive sur les pertes en eau de séguías. Les analyses physiques des sols de la région, qui ont été effectuées et qui sont données au début de cette étude, montrent que la teneur en argile et limon des sols de la région, est élevée, ce qui est plutôt rassurant. Mais la présence fréquente à une certaine profondeur, d'un horizon contenant de nombreux galets roulés ou des lentilles de sable de rivière et des galets, ne peut que favoriser les infiltrations et les pertes d'eau dans les séguías. Ci-dessous, on trouvera les résultats de quelques observations effectuées.

1) Lieu de mesure : lotissement de Targa.

Date : 11 août 1951.

Nature du sol : sol gris ; les premiers 50 à 60 cm sont argileux, ensuite un horizon argileux avec de nombreux galets roulés.

Longueur de canal en terre entre deux déversoirs : 2.094 m.

Début d'essai : 6 heures.

Cette séguía est en eau un jour sur deux et le débit qui y passe varie entre 26 et 36 litres-seconde.

L'eau a mis 2 heures 5 pour parcourir la distance de 2.094 mètres. A partir de 8 h. 15, le niveau d'eau dans les deux déversoirs ne variait plus et les lectures de débits furent enregistrées.

Le tableau ci-dessous donne les heures de lecture de l'échelle et les débits enregistrés sur les deux déversoirs :

heure	débits en litre seconde	
	déversoir amont	déversoir aval
8 h 15	26,91	22,02
8 h 30	26,91	22,02
8 h 45	26,91	22,02
9 h 05	26,91	22,02
9 h 30	26,91	22,02
10 h 05	26,91	22,02
11 h 20	26,91	22,02
11 h 35	26,91	22,02

Les chiffres du tableau montrent que les pertes s'élevaient à 4 l 89 à la seconde sur un parcours de 2.094 m, soit à 18 % 1 de débit au départ et pour la distance considérée.

2) Lieu de mesure : lotissement des M'Rabtines.
Date : 17 août 1951.

Nature du sol : sol gris, les premiers 40 à 50 cm sont argileux mais ensuite on rencontre, par taches, des lentilles de sable de rivière.

Longueur du canal de terre entre deux déversoirs : 1.156 mètres.

Début d'essais : 6 h. 10.

Cette séguía est en eau tous les jours et l'eau a mis 1 h 55 pour parcourir la distance de 1.156 mètres ; à 8 h. 30 le niveau constant s'est établi aux deux déversoirs, et la lecture des échelles a été commencée. Le tableau ci-dessous donne les résultats de ces mesures.

heure	débits en litre seconde	
	déversoir amont	déversoir aval
8 h 30	14,60	10,83
8 h 45	14,60	10,83
9 h 05	14,60	10,83
9 h 30	14,60	10,83
10 h 00	14,60	10,83
10 h 20	14,60	10,83
10 h 50	14,60	10,83
11 h 15	14,60	10,83

Les pertes s'élevaient donc à 3 l 77 à la seconde, soit 25 % 7 du débit au départ, et pour la distance considérée.

3) Lieu de mesure : lotissement de Saada au km 12 de la route de Mogador, à gauche de la route et à l'Ouest de la propriété Surleau.

Date : le 21 octobre 1952.

Nature du sol : sol très argileux, profond, de type intermédiaire, entre le sol brun et le sol gris.

Longueur de canal entre deux déversoirs : 2.200 m.

Début d'essai : 7 h. 30.

Durée des essais : 5 heures.

Débit durant quatre heures au déversoir amont : 44 ls 84. Débit durant quatre heures au déversoir aval : 39 ls 67. Pertes d'eau sur une distance de 2.200 m : 5 ls 16, soit 11 % 5 du débit de départ, et pour la distance considérée.

Il faut ajouter que l'eau dans cette séguia passe périodiquement, au moment de lachers d'eau au barrage du N'Fis.

LES PERTES D'EAU SUR LA SEGUIA TARGA

La séguia Targa est une séguia importante de la région où l'eau circule toute l'année. Le débit de cette séguia est de 750 l/s environ au départ et ce débit a en général des variations très faibles.

Deux échelles permettent de contrôler l'eau qui passe dans la séguia Targa : une échelle au départ non loin d'Agadir-Tacheraft, et une deuxième sur la route de Mogador.

Entre ces deux échelles, les ayants-droit prélèvent 247 l/s presque en permanence. Aussi, au niveau de l'échelle de la route de Mogador, il doit arriver 47 l/s. Or, en hiver, il arrive en moyenne 430 à 450 l/s et en été entre 370 et 390 l/s.

Ainsi on peut considérer la différence entre 4 l/s et les débits constatés à l'échelle de la route de Mogador, comme des pertes d'eau, lesquelles proviennent soit des infiltrations, soit de l'évaporation de la surface des eaux.

Les pertes s'élèvent en hiver à 46 l/s environ et en été varient entre 80 et 100 l/s, ce qui représente en hiver 6 % et en été 12 et 14 % du débit de la séguia au départ, et pour le parcours total.

Un phénomène curieux a été observé en août et septembre 1950, sur la séguia Targa. Au début d'août l'arrivée des eaux boueuses a été constatée dans la séguia, et les 17, 25 et 27 août, des échantillons d'eau ont été prélevés afin de déterminer l'importance des sédiments transportés par ces eaux.

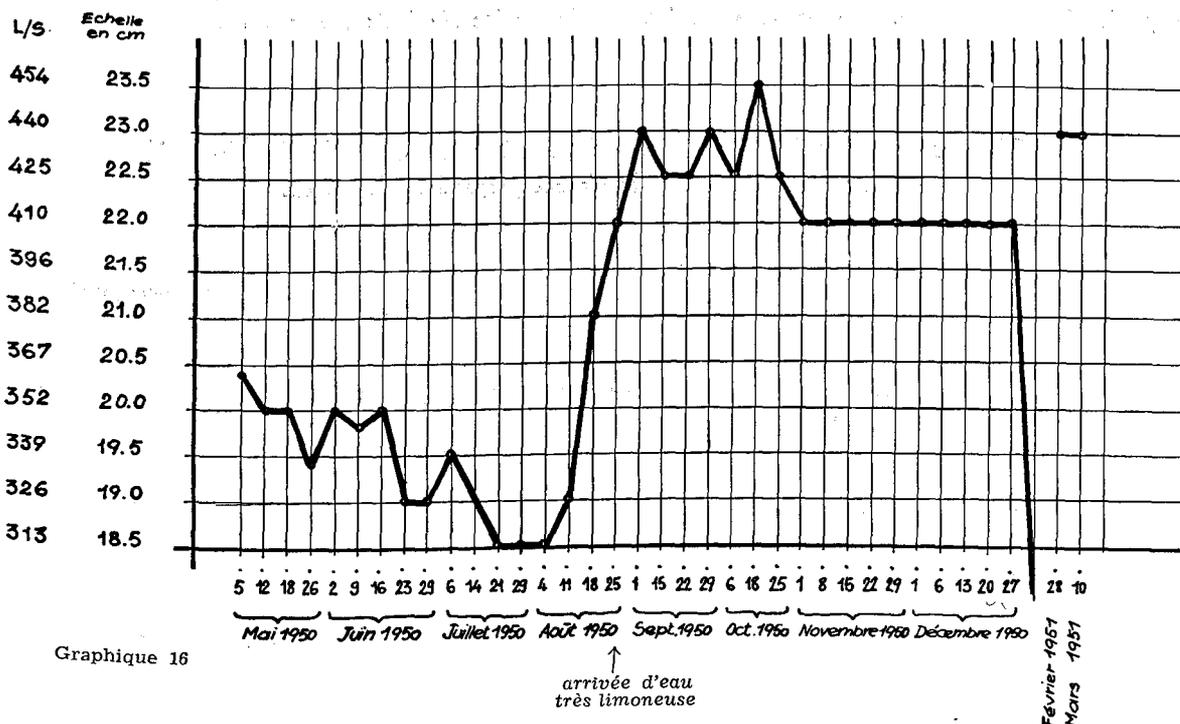
Ces prélèvements ont été effectués au milieu de la séguia, à mi-profondeur et à 500 m en amont de l'échelle de la route de Mogador. Ensuite ces échantillons ont été filtrés sur des filtres tarés et les sédiments séchés à 105° à l'étuve durant 48 heures et pesés.

