

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DU REGIME THERMIQUE DES SOLS MAROCAINS
I. REGIME THERMIQUE D'UN SOL SABLEUX
(R'MEL) DE RABAT

M.D. VANHAMME

I. — Introduction

L'importance, tant du point de vue pédologique que biologique, de la température du sol n'est pas à démontrer. Malheureusement, à l'heure actuelle, les indications traitant de cet important facteur du milieu sont relativement rares en ce qui concerne le Maroc.

Afin de contribuer à l'étude de ce facteur écologique, nous avons jugé opportun de communiquer les résultats recueillis pendant une dizaine d'années concernant la température de l'air et du sol au Jardin d'Essais de la Recherche Agronomique de Rabat.

A. Le milieu

Afin de situer le poste climatique du Jardin d'Essais dans son environnement urbain nous signalons rapidement les caractéristiques suivantes :

1. le climat ;
2. la végétation ;
3. le sol.

1. Le climat

Rabat se situe au bord de l'Océan Atlantique et subit l'influence littorale. Son climat est classé parmi les climats subhumides (9).

Dans l'intention de relier les observations faites au Jardin d'Essais à celles du poste officiel situé à Rabat-Aviation, nous avons mis en

parallèle les diverses températures recueillies dans les deux postes de cette ville (TABLEAU I).

Les températures relevées au cours de la période normale de vingt-cinq années à Rabat-Aviation sont inférieures à celles de la période de onze années. Par contre les moyennes établies sur cette période présentent peu de différences avec celles du Jardin d'Essais. Ces différences sont plus importantes pour les minima que pour les maxima.

Les maxima moyens extrêmes enregistrés au Jardin d'Essais sont régulièrement inférieurs à ceux de Rabat-Aviation durant la même période de onze années. L'écart entre ces valeurs est d'autant plus sensible que l'on se rapproche de la période chaude.

Les maxima moyens notés pour ces deux stations sont forts semblables. L'écart entre ces températures augmente également en été.

Les minima moyens régnant au Jardin d'Essais sont supérieurs au printemps et en été à ceux relevés à Rabat-Aviation. Par contre, ils sont inférieurs en automne et en hiver.

Les minima moyens extrêmes sont supérieurs tout au long de l'année au Jardin d'Essais.

Dans cette dernière station les amplitudes journalières sont plus importantes, en automne et en hiver, qu'à Rabat-Aviation. Le phénomène inverse se remarque au printemps et en été. Les amplitudes des extrêmes, observables au Jardin d'Essais, sont régulièrement inférieures à celles de Rabat-Aviation.

Donc, dans la journée, en automne et en hiver, les températures sont plus élevées au Jardin d'Essais qu'à Rabat-Aviation. Par contre, la nuit, elles sont plus élevées à Rabat-Aviation qu'au Jardin d'Essais durant ces mêmes saisons. Les minima extrêmes sont plus élevés toute l'année au Jardin d'Essais, tandis que les maxima extrêmes sont plus importants dans les conditions de Rabat-Aviation.

2. La végétation

La parcelle d'environ 2 500 m² réservée aux mesures climatiques est gazonnée et entourée d'un côté d'une ligne de palmiers, de l'autre, de vieux eucalyptus et enfin d'une rangée de cyprès adossés à une haie de semi-épineux assez fournis (*Aberia cafra*). Des sous-étages arbustifs et herbacés de diverses essences introduites (*Nerium oleander* notamment) complètent la délimitation de cet espace triangulaire au centre duquel est placé un abri météorologique de type « marine ».

Les valeurs citées dans les pages qui suivent ont donc été enregistrées dans un milieu conditionné par une végétation environnante relativement dense, composée de phanérophyles érigées de taille spécifique variable.

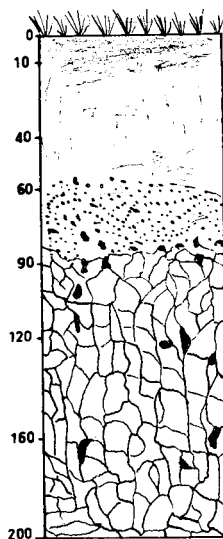
Des températures notées précédemment, il ressort que la végétation influe principalement sur les extrêmes. Elle tempère donc le climat en le refroidissant le jour et en le réchauffant la nuit.

Les données signalées dans les pages suivantes ont donc été relevées dans un micro-climat thermoprotecteur.

3. Le sol

Ce milieu écologique particulier, situé près d'une importante avenue de la ville, possède un édaphon sableux lessivé à horizon argileux profond du type r'mel. Le schéma suivant, réalisé au cours de la mission de W. CAVALLAR (2) illustre ce profil.

Profil de R'mel



Mission W.CAVALLAR.