Le tableau ci-dessous donne les résultats de ces déterminations.

dates des prélèvements	poids des sédiments par litre d'eau	poids moyen des sédiments transportés par séguia durant 24 heures
le 17 août ..	2 gr, 107	
le 25 août ..	1 gr, 359	
le 27 août ..	1 gr, 100	
moyenne	1 gr, 522	92.040 kg

Ainsi à la hauteur de la route de Mogador, les eaux de la séguia Targa transportaient durant cette période 1 gr 522 milligrammes de sédiment à la

LES PERTES D'EAU DANS LA SEGUIA « TARGA »



Graphique 16

seconde, soit 3.835 kg à l'heure et 92 tonnes 40 kg par 24 heures. Avant ce point, les eaux ont parcouru déjà plus de 30 km et ont dû abandonner assurément des quantités considérables de sédiments. Ainsi, ces observations montrent : la nécessité d'effectuer périodiquement des curages des séguias de la région, l'influence que ces travaux peuvent avoir sur les débits des canaux et les frais élevés que cet entretien doit entraîner.

L'arrivée des eaux boueuses coïncidait avec l'augmentation du débit de la séguia Targa au niveau de la route de Mogador. Toutes autres conditions existantes sur la séguia étant restées égales, l'augmentation du débit de la séguia peut être attribuée au colmatage des fissures existantes dans la roche calcaire qui forme le lit de la séguia, sur une bonne partie du parcours. L'effet de colmatage s'est maintenu durant environ deux mois, quand les eaux plus claires ont dû laver les fissures.

Ci-avant le graphique 16 montrant le débit de la séguia durant cette période.

CONCLUSION

Les pertes enregistrées dans les séguias maintenues en eau en permanence, ou durant des périodes rapprochées ont varié entre 11 et 25 % pour des distances indiquées plus haut.

Toutes autres conditions étant égales, il semble que les pertes sont plus élevées pour des débits faibles. Une bonne partie du réseau d'irrigation, alimentée par les eaux du barrage du N'Fis, est constituée par des séguias en terre.

Les résultats des observations semblent indiquer qu'il serait raisonnable de compter sur des pertes variant de 18 à 25 % dans les séguias maintenues en eau à des intervalles rapprochés, et pour des distances ne dépassant pas 1 à 3 km.

VII. — ENGRAIS ET FAÇONS CULTURALES DANS LA REGION DE MARRAKECH

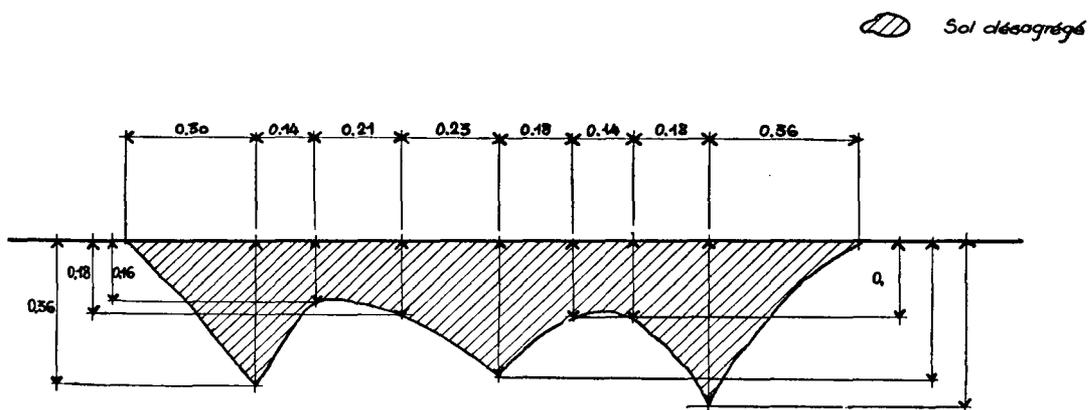
A. — LE SOUS-SOLAGE

Le mode d'exploitation des sols et les irrigations ont modifié ici la structure des sols, et le problème de faire pénétrer l'eau à la profondeur nécessaire pour assurer les besoins des cultures en eau est devenu un des soucis constants des exploitants agricoles.

Certains d'entre eux ont décidé de recourir au sous-solage et ont pensé qu'en réglant le sous-soleur à une profondeur de 80 centimètres et en faisant

passer l'appareil tous les 50 centimètres, il serait possible après ce travail de mouiller le sol facilement à cette profondeur. On supposait en effet que les 50 centimètres de sol laissés entre deux sillons de sous-soleur seraient suffisamment ébranlés pour permettre à l'eau de pénétrer par les fissures produites. Aussitôt après le passage de l'appareil, les observations et les mesures ont été effectuées afin d'avoir un tableau exact du travail du sous-soleur dans les conditions locales. Le graphique 17 donne les résultats des mesures effectuées.

EFFET DE SOUSOLAGE TOUS LES 50 cm A « TARGA » (sol gris)
Appareil réglé en vue d'obtenir une profondeur de 80 cm



Graphique 17

On remarquera que la dent réglée pour sous-soler à une profondeur de 80 centimètres n'a pénétré qu'à une profondeur variant de 34 à 40 centimètres.

De plus, les 50 centimètres de sol laissés entre deux passages de sous-soleur ont été désagrégés seulement à une profondeur de 16 à 18 centimètres. Le reste du terrain est resté ferme.

Une deuxième série d'observations a été effectuée après un sous-solage à 40 centimètres avec un passage de l'appareil tous les deux mètres.