TABLEAU I
Températures de l'air sous abri à Rabat

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ann.
I a - Maxima moyens extrêmes (\bar{M}_e)												
a)	33,7	32,4	27,5	22,9	22,4	23,3	27,4	28,9	31,1	32,3	36,1	29,4
b)	33,0	31,5	27,1	23,1	22,6	25,3	29,0	28,2	32,7	32,7	35,0	29,6
c)	29,4	26,4	23,7	21,9	19,6	21,4	23,2	23,0	26,3	27,2	29,7	25,2
I b - Maxima moyens (\bar{M})												
a)	27,1	25,0	21,2	18,4	17,4	18,2	20,1	21,5	23,5	25,5	28,0	22,9
b)	27,3	24,8	21,4	18,6	17,5	18,8	20,7	21,7	24,3	26,1	28,0	23,1
c)	27,4	24,8	21,6	19,1	17,6	18,8	20,5	21,4	23,4	25,6	27,4	23,0
I c - Moyennes ($\frac{\bar{M} + \bar{m}}{2}$)												
a)	21,8	19,8	16,2	13,6	12,5	13,1	14,9	16,2	18,2	20,6	22,7	17,7
b)	22,2	19,7	16,8	14,1	13,0	13,8	15,6	16,4	19,1	21,3	22,9	18,2
c)	22,3	19,3	16,6	14,1	12,8	13,8	15,6	16,8	19,1	21,5	22,9	18,2
I d - Minima moyens (\bar{m})												
a)	16,6	14,6	11,3	8,9	7,7	8,0	9,7	11,0	13,0	15,8	17,5	12,7
b)	17,2	14,6	12,2	9,7	8,5	8,9	10,6	11,2	14,0	16,5	17,9	13,3
c)	17,3	14,0	11,6	9,3	8,4	8,6	11,5	12,0	14,5	17,1	18,5	13,5
I e - Minima moyens extrêmes (\bar{m}_e)												
a)	12,3	10,2	7,0	4,4	3,4	4,0	5,4	7,3	8,8	11,6	13,8	8,5
b)	13,9	10,1	8,2	5,4	4,5	4,4	6,5	7,7	9,6	12,3	14,6	9,3
c)	15,0	13,0	8,2	5,0	5,9	6,8	9,4	10,1	13,4	15,1	16,7	11,2
I f - Amplitudes journalières ($\bar{M} - \bar{m}$)												
a)	10,5	10,4	9,9	9,5	9,7	10,2	10,4	10,5	10,5	9,7	10,5	10,2
b)	10,1	10,2	9,2	8,9	9,0	9,9	10,1	10,5	10,3	9,6	10,1	9,8
c)	10,1	10,8	10,0	9,8	9,2	10,2	9,0	9,4	8,9	8,5	8,9	9,6
I g - Amplitudes des extrêmes ($\bar{M}_e - \bar{m}_e$)												
a)	21,4	22,2	20,5	18,5	19,0	19,3	22,0	21,6	22,3	20,7	22,3	20,9
b)	19,1	21,4	18,9	17,7	18,1	20,9	22,5	20,5	23,1	20,4	20,4	20,3
c)	14,4	13,4	15,5	16,9	13,7	14,6	13,8	12,9	12,9	12,1	13,0	14,0

- a) = Températures normales, calculées sur une période de 25 années, à Rabat-Aviation.
 b) = Températures calculées sur une période de 11 années (1951-61) à Rabat-Aviation.
 c) = Températures calculées sur une période de 11 années (1951-61) à Rabat-Jardin d'Essais.

Description du profil :

- 0-10 cm : horizon hémorganique sableux, noirâtre, à petit agrégats friables
- 10-40 cm : horizon sableux, gris noir, devenant plus compact et sans structure vers le bas.
- 40-60 cm : horizon sableux de couleur plus claire, à concrétions sableuses agglomérées par de l'oxyde de fer dans la zone inférieure.
- 60-90 cm : horizon intermédiaire entre le sable et l'argile, de couleur jaune rouille, à concrétions ferrugineuses.
- 90 + : horizon nettement argileux, plus massif, de couleur rouge, à tendance prismatique.

Le profil présente donc deux couches distinctes : une zone sableuse de soixante centimètres d'épaisseur environ et une zone argileuse profonde.

Des concrétions ferrugineuses s'observent à la limite de ces couches.

Au cours des mois de pluviosité importante, ce type de sol présente une forte augmentation de l'humidité aboutissant à une certaine stagnation d'eau au niveau intermédiaire du profil (1) (3). Cependant, les horizons profonds restent relativement humides, même au cours de l'été (7).

B. Conditions d'études

1. Niveaux considérés

Les mesures ont été pratiquées aux niveaux suivants :

- sous abri (à 1 m 50) ;
- à vingt centimètres du sol ;
- à vingt centimètres dans le sol ;
- à quarante centimètres dans le sol ;
- à soixante centimètres dans le sol.

Il est certes regrettable que des mesures à des hauteurs intermédiaires telles soixante centimètres du sol, au niveau du sol, cinq et cent centimètres dans le sol, n'aient pas été réalisées. Elles nous auraient permis de renforcer la compréhension des phénomènes thermiques observés, comme nous le verrons plus loin.