On supposait que ce travail permettrait de mouiller le sol à une profondeur de 40 centimètres. Le gra-

une profondeur de 80 centimètres, doit-il être fait ici en deux temps, c'est-à-dire un premier labour à 30 centimètres, suivi d'une irrigation et ensuite un défoncement à 80 centimètres.

B. — L'ENGRAIS VERT

Les analyses des sols de la région, ont montré que ces sols manquaient de la matière organique. De plus, les méthodes de culture employées dans les plantations des agrumes et des arbres fruitiers, ont grandement contribué à l'épuisement de ces faibles ressources en matières humiques et ont modifié pro-

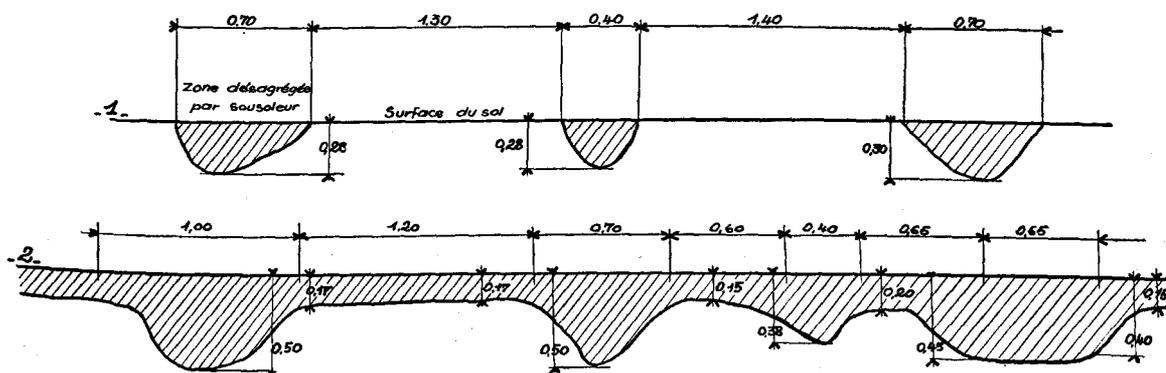
SOLS GRIS A « TARGA »

Effet du sous-solage tous les deux mètres, l'appareil étant réglé pour une profondeur de 40cm.

1) L'Etat du sol après le passage du sous-soleur, la profondeur réelle obtenue avant l'irrigation.

2) L'Etat de la parcelle sous-solée après une irrigation.

 Zone mouillée après l'irrigation.



Graphique 18

phique 18 donne les résultats des mesures effectuées aussitôt après le passage du sous-soleur et avant l'irrigation, et ensuite les résultats des nouvelles mesures après l'irrigation.

On remarquera que l'appareil réglé à 40 centimètres n'a pénétré qu'à 28-30 centimètres et que dans le sillon de la dent du sous-soleur, le sol a été mouillé à une profondeur variant entre 38 et 50 centimètres. Mais le terrain entre les emplacements des sillons n'a été mouillé qu'à une profondeur de 15 à 17 centimètres.

Ainsi, il semble que dans les sols de la région et en faisant travailler le sous-soleur dans un terrain normalement sec, on obtient des résultats disproportionnés avec l'effort et les dépenses engagées.

Une charrue, genre charrue balance, employée pour les travaux de défoncement, donnera semble-t-il de meilleurs résultats.

De plus, peut-être, ce travail si l'on veut aller à

gressivement la structure du sol. La nécessité de recréer le sol et de lui rendre une bonne structure se faisait donc sentir et pour se faire, l'agriculture locale utilise de plus en plus l'engrais vert.

Deux plantes sont utilisées surtout dans ce but :

la moutarde

la fèverole.

Moutarde. — La moutarde est semée ici en général au mois d'octobre, et l'enfouissement a lieu de janvier à mars. Ci-dessous, on trouvera les résultats d'un essai dans une propriété du lotissement de Targa.

Dans une parcelle de 5 hectares, la moutarde a été semée le 5 octobre 1950, à raison de 30 kg de graines par hectare. Les prélèvements et les observations ont été effectués le 21 décembre, soit 75 jours après les semis, quand la moutarde était au début de la floraison.

Dans différents endroits du champ, cinq parcelles de 1 m² ont été choisies et dans chaque parcelle les pieds de moutarde ont été comptés, ensuite arrachés et pesés sur place. Les plantes ont été transportées aussitôt au laboratoire et séchées dans une étuve à 105° pour avoir la matière sèche. Le tableau ci-dessous donne les résultats des observations :

date des semis et des semences à l'ha	date des observations	nombre de pieds au m ²	poils des tiges au m ²	poils des tiges à l'hectare	matière sèche 48 hectares à 105°	eau
			kg	tonnes		
5 octobre 30 kg	21 déc.	86	3,100	31		
		98	4,200	42		
		87	3,100	31		
		197	4,300	43		
		207	4,300	43		
moyenne	135 p	3,800	38 T.	19%,2	80%,8

On remarquera qu'un semis d'octobre à raison de 30 kg de graines à l'hectare, donne un bon rendement en matière verte, tendre et facile à incorporer au sol. Ainsi, en enfouissant la moutarde 75 jours après le semis, on apporte au sol 38 tonnes d'engrais vert ou 7.296 kg de matière sèche.

Fèverole. — Dans une propriété du lotissement de Saada la fèverole a été ensemencée le 3 octobre, pour être enfouie, comme engrais vert dans une plantation d'orangers. Les mêmes observations que sur la moutarde ont été effectuées et sur trois parcelles de 1 m² de superficie, les pieds de fèveroles ont été comptés, arrachés et pesés le 22 janvier, c'est-à-dire 108 jours après le semis.

date des semis	date des observations	poils des tiges au m ²	poils des tiges à l'hectare	matière sèche 48 hectares à l'étuve 105°	eau
3 octobre	22 janvier	2,075	20		
		4,150	41		
		8,500	85		
moyenne	4,908	49	23 M, 2	76 % 8

Comme le montrent les chiffres du tableau, la tenue des semis a été assez irrégulière, le nombre de pieds au mètre carré étant différent, suivant le point de prélèvement, mais dans l'ensemble, les rendements sont bons et on ne saurait trop insister sur l'intérêt que la généralisation d'emploi d'engrais vert peut présenter dans les conditions locales. Enfouis 108 jours après les semis, la fèverole a donné 49 tonnes d'engrais vert, ce qui représente 11.368 kg de matière sèche. Ainsi, la fèverole semble être une plante intéressante, en tant que rendement à l'hec-

tare. Mais elle est intéressante aussi d'un autre point de vue. En effet, la fèverole est une plante qui aime la chaux et dont les racines descendent assez profondément dans le sol et y mobilisent les réserves de chaux du sous-sol.

Enfouis dans le sol, les plants de fèverole non seulement apportent au sol la matière organique, mais aussi la chaux immédiatement disponible et laquelle aidera à l'amélioration de la structure du sol, la teneur en chaux des plants de fèverole étant élevée. Ainsi, la fèverole amène la chaux des couches profondes du sol, qui en contient encore suffisamment, dans les couches superficielles où la chaux a été délavée par les irrigations.