2. Périodes considérées

Le tableau suivant met en évidence les années prises en considération :

air (150 cm)	+ 20 cm.	— 20 cm.	— 40 cm.	— 60 cm.
1951-61	1947-48	1951-61	1947-48	1947-48
	1951-55		1951-55	1951-55

L'irrégularité des périodes de mesures ne limite pas l'aspect tant indicatif que comparatif des valeurs obtenues puisque les données sont interprétées entre les divers niveaux d'un même profil.

3. Valeurs calculées

Au départ des températures consignées dans les cahiers d'observation, nous avons calculé les éléments suivants :

\bar{M}_e : moyenne des maxima extrêmes ;

\bar{M} : moyenne des maxima ;

\bar{m}_e : moyenne des minima extrêmes ;

\bar{m} : moyenne des minima ;

$\frac{\bar{M} + \bar{m}}{2}$: moyenne des maxima et minima ;

A : amplitude (journalière, intermensuelle et annuelle).

II. — Résultats observés

Les diverses variations thermiques, tant de l'air que du sol, seront présentées sous deux formes complémentaires :

A. Variations au cours de l'année

B. Profils thermiques

A. Variations au cours de l'année (GRAPHIQUE I)

L'allure générale des courbes des températures enregistrées aux divers niveaux des deux milieux considérés est semblable. Les variations des températures sont rapides en automne et plus étalées au printemps. Les températures minima sont observées au mois de janvier tandis que les maxima le sont en juillet et août.

1. Les moyennes (GRAPH. Ic)

L'ensemble des courbes de températures moyennes sont paral-

lèles, exception faite de celle soulignant l'évolution du niveau végétatif (courbe 2) où les valeurs enregistrées traduisent un niveau thermique important au printemps et en été.

La température sous abri (courbe 1) baisse relativement rapidement en automne. L'augmentation printanière est plus progressive que la diminution automnale.

Les moyennes relevées au niveau végétatif (courbe 2) sont importantes au cours de l'année. Elle sont supérieures à celles régnant sous abri au printemps et en été, mais fort semblables à celles de l'horizon rhizosphérique en automne et en hiver. La décroissance automnale et l'augmentation printanière sont plus élevées que celles de l'air à 1 m 50.

Les températures du sol sont décroissantes avec la profondeur. Le niveau le plus élevé est atteint à vingt centimètres de la surface (courbe 3). En hiver, cette zone présente une température proche de celle de la couche supérieure. Elle est intermédiaire, en été, à celles régnant sous abri et au niveau végétatif.

Dans les zones profondes (courbes 4 et 5), l'évolution des températures est identique. Elles sont inversées, par rapport à l'air en septembre-octobre et en janvier-février. Elles ne sont donc supérieures à celles enregistrées sous abri que durant la fin de l'automne et pendant l'hiver.

Ces valeurs sont la résultante des températures diurnes et nocturnes. Nous les analysons donc rapidement ci-après.

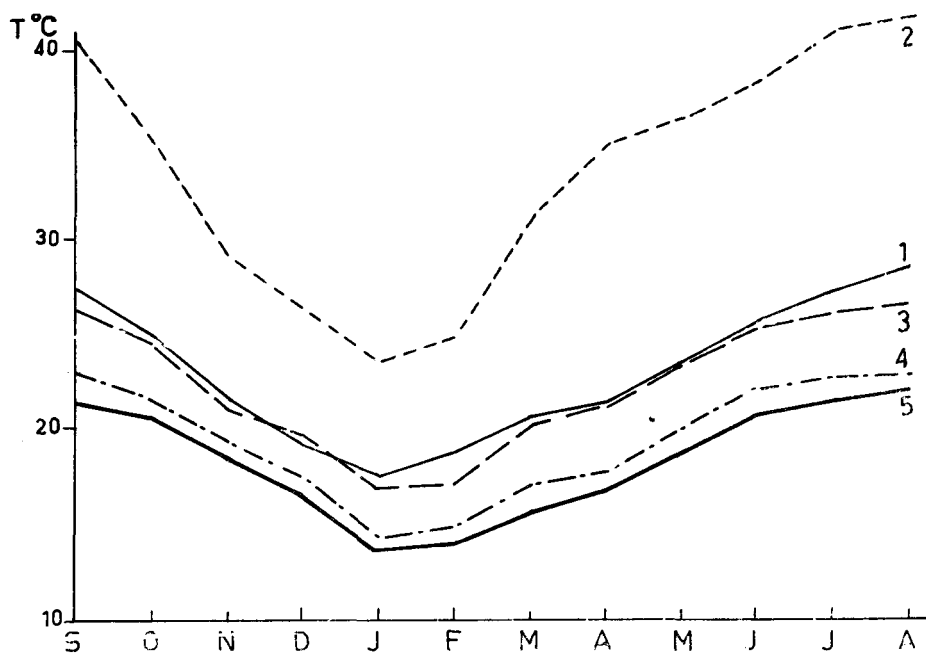
2. Les maxima (GRAPH. I a - I b)

Les maxima moyens (GRAPH. I b) soulignent les hautes températures diurnes qu'atteint la zone végétative (courbe 2) dans le courant de la journée. Tout au long de l'année, les températures plus basses sous abri et à vingt centimètres dans le sol (courbes 1 et 3) sont fort semblables. Celles des horizons profonds (courbes 4 et 5) suivent une évolution parallèle.

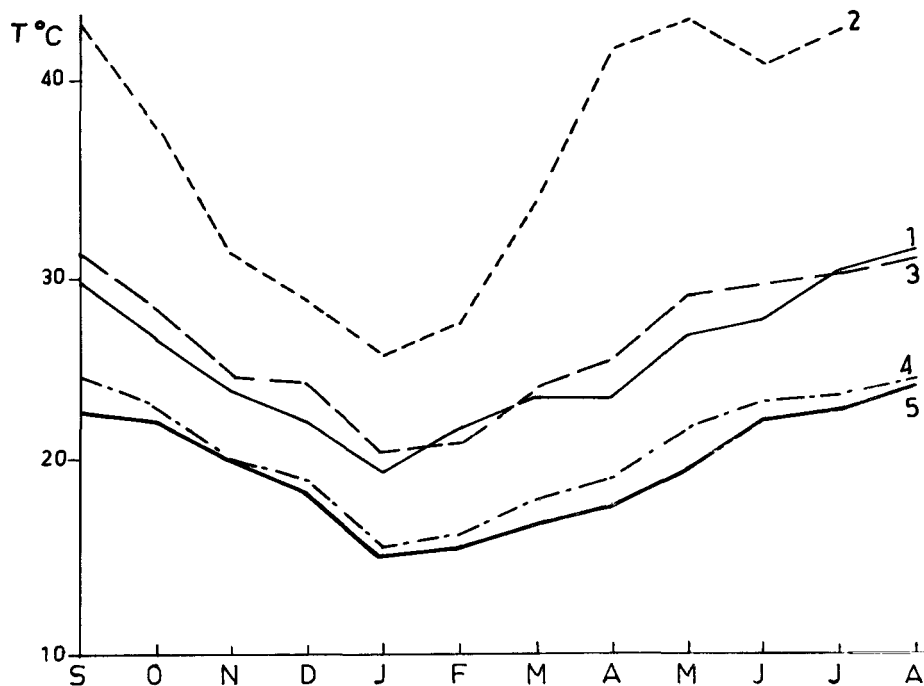
Les températures maxima moyennes de l'air (courbe 1) sous abri (GRAPH. I b) correspondent à celles qui sont observables dans la zone rhizosphérique, exception faite des deux mois les plus froids et des deux mois les plus chauds.