C. — LES ORANGERS ET L'ENGRAIS MINERAL

Durant les années de guerre, quelques jeunes plantations d'orangers ont souffert au Maroc, du manque d'eau, en raison de la pénurie d'essence pour les pompes.

Ce manque d'eau a empêché les arbres de se développer normalement et les récoltes de ces plantations subissent encore l'influence de ces mauvaises années.

Il était intéressant d'étudier si l'application des fortes doses d'engrais pouvait redonner rapidement aux orangers ayant souffert, une nouvelle vigueur, ce qui aurait permis aux arbres de développer leur charpente et d'améliorer leurs récoltes.

Un essai a été entrepris dans ce but, et le 19 octobre 1951, six rangées de 15 orangers chacune, soit 90 arbres de la variété Washington-Navel, ont été choisies, dans une plantation de la région de Marrakech. La plantation était âgée de 12 ans, les arbres étaient peu touffus et la couleur des feuilles des orangers était d'un vert clair jaunâtre. L'absence presque totale de nouvelles pousses confirmait le manque de vigueur des arbres.

Le 19 octobre, une première application d'engrais fut effectuée de la façon suivante :

1 rangée de 15 arbres : 14 kg d'engrais 12-10-15 par arbre en une seule application.

1 rangée de 16 arbres : témoin sans engrais.

1 rangée de 15 arbres : 7 kg d'engrais 12-10-15 par arbre en une seule application.

1 rangée de 16 arbres : témoin sans engrais.

1 rangée de 15 arbres : 7 kg de sulfate d'ammoniacal par arbre en une seule application.

1 rangée de 16 arbres : témoin sans engrais.

Il faut ajouter que l'azote qui entrainait dans la composition d'engrais complet était à moitié sous forme d'azote ammoniacal et à moitié sous forme d'azote nitrique.

Dans cette plantation, l'irrigation était faite par la méthode des cuvettes individuelles de 4 m X

5 m autour de l'arbre. L'engrais a été répandu à la main dans les cuvettes des arbres, et enfoui par un léger binage.

Une irrigation a suivi aussitôt l'enfouissement de l'engrais. La deuxième irrigation, après l'application d'engrais, a eu lieu le 28 octobre, soit 9 jours après, et la troisième irrigation a eu lieu le 8 novembre 1951.

A ce moment, en raison des pluies qui sont tombées entre temps, les irrigations ont été arrêtées.

Trois semaines après l'application, l'effet de l'engrais sur les orangers a commencé à se manifester par le changement de la couleur des feuilles, lesquelles sont devenues plus vertes. En même temps, de nombreuses jeunes pousses sont apparues, malgré l'abaissement de la température. Deux mois après l'application, les orangers ayant reçu l'engrais se distinguaient nettement des autres arbres non traités, tant par la couleur vert foncé des feuilles, que par la vigueur et le nombre de jeunes pousses.

Le 6 décembre 1951, soit 47 jours après l'application d'engrais, la première récolte d'oranges eut lieu.

Le 12 janvier 1952, a eu lieu la deuxième et la dernière récolte.

A chaque récolte, 300 oranges ont été prélevées au hasard dans chaque type d'essais. Ces oranges ont été pesées et on trouvera ci-dessous les poids observés :

	poids moyen d'une orange	
	1° récolte	2° récolte
Témoin sans engrais	143 g.	143 g.
14 kg. d'engrais 12-10-15 par arbre	193 g.	170 g.
Témoin sans engrais	146 g.	136 g.
7 kg. d'engrais 12-10-15 par arbre	187 g.	170 g.
Témoin sans engrais	140 g.	138 g.
7 kg. de sulfate d'ammoniaque	162 g.	170 g.

Les chiffres du tableau montrent l'effet très net d'engrais sur le poids des fruits, 47 jours après son application.

En effet, les poids des oranges des arbres traités sont de 193, 187 et 162 grammes, contre 140, 145 et 143 grammes des témoins non traités.

Il faut ajouter que le poids des fruits a augmenté sans augmentation de calibre, ce qui est important.

De plus, on constate que c'est l'application d'un engrais complet (N, P² O⁵ K O) qui donne les fruits les plus lourds. En effet, l'apport d'une forte dose de sulfate d'ammoniaque seule, donne des oranges d'un poids de 162 grammes contre les poids de 193 grammes et 187 grammes obtenus par l'application d'un engrais complet.

A la deuxième et dernière récolte qui a eu lieu 36 jours après la première, le poids des oranges des arbres traités s'égalise en diminuant légèrement mais restant toujours nettement supérieur au poids des oranges des arbres témoins non traités.

Il semble donc qu'une récolte précoce est plus avantageuse.

En prenant pour 100 le poids d'une orange de rangée témoin (arbre non traité) on a le tableau suivant :

	Poids moyen d'une orange	
	1° récolte	2° récolte
Témoin sans engrais	100	100
14 kg. d'engrais 12-10-15 par arbre	135	119
Témoin sans engrais	100	100
7 kg. d'engrais 12-10-15 par arbre	130	125
Témoin sans engrais	100	100
7 kg. de sulfate d'ammoniaque par arbre	115	123

Les chiffres du tableau montrent que c'est l'engrais complet qui donne les meilleurs résultats. Les observations sur la vigueur de développement des arbres corroborent les résultats obtenus. Au mois de janvier, ces arbres ont reçu 2 kg d'engrais en deuxième application. En même temps une nouvelle rangée d'arbres ayant reçu 2 kg d'engrais le 25 janvier a été introduite dans l'essai.

Aux mois de mars et avril 1952, au moment de la pleine floraison, un vent violent a soufflé et a provoqué une coulure très importante dans la plantation, sauf sur les arbres ayant reçu les fortes doses d'engrais en une seule application où la coulure a été moins forte. Ces orangers continuent à se distinguer nettement des autres arbres, tant par la couleur de leurs feuilles que par la vigueur de leur végétation.

On peut donc affirmer qu'il est possible de redonner rapidement par des applications de fortes doses d'engrais, une nouvelle vigueur aux arbres ayant souffert durant quelques années, et d'obtenir ainsi de bonnes récoltes.

L'application des fortes doses d'engrais au courant du mois d'octobre donne des résultats immédiats en augmentant le poids de la récolte de 20 à 35 % (voir tableau), ce qui peut payer le prix de l'engrais et laisser même un léger bénéfice, sans compter l'effet certain, comme le montre cet essai, de cet engrais sur la récolte suivante.

Le lecteur sera peut-être surpris par l'utilisation des doses non habituelles d'engrais, mais il faut se rappeler que le but poursuivi fut surtout de développer la charpente de l'arbre ayant souffert, de lui redonner une nouvelle vigueur et d'obtenir ainsi par la suite des récoltes plus importantes.

Ce but, semble-t-il, peut être atteint par cette méthode.