GRAPHIQUE I

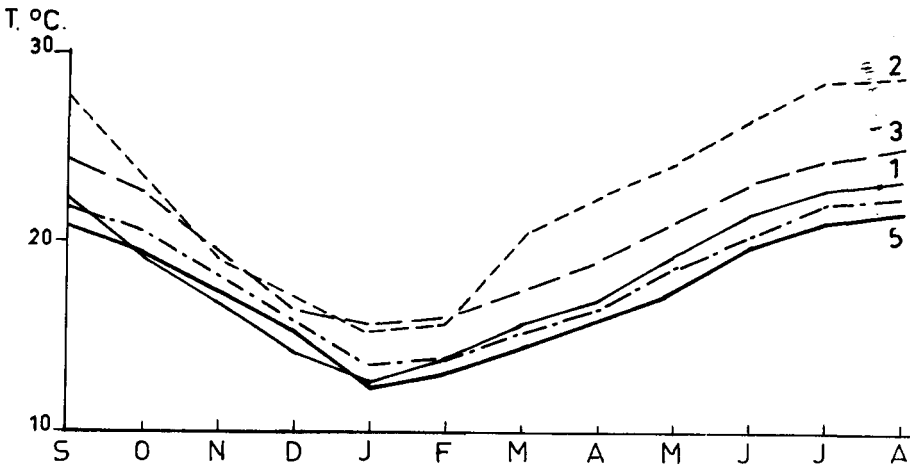
I - a — Maxima moyens extrêmes



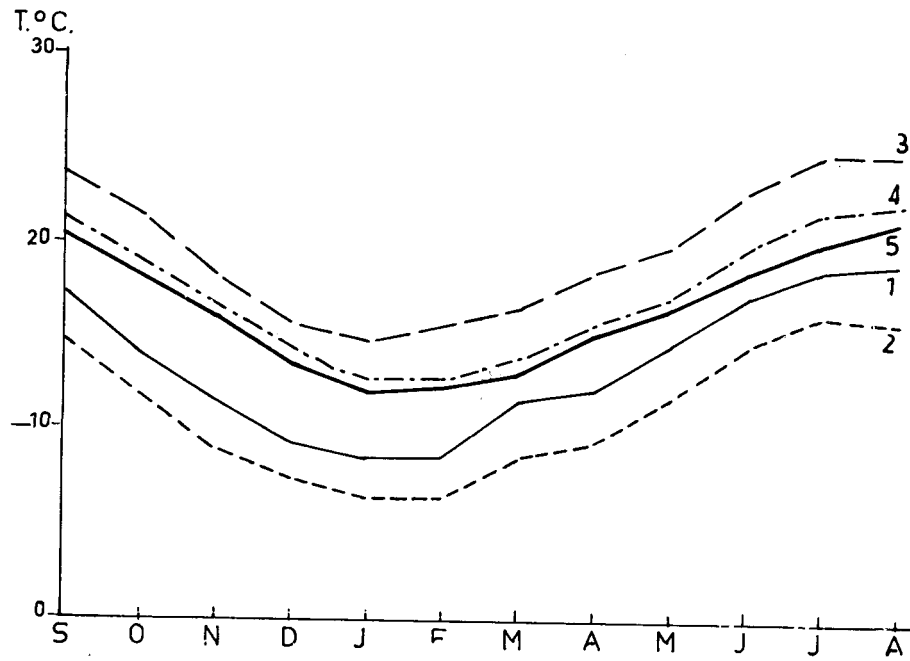
I - b — Maxima moyens



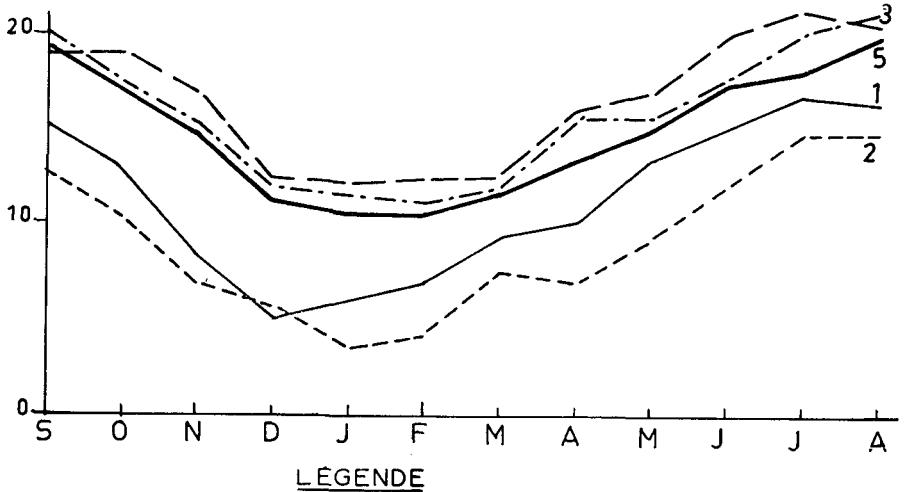
I - c — Moyennes



I - d — Minima moyens



I - e — Minima moyens extrêmes



LEGENDE

T. °C. + 1,50 m ——— 1	T. °C. - 0,40 m - - - - - 4
> + 0,20 m - - - - - 2	> 0,60 m ——— 5
> - 0,20 m ——— 3	

Le niveau thermique le plus élevé est atteint, tout au long de l'année, dans la zone végétative (courbe 2). Elle présente une baisse rapide des températures automnales mais également une élévation printanière importante. Une certaine stabilité tend à s'établir en été. L'écart entre les maxima de cette zone et ceux remarquables sous abri croît en fonction de l'approche de la période chaude.

L'évolution des diverses températures est semblable dans le sol. La zone rhizosphérique (courbe 3) montre une température légèrement inférieure à celle de l'air sous abri. Cependant, l'écart entre ces valeurs augmente durant les mois froids et les mois chauds.

L'évolution des maxima moyens extrêmes (GRAPH. 1 a) est plus accusée et moins régulière — tant dans l'air que dans le sol — que celle des maxima moyens.

L'augmentation printanière des maxima de la zone végétative est importante. Au début de l'été, ces températures oscillent à un niveau thermique élevé.

3. Les minima (GRAPH. Id - Ie)

L'évolution au cours de l'année des minima moyens (GRAPH. Id),

à leur niveau respectif, est semblable pour les divers horizons considérés. La régularité de ces températures, se traduisant par un léger étalement des courbes, est plus importante que pour les maxima signalés plus haut. Les températures nocturnes de l'air sont inférieures à celles du sol tout au long de l'année.

Les minima enregistrés sous abri (courbe 1) sont supérieurs à ceux de l'horizon végétatif. Ce dernier conserve, tout au long de l'année, le niveau thermique le plus bas (courbe 2).

Dans le sol, dans la zone des vingt centimètres (courbe 3), les minima restent élevés. Les horizons profonds (courbes 4 et 5) présentent des valeurs proches, bien que la couche profonde de soixante centimètres possède des minima moins élevés que celle qui lui est immédiatement supérieure.

De même que pour les maxima extrêmes, les minima extrêmes (GRAPH. I e) sont moins réguliers que les minima moyens. Les diverses strates présentent la même évolution. Cependant, la différenciation entre les températures du sol et de l'air se marque plus nettement.

Les températures sous abri (courbe 1), supérieures à celles de l'horizon végétatif (courbe 2), baissent rapidement en automne et en début d'hiver pour augmenter fortement au printemps et en début d'été.