VIII. — PLAN DE PANACHAGE

Les besoins en eau des diverses cultures pratiquées dans la région étant établis et le calendrier agricole connu, il est plus aisé à présent d'étudier un plan qui aurait pu mieux s'adapter aux conditions locales, car le choix d'un plan de panachage pour une région donnée, est dominé par deux facteurs dont un est fixe et l'autre variable. Le facteur fixe, c'est le milieu, c'est-à-dire le climat, la valeur des sols et pour les régions irriguées, ses ressources hydrauliques. Le facteur variable, c'est la conjoncture économique.

Or, la conjoncture économique est un fait essentiellement mobile et si les prévisions pour les cultures permanentes peuvent être envisagées pour une période assez prolongée, il ne va pas de même pour les cultures annuelles.

C'est pourquoi, après la mise en application d'un plan de panachage, il est toujours nécessaire d'avoir en réserve une série de cultures de remplacement dont la technique culturale et les besoins en eau devront être étudiés à l'avance.

La région de Marrakech a assurément une vocation arboricole et il serait raisonnable, étant donné ses faibles ressources en eau, de consacrer 25 % de la superficie aménagée aux cultures permanentes dont 3 % de luzerne.

En ce qui concerne la culture des primeurs, l'examen du climat de la région montre la présence de journées où le thermomètre descend au-dessous de zéro, ce qui interdit dans la région, les grandes primeurs telles que tomates.

La nécessité dans les conditions locales d'irriguer les céréales augmente leur prix de revient. En même temps, pour avoir ici des récoltes raisonnables, il faut apporter dans le sol les engrais et le fumier ; dans ces conditions, il est certain que la culture des céréales est peu rentable dans la région.

Dans la conjoncture économique actuelle, les conditions climatiques de la région semblent indiquer que c'est vers le développement des cultures industrielles, et en premier lieu de coton et de tabac que doit tendre l'effort principal de l'agriculture locale. C'est l'été prolongé et une grande sécheresse atmosphérique qui militent en faveur de la culture du coton ici.

Etant donné la pénurie générale d'eau, il sera

préférable, si cela est possible, de développer dans la région, la culture du coton à court cycle de végétation. Ceci économiserait l'eau et permettrait aux cotons, avec plus de certitude, d'éviter les pluies précoces de l'automne qui peuvent détériorer la fibre.

De plus, la population du Maroc augmente rapidement et il est nécessaire de prévoir la possibilité d'utilisation de la main d'œuvre locale au maximum. Or, les expériences effectuées dans de nombreux pays ont démontré que dans la culture du coton, chaque façon culturale supplémentaire augmente les rendements à l'hectare en fibre, ce qui permet à cette culture d'absorber, tout en la payant, une main d'œuvre plusieurs fois supérieure à celle nécessaire à la culture des céréales. Ainsi, l'introduction de la culture du coton dans la région permettrait, durant presque sept mois, d'absorber et de payer la main d'œuvre importante, et de nourrir ainsi la population excédentaire.

Le tabac cultivé dans la région est très apprécié par la région et l'agriculture locale doit, semble-t-il, profiter de ces bonnes dispositions du marché pour en augmenter la superficie cultivée.

Les besoins en eau du tabac ne sont pas élevés et le rendement dans les conditions locales est très bon. La culture du coton et de tabac ensemble pourront éventuellement constituer les bases de l'assolement pour l'agriculture locale.

La nécessité d'apporter le fumier et la matière organique dans les plantations permanentes, oblige à envisager des cultures fourragères et à maintenir certaines superficies en céréales secondaires. L'étude des hydromodules montre que ce sont la luzerne et le bersim qui sont les plus grands consommateurs d'eau ; aussi faut-il peut-être envisager le remplacement de ces deux cultures par le Soudan-Grass, par exemple, qui est moins exigeant et peut fournir de grandes quantités de matière verte. Comme il a été indiqué plus haut, la région de Marrakech se caractérise par l'abondance de terres aptes aux cultures irriguées et par le manque d'eau pour fertiliser l'ensemble des terres disponibles.

La nécessité de tenir compte non seulement de ces deux derniers facteurs, mais aussi de l'ensemble de la situation locale, permet d'envisager deux assolements, lesquels semblent possibles quand les aménagements hydrauliques prévus pour le Haouz seront achevés.

TABLEAU I

Nature de la culture	Superficie en % de la Superficie totale	Besoins en eau annuels par ha en m ³	Nombre d'irrigations annuelles	Besoins en assolement	BESOINS EN EAU MENSUELS EN ASSOLEMENT											
					Sept.	Octobre	Novemb.	décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Agrumes	7 %	9.000	15	630	42	42	42	42	42	42	42	42	42	84	84	82
Abricotiers	7 %	4.500	9	315	35				35	35	35	35	35	35	35	35
Oliviers	8 %	5.000	10	400	40	40			40	40	40	40	40	40	40	40
Luzerne	3 %	15.600	26	468	54	36	18	18		18	36	54	54	54	54	72
Coton	20 %	8.750	19	1.750	184						209	161	276	276	276	368
Tabac	10 %	5.000	10	500	50					50	50	50	50	50	100	100
Bersim	4 %	12.100	24	404	80	60	60	60	60	60	64	40				
Céréales	15 %	2.300	4	345		86	87		86	86						
Maïs de printemps	14 %	2.800	5	392									78	79	157	78
Fèves	3 %	8.300	16	249	54	45	30	30	30	30	30					
Tomates et légumes	2 %	14.000	28	280	30	30	10	10		10	30	30	30	30	40	30
Total	93 %			5.813	569	339	247	160	293	371	506	452	605	648	786	707
		En litre seconde			0,33	0,13	0,09	0,06	0,10	0,15	0,20	0,17	0,22	0,25	0,29	0,26

TABLEAU 2

Assolement type B

Nature de la culture	Superficie en % de la superficie totale	Besoins en eau annuels par ha en m ³	nombre d'irriga- tions annuelles	Besoins en asso- lement	BESOINS EN EAU MENSUEL EN ASSOLEMENT											
					Sept.	Octobre	Novemb.	décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Agrumes	7 %	9.000	15	630	42	42	42	42	42	42	42	42	42	84	84	84
Abricotiers	7 %	4.500	9	315	35				35	35	35	35	35	35	35	35
Oliviers	8 %	5.000	10	400	40	40			40	40	40	40	40	40	40	40
Luzerne	3 %	15.600	26	468	54	36	18	18		18	36	54	54	54	54	72
Coton	20 %	8.750	19	1.750	184						209	161	276	276	276	368
Tabac	10 %	5.000	10	500	50					50	50	50	50	50	100	100
Bersim	4 %	12.100	24	484	80	60	60	60	60	60	64	40				
Céréales	3 %	2.300	4	69		17	18		17	17						
Maïs de printemps	3 %	2.800	5	84									16	17	34	17
Fèves	3 %	8.300	16	249	54	45	30	30	30	30	30					
Tomates et légumes	2 %	14.000	28	280	30	30	10	10		10	30	30	30	30	40	30
	70 %	Total en m ³			569	270	178	160	224	302	536	422	543	586	663	746
Débits en litres seconde					0,20	0,10	0,06	0,06	0,08	0,11	0,20	0,17	0,20	0,21	0,25	0,27