La zone se trouvant à vingt centimètres (courbe 2) au-dessus du sol reste au niveau thermique le plus bas tout au long de l'année.

Les températures des divers niveaux du sol se rapprochent fortement (courbes 3, 4 et 5). La régularité de leur variation annuelle est d'autant plus grande que l'on pénètre en profondeur.

La zone rhizosphérique présente une certaine constance hivernale et estivale des minima. La baisse automnale est plus importante que l'accroissement printanier. Un phénomène identique, mais atténué, se remarque pour l'horizon profond de quarante centimètres. A soixante centimètres dans le sol, la régularité de l'évolution des températures nocturnes est importante.

4. Les amplitudes

a) Annuelles

Les écarts entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, pour les divers niveaux considérés, sont les suivants (en °C) :

Prof.	\bar{M}_e	\bar{M}	$\frac{\bar{M} + \bar{m}}{2}$	\bar{m}	\bar{m}_e
+ 150 cm.	11,4	10,5	10,7	10,5	11,7
+ 20 cm.	18,9	18,4	13,7	9,4	11,6
— 20 cm.	10,0	9,8	9,5	9,9	9,2
— 40 cm.	8,4	8,6	8,8	9,4	10,0
— 60 cm.	8,8	8,5	8,9	9,1	9,5

Sous abri, les écarts sont semblables pour les maxima et minima moyens d'une part et pour les deux extrêmes, d'autre part. Par contre, dans la zone végétative, ces amplitudes sont importantes pour les températures maxima et moins élevées pour les minima. Cependant, les minima extrêmes de ces deux niveaux présentent un écart fort semblable.

Dans le sol, les amplitudes sont décroissantes avec la profondeur. Elles sont inférieures à celles que l'on note dans l'air. Dans la zone rhizosphérique, les valeurs des minima et maxima sont proches, tandis que les extrêmes sont plus variables. En profondeur, les écarts tendent à s'uniformiser.

b) Journalières ($\bar{M} - \bar{m}$) (GRAPH. II a)

Les amplitudes des températures de l'air (courbes 1 et 2) se différencient nettement de celles du sol.

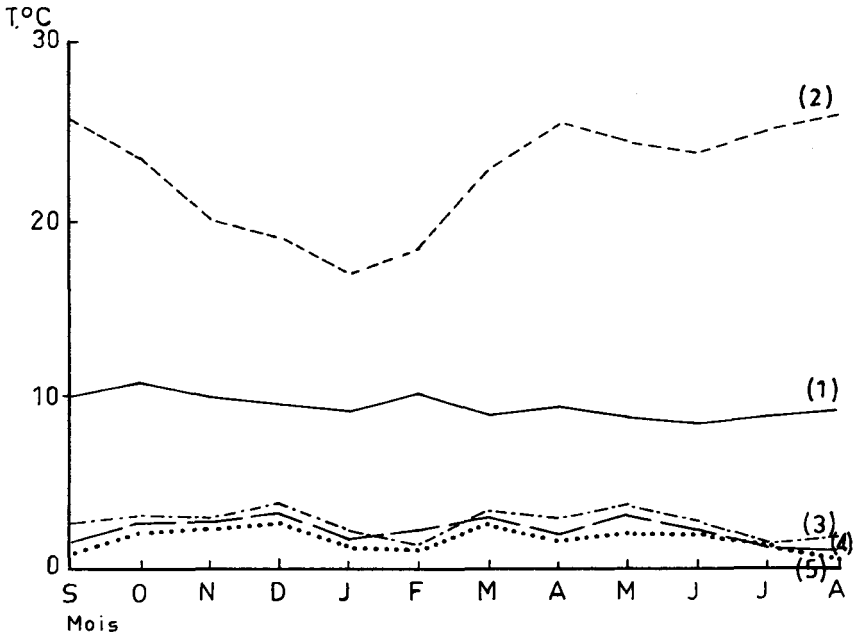
Sous abri, l'amplitude journalière est presque constante tout au long de l'année. L'individualité des températures régnant dans la zone des vingt centimètres du sol (courbe 2) se marque par l'importance et la variation des écarts. Ils sont régulièrement décroissants durant l'automne et une partie de l'hiver. Ils sont à nouveau croissants depuis le mois le plus froid jusqu'au début du printemps, période à partir de laquelle ils tendent à se stabiliser. L'amplitude minimum est notée au cœur de l'hiver.

Dans les diverses couches du sol (courbes 3, 4 et 5), les variations de l'écart sont continues, mais faibles. Elles sont d'autant plus petites que la profondeur est croissante.

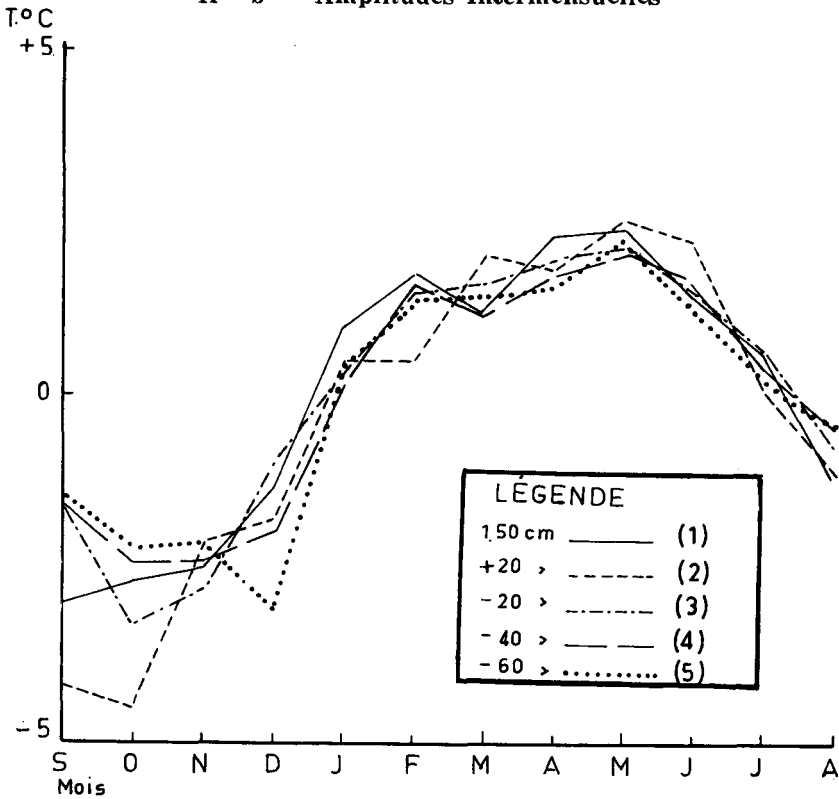
c) Intermensuelles (GRAPH. II b)

Les amplitudes intermensuelles sont voisines pour les divers ni-

GRAPHIQUE II
II - a --- Amplitudes journalières



II - b — Amplitudes Intermensuelles



veaux considérés. Au printemps et en automne, une certaine individualisation des valeurs peut être observée. A ces époques, les écarts entre les températures enregistrées sous abri et celles à vingt centimètres du sol présentent un retard d'environ un mois.

Dans le sol, l'évolution des températures est parallèle. En automne et en hiver, ces variations sont plus importantes qu'aux autres époques de l'année.

B. Profils thermiques (GRAPH. III)

Les profils thermiques représentent les variations de température suivant la verticale. Ils permettent de se rendre compte de l'importance de la répartition des températures soulignée dans les pages précédentes et de mettre en évidence certains phénomènes peu visibles dans les expressions graphiques antérieures.

1. Les moyennes (GRAPH. III b)

Les courbes de répartition des températures suivant la verticale montrent un maximum estival à vingt centimètres du sol. Par contre, en hiver, ce maximum se remarque à vingt centimètres dans le sol. L'équilibre des températures s'accroît durant la période froide et est atteint au cœur de l'hiver.

La décroissance des températures avec la profondeur est régulière. Elle est d'autant plus forte que les mois d'été approchent. Les températures les plus importantes se remarquent au niveau végétatif. Les élévations sont progressives jusqu'au maximum estival. En hiver, les températures sont plus constantes dans tout le profil. A cette époque, le maximum est atteint, dans l'horizon rhizosphérique.

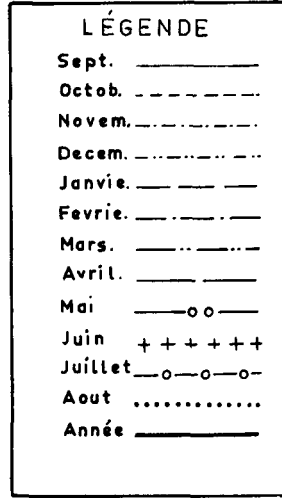
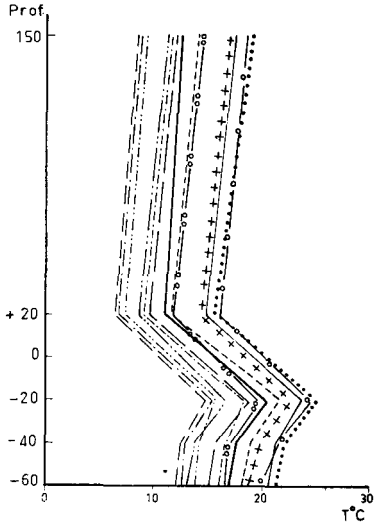
La température de l'air est supérieure à celle enregistrée dans l'horizon profond de 40 cm au printemps et en été, mais toujours inférieure à celle de la zone des vingt centimètres. En automne et en hiver, elle est inférieure à celles des autres strates considérées, exception faite de la zone profonde qui présente une température fort semblable à celle enregistrée sous abri.

2. Les maxima (GRAPH. III a)

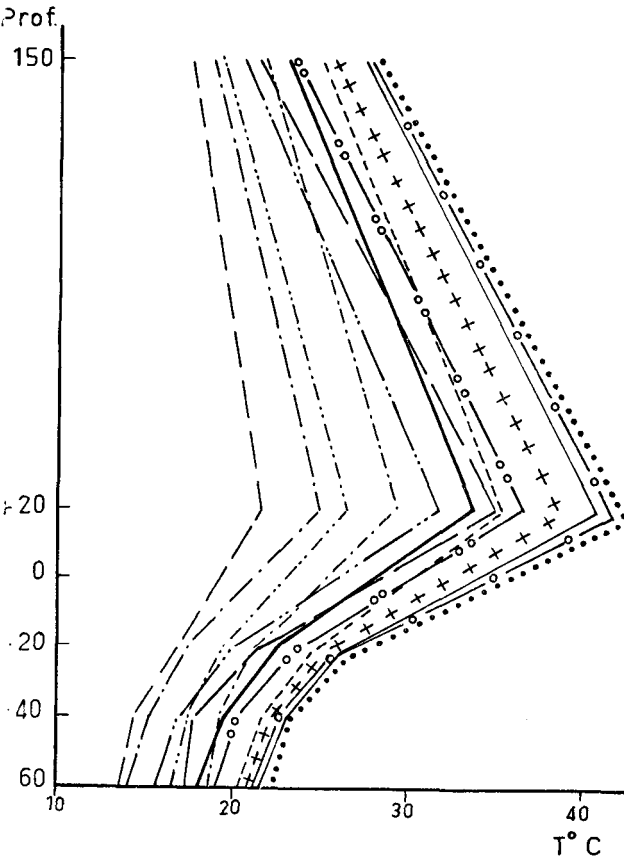
Les températures diurnes les plus accusées se remarquent au niveau végétatif. Elles augmentent suivant l'évolution des saisons et varient du simple au double entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. La croissance des températures est importante entre 150 cm et 20 cm au-dessus du sol en été, mais moins forte en hiver.

GRAPHIQUE III

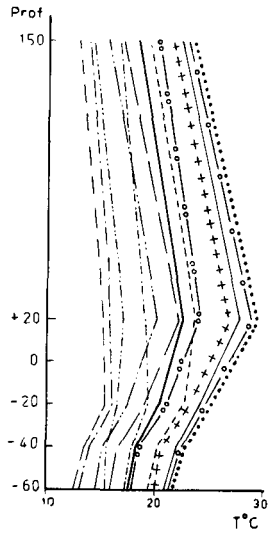
III - a — maxima moyens



III - c — minima moyens



III - b — Moyennes



Les maxima décroissent suivant la profondeur. Ils diminuent fortement avant d'atteindre la zone rhizosphérique. Cette décroissance est d'autant plus forte que l'on arrive aux mois les plus chauds.

Les températures estivales sont fort voisines, d'autant plus voisines que la profondeur augmente. Dans les horizons profonds, la baisse de température est continue mais peu importante.

3. Les minima (GRAPH. III c)

Contrairement au profil concernant les maxima et soulignant l'individualité de la strate végétative, celui des températures nocturnes montre celle du niveau rhizosphérique. Leur évolution paraît relativement semblable tout au long de l'année. Les températures diminuent — légèrement en hiver, plus fortement en été — depuis l'abri jusqu'au niveau végétatif. A partir de cet horizon, elles augmentent relativement fortement jusqu'au niveau profond de vingt centimètres où se remarquent les valeurs les plus élevées. Elles décroissent ensuite régulièrement. En profondeur, la diminution s'atténue. Ces températures restent toujours supérieures à celles de l'air.

III. — Interprétation

De manière à mettre en évidence la dynamique thermique du r'mel du Jardin d'Essais, des graphiques concernant le régime thermique ont été établis. Ils soulignent l'évolution des températures suivant le temps et la verticale. Ils synthétisent et complètent donc les informations mises en évidence au cours des paragraphes précédents.

A. Le régime thermique (GRAPH. IV)

Au cœur de l'hiver, il se forme de part et d'autre du niveau du sol une zone de température stationnaire d'environ 15°C. Elle se résorbe progressivement au cours du printemps. Le niveau thermique élevé de la zone végétative, le retard de réchauffement de l'air et du sol, concourent à la formation d'un noyau isothermique de plus de 28°C au cours de l'été (GRAPH. IV b).

L'échauffement important de cette zone végétative est dû à l'influence prépondérante des températures maxima (GRAPH. IV a), élevées tout au long de l'année.

En été, il se crée à ce niveau, une zone isothermique dépassant 41°C. Ces températures influencent moins fortement l'air que la couche profonde de vingt centimètres.

Au cours du refroidissement automnal, l'évolution des températures tend vers l'équivalence thermique de la strate à 150 cm du sol et de celle profonde de 20 cm.

En hiver, l'air se refroidit plus rapidement que le niveau superficiel, tandis que le sol subit encore son influence. Il en résulte donc, au mois de janvier, un équilibre se traduisant par une température stationnaire de plus de 23°C.

Une élévation importante des températures du niveau végétatif se marque au printemps. Ce niveau influence moins fortement l'air que le sol. L'évolution des températures