ASSOLEMENT TYPE A (Intensif)		ASSOLEMENT TYPE B	
Cultures permanentes		Cultures permanentes	
— Agrumes	7 %	— Agrumes	7 %
— Abricotiers	7 %	— Abricotiers	7 %
— Oliviers	8 %	— Oliviers	8 %
— Luzerne	3 %	— Luzerne	3 %
Cultures annuelles		Cultures annuelles	
— Coton	20 %	— Coton	20 %
— Tabac	10 %	— Tabac	10 %
— Bersim	4 %	— Bersim	4 %
— Céréales-orge	15 %	— Céréales	3 %
— Maïs de printemps	14 %	— Maïs de printemps	3 %
— Fèves	3 %	— Fèves	3 %
— Cultures vivrières et tomates de conserve	2 %	— Cultures vivrières et tomates de conserve	2 %

On remarquera que ces deux assolements se distinguent des assolements proposés précédemment par la diminution de la superficie consacrée aux céréales et par l'introduction de cultures telles que coton et tabac.

Les tableaux 1 et 2 donnent, pour les deux types, les besoins annuels en eau des cultures rentrant dans l'assolement, le nombre d'irrigations annuelles, les besoins en eau en assolement des diverses cultures et les hydromodules par hectare en assolement.

Le tableau 3 donne la superficie occupée par les cultures d'une exploitation en pourcentage de sa superficie totale. On remarquera que la superficie cultivée simultanément ne dépasse jamais 79 % dans le type A et 67 % dans le type B, et que les moyennes sont respectivement de 62 et 52 %. Ceci permet une exploitation plus aisée et moins tendue.

T A B L E A U 3

Superficies occupées par les cultures par mois en pourcentage de la superficie totale

	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Moyenne de la superficie occupée
ASSOLEMENT TYPE A Intensif	64	49	49	49	44	59	79	76	71	71	71	71	62 %
ASSOLEMENT TYPE B	64	37	37	37	32	47	67	64	60	60	60	60	52 %

IX. — RESUME ET CONCLUSIONS

La recherche orientée vers l'ensemble des rapports entre le sol et l'eau en présence des cultures permanentes ou annuelles, a montré que dans les conditions topographiques, hydrologiques et pédologiques du Haouz, une fraction seulement des terres disponibles peut être utilisée, en raison des quantités d'eau existantes.

Il en résulte la nécessité d'une définition très étudiée des méthodes d'utilisation des eaux d'irrigation et le choix judicieux des sols à aménager.

Les observations et les mesures que l'auteur a effectuées conduisent aux conclusions principales suivantes, portant sur les différents aspects des aménagements agricoles dans le Haouz.

Sols.

Il sera raisonnable d'envisager la mise en valeur

en premier lieu des meilleurs sols seulement. Les terres à croûtes, encroûtées ou à dalles sur une faible profondeur doivent être exclues.

Les meilleurs sols aptes à recevoir les cultures irriguées se trouvent à l'Ouest de Marrakech. Ce fait a délimité le périmètre que j'ai étudié particulièrement. Les analyses des sols de la région ont montré une teneur satisfaisante en matières fertilisantes, sauf pour l'azote.

La structure des sols du Haouz est peu stable, et ces sols étant destinés à porter des cultures irriguées, il est nécessaire de tenir compte des éléments suivants :

1. — Dans ces sols les conditions anaérobies s'établissent aussitôt après l'irrigation, arrêtant la nitrification et créant les conditions voisines de l'asphyxie ;

2. — Aussitôt après ressuyage, ces sols durcissent et manquent d'eau pour les plantes ;
3. — Dans ces terres, en raison du manque de la matière organique et souvent de chaux dans l'horizon supérieur, les irrigations successives aggravent la situation en entraînant en profondeur les sels de chaux et la matière organique non fixée et non coagulée, ce qui amène la dégradation certaine et continue du sol des parcelles irriguées.

Ainsi c'est vers l'amélioration de la structure de ces sols par apport de la matière organique et par le plâtrage que l'on doit tendre.

Utilisation de l'eau.

En ce qui concerne les méthodes d'utilisation de l'eau ce sont les études des qualités hydriques des sols et de la structure réelle du système racinaire des cultures de la région qui m'ont conduit à réviser les principes sur lesquels sont encore établies les irrigations du Haouz.

L'irrigation en général, et celle des orangers et arbres fruitiers en particulier, doit être fondée essentiellement sur l'état d'humidité de la tranche du sol occupée par les racines. Cette humidité ne doit pas descendre au-dessous du point de flétrissement, ni être supérieure à la capacité de rétention du sol, car l'eau excédentaire serait perdue. Une attention particulière a donc été apportée à la détermination de ces caractéristiques.

Les délavages des racines faits dans les vergers ont permis de préciser la tranche du sol intéressée (un mètre environ) qui s'est révélée sensiblement inférieure à ce qui était admis précédemment.

Les doses et les fréquences des irrigations pratiquées jusqu'à présent dépassaient les besoins réels des plantes en eau, tandis que la technique proposée ici à la suite des mesures effectuées dans les plantations de rapport (irrigation en cuvettes paillées dans les vergers) permet une économie d'eau de l'ordre de 30 à 40 %, laquelle rend possible l'extension du périmètre utilisé dans le Haouz.

Engrais minéraux.

Parallèlement à cette amélioration de la technique des irrigations, la possibilité d'augmenter les rendements des plantations d'agrumes a été recherchée. Les essais ont montré l'intérêt particulier que présente l'apport des engrais complets, contenant l'azote, l'acide phosphorique et la potasse. On obtient ainsi une augmentation de la récolte de 30 à 35 %.

Les engrais ne contenant que de l'azote n'augmentent la récolte que de 15 %.

Il a été défini aussi que l'époque d'application de l'engrais avait une très grande importance ; ce sont les amendements apportés durant les mois de septembre et d'octobre qui donnent les meilleurs résultats.

Engrais verts.

En ce qui concerne les engrais verts dont l'enfouissement dans le sol permettrait d'apporter dans les terres envisagées la matière organique si indispensable pour l'amélioration de leur structure, les essais effectués ont montré que les rendements obtenus tant par la culture de la moutarde que par celle de la fève sont très intéressants et donnent pour la moutarde 38 tonnes et pour la fève 49 tonnes à l'hectare en moyenne. Les rendements en matière sèche (à 105°) sont en faveur de la fève (23 % au lieu de 19 % pour la moutarde).

Instruments agricoles.

La nature du sol intervient d'autre part dans le choix des instruments de culture. En effet, les mensurations effectuées dans les parcelles ont montré que dans les conditions locales les cultivateurs employés pour les travaux de défoncement n'ont pas produit un effet suffisamment régulier. Seule la grosse charrue défonceuse à versoir a donné de bons résultats.

Pertes d'eau.

La rareté de l'eau au Haouz oblige à rechercher une stricte économie dans son emploi. Il était donc nécessaire de déterminer les pertes dans le réseau de distribution. Les mesures de débit ont fait ressortir que les pertes par percolation dans les canaux en terre varient, suivant la nature des sols de 18 à 25 % sur des parcours de 1 à 3 kilomètres. Ainsi les conditions locales justifient l'établissement d'un réseau de distribution d'eau en matériaux imperméables.

Plan des cultures.

Le Haouz offre la possibilité de développer une économie rurale à haut rendement, comportant les cultures arbustives et les cultures industrielles assolées avec les céréales traditionnelles.

Un plan (avec 2 variantes) de cultures est proposé sur la base des résultats des études exposées dans ce mémoire. Une de ces caractéristiques est l'adoption pour le Haouz d'une économie complémentaire avec d'autres régions du Maroc, plus propices à la culture des céréales et permettant ainsi de développer dans le Haouz les surfaces destinées aux cultures industrielles.

Répetons encore que ce plan tient compte des conditions fixes de la région qui sont ses sols, son climat et son hydrologie, définies par les études exposées.

En ce qui concerne la partie variable des conditions de la région, c'est la conjoncture économique en 1952 qui a été prise pour base. Ceci a permis d'attribuer à l'arboriculture et à la luzerne 25 % de la superficie, aux cultures industrielles 30 %, le reste devant être partagé entre la culture des céréales, des fourrages et des légumes.

L'application de ce plan augmenterait le pouvoir d'achat de la population et permettrait d'absorber une production industrielle importante par l'achat d'outillage agricole moderne, ce qui inclurait cette région dans un ensemble harmonieux de production.

BIBLIOGRAPHIE

(Principaux ouvrages)

1. — V. AGAFONOFF. — *La pédologie. Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique.* 1929.
2. — V. AGAFONOFF. — *Sols types de Tunisie. Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie.* 1936.
3. — V. AGAFONOFF. — *Quelques réflexions sur l'histoire de la Pédologie. Annales Agronomiques.* 1926.
4. — P. ANNE. — *Sur le dosage rapide du carbone organique du sol. Annales Agronomiques.* 1945.
5. — V. BAUZIL. — *Traité d'irrigation. Editions Eyrolles, Paris* 1952.
6. — G. BRYSSINE. — *Premières réflexions sur la mise en valeur de la plaine du Haouz. Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts, Service des Recherches Agronomiques et de l'Expérimentation Agricole. Rabat.* 1952.
7. — *Bulletin mensuel météorologique du Service de Physique du Globe de l'Institut Scientifique Chérifien.*
8. — W. CAVALLAR. — *Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc au 1/1.500.000^e. Centre de Recherches Agronomiques. Rabat.* 1950.
9. — A. DEMOLON. — *Etude expérimentale des sols. Paris. Dunod.* 1948.
10. — A. DEMOLON. — *Dynamique des sols. Paris. Dunod.* 1952.
11. — A. DEMOLON et EM. BASTISSE. — *Sur quelques complexes colloïdaux de fer et d'aluminium. Annales Agronomiques.* 1938.
12. — J. DRESCH. — *Recherches sur l'évolution du relief dans le Massif Central du Grand Atlas, le Haouz et le Sous. Thèse. Paris.* 1941.
13. — M. ENIKEFF. — *La salinité des eaux souterraines du delta intérieur du Niger. Comptes rendus t. 208, 1938.*
14. — M. ENIKEFF. — *Recherches sur les eaux souterraines du delta intérieur du Niger. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. 206, 1938.*
15. — M. ENIKEFF. — *Recherches sur les sols du delta intérieur du Niger. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. 206, 1938.*
16. — M. ENIKEFF. — *Transport des sels dissous par le Niger en 1938. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. 209, 1939.*
17. — ETCHEVERY. — *Irrigation Work and Engineering. N.Y.* 1936.
18. — B.-G. GANOSSIS. — *Perméabilité du sol et irrigations. Annales Agronomiques.* 1931.
19. — I. GARKOUCHA. — *Pédologie. Moscou.* 1951.
20. — M. GESSENER. — *L'analyse mécanique. Dunod.* 1936.
21. — G. GRILLOT. — *L'eau, le sel et les cultures : problèmes pédologiques. Service de Recherches Agronomiques et de l'Expérimentation Agricole. Rabat.* 1952.
22. — G. GRILLOT et G. BRYSSINE. — *Etude préliminaire des sols de la région Doukkala-Abda Nord. Centre des Recherches Agronomiques. Rabat.* 1942.
24. — G. GRILLOT et G. BRYSSINE. — *Nouvelle contribution à l'étude de l'humidité des sols du Maroc. Société des Sciences Naturelles du Maroc. Travaux de la section de pédologie. Tome 2-3. Rabat.* 1951.
25. — S. HENIN et D. BOURDIN. — *La capacité des sols pour l'eau, sa mesure au laboratoire et dans les sols en place. Comptes rendus, t. 230, 1950.*
26. — E. HUGET DEL VILLAR. — *Les sols rouges et les sols noirs au Maroc et en général. Société des Sciences Naturelles du Maroc. Travaux de la section de pédologie. T. 1. Rabat.* 1950.

27. — S. HENIN, A. BARREDAL, G. GLAISE et J. RIQUIER. — *Méthode simple pour la détermination de l'humidité du sol. Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture. Séance du 4 juillet 1945.*
28. — *Instructions hydrologiques. Association Internationale d'Hydrologie scientifique. Paris. 1940.*
29. — H. MATHIEU. — *Analyse quantitative. Masson. 1946.*
30. — H. MATHIEU. — *Analyse volumétrique. Masson. 1946.*
31. — V. MALYCHEFF. — *Contribution à l'étude des sols du Maroc Occidental. Sol brun formé aux dépens de Hamri. Comptes rendus, t. 203. 1932.*
32. — M. PEECH, L.-T. ALEXANDER, L.-A. DEAN et J. FIEDSREG REED. — *Méthodes d'analyses des sols pour les recherches sur la fertilité. U.S.D.A. Washington, 1947.*
33. — R.-L. PENDLETON AND D. NICKERSON. — *Soils colors and special Munsell soil color Charts. Soil Science, vol. 71. 1951.*
34. — G.-W. ROBINSON. — *Soils. Their origin, constitution and classification. Thomas Murbey and Co. London. 1951.*
35. — E.-W. RUSSEL. — *Soil structure. Imperial Bureau of Soil Science. Technical Communication n° 37. Harpenden 1937.*
36. — M.-S. TAYGANOV. — *Appareil pour l'immersion automatique au cours de l'analyse structurale humide des sols. Pédologie. 1937, n° 3. Moscou.*
37. — C. BORUFF AND BUSWELL. — *The anaerobic fermentation of lignin. J. American chem. Soc. V 56, 1934.*
38. — E. ENSMINGER AND I. GIESEKING. — *Résistance of clay absorbed proteins to proteolytic hydrolysis. Soil Science V. 53 n° 3, 1942.*
39. — S. GILLAM. — *A study of chemical nature of humic acids. Soil Science V. 49, n° 6, 1940.*
40. — J. JOHNES AND W. JATER. — *The problem of soil organic matter and nitrogen in dry land agriculture Journal American Soc. Agron. V. 16, 1924.*
41. — R. SALTER AND T. GREEN. — *Factors affecting the accumulation and loss of nitrogen of and organic carbon in cropped soils. Journal American. Soc. Agron. V. 25, 1933.*
42. — G. JORET. — *La recalufication rationnelle des sols. Bulletin de l'As. Française pour l'étude du sol, n° 29, 1952.*
43. — M^{me} MERIAUX. — *Importance des techniques physiques et minéralogiques dans la connaissance du sol. N° 32, 1952. Bulletin de l'As. Française pour l'étude du sol.*
44. — D.-W.-A. ROBERTS. — *Effet de la variation de la teneur en eau du sol sur l'hétérogénéité physiologique de la première feuille du blé. Canadian Journal of Botany. Vol. XXX, n° 1, 1952, Ottawa.*
45. — E. SOUTANELLI. — *Expériences avec des engrais verts dans les climats chauds et arides. Am. Sper. Agr. Vol. V 1, 1952.*
46. — E.-L. BROGE, THOMSON, A.-C. CALDWELL. — *Effet à long terme d'application de fumier de ferme à des doses variées sur les récoltes et quelques constituants chimiques du sol. Agron. Journal, XLIV, 1952.*
47. — W.-A. ALBREEHT AND R. SCHROEDER. — *Plant nutrition and hydrogen ion. Soil Sci. V. 53, 1942.*
48. — PEECH. — *Methods of soil analysis for soil fertility investigation. U.S. Dept. Agr. Cir. 1947.*
49. — BENNETT. — *Soil conservation. Megram-Nill Boot Co, New Jon and London, 1939.*
50. — A.-N. LEBEDJANTZEV. — *Drying of soil as a factor un maintaining fertility. Soil Sci. 18, 1924.*
51. — G. CHEVALIER. — *Pluies à Alger et apports salins au sol. Annales Institut Agricole, VI, 1951, Maison Carrée.*
52. — G. CHEVALIER. — *Sur la récalcification des sols. Etude des produits calciques. Annales Institut Agricole. V. 1-3, 1951, Maison Carrée (Alger).*
53. — R.-E. UHLAND. — *Physical properties of soils os modified by croaps and management. Proc. Soil Sc. Soc. of America. Vol. XIV, 1949.*
54. — W.-N. FULLER. — *La matière organique du sol. Agric. Exper. Station Bulletin 240, 1951. Tucson, Arizona.*
55. — F.-E. BROADBENT AND N.-D. GHAPMANT. — *A lysimeter investigation of gains, cosses and balance of salts and plant nutrients in an irrigaled soil. Proc. Soil Sc. Soc. of America Wis. Vol. XIV, 1949.*

56. — R.-R. REID, C.-E. IEYENDECKER AND D.-S. NUBBELL. — *Agrégates stables dans l'eau de sols artificiellement salins et salino-alcalins. Proc. Soil. Sc. of America, Madison Wis., Vol. XIV, 1949.*
57. — VAN DOREN AND A.-A. KLINGEBEIL. — *Effet de l'exploitation du sol sur sa perméabilité. Soil. Sc. Soc. of Amer. Proc. Vol. XVI, 1952.*
58. — A.-E. NILTBOLD, W.-V. BARTHOLOMEW AND C.-N. WERKMAN. — *Emploi des éléments marqués dans la mesure simultanée de la minéralisation et de l'immobilisation de l'azote dans le sol. Sol. Sc. Soc. of Amer. Proc. 1951.*
59. — D. KIRKHAM AND G.-S. TAYLOR. — *Essais avec une sonde à quatre électrodes (dispositif de Wennel) pour mesurer l'humidité du sol. Proc. Soil. Sc. Soc. America Madison, Wis., Vol. XIV, 1949.*
60. — A. KLUTE AND W.-C. JACOB. — *Influence d'un apport répété de matières organiques sur les propriétés physiques d'un limon sableux de sassafras. Proc. the Soil Sc. Soc. of America, Madison (Wis) V. XIV, 1949.*
61. — J. KOPECKY. — *Investigation of the relation of water to soil. Proceed of first Intern. Congr. of soil Science, 1928.*
62. — CH.-F. SHAW. — *The normal moisture capacity of soils, Soil science, vol. XI, n° 6, 1921.*
63. — L. RICHARDS AND W. GARDNER. — *Tensiometers for measuring the capillary tension of soil water. Journ. of the Amer. Soc. of agronomy, vol. 28, n° 5, 1930.*
64. — DA COSTA, J.-V. BOTELHO. — *A critical survey of investigations of the wilting coefficient of soils. Journ. of agr. science, vol. XXVIII, 1938.*
65. — F.-J. VEIHMEYER AND A.-N. NENDRICKSON. — *Waterholding capacity of soils and its effect on irrigation practices. Agricultural Engineering, vol. 19, n° 11, 1938.*
66. — N. WADSWORTH. — *Interrelation of the moisture content-surface force curve for soils. Soil science, vol. 58, n° 3, 1944.*
67. — E.-J. VEIHMEYER AND A. NENDRICKSON. — *Soil moisture at permanent wilting of plants. Plant Physiology. vol. 3, 1928.*
68. — T.-M. MECALLA. — *Factors affecting the percolation of water through a layer of loessial soil. Proc. Soil. Sci. Soc. of am. Vol. 9, 1944.*
69. — L.-A. RICHARDS. — « *Capillary conductivity data for three soils* ». *Journ. amer. Soc. agron. Vol. 28, 1936.*
70. — G.-B. BODMAN AND F.-F. NERRADINE. — *Mean effective pore size and clay migration during water percolation in soils. Proceed. Soil Sci. Soc. Am. Vol. 3, 1938.*
71. — E.-A. COLMAN AND G.-B. BODMAN. — « *Moisture and energy conditions during downward entry of water into moist and layered soils* ». *Proceed. Soil. Sci. Soc. Am. Vol. 9, 1944.*
72. — R. AMBROGGI et G. THUILLE. — *Haouz de Marrakech. Extrait d'hydrogéologie du Maroc, n° 97 des Notes et Mémoires du service géologique du Maroc, Rabat, 1952.*
73. — G. THUILLE. — *Cruces et vague phréatique dans le Haouz de Marrakech. Publication n° 35 de l'Association Intern. d'Hydrogéologie.*
74. — G. GRILLOT, G. BRYSSINE et R. JAMINET. — *Etude préliminaire des sols de la région de Marrakech. Publication du Centre des Etudes et Recherches Agronomiques de la Direction de l'Agriculture et des Forêts du Maroc, 1951.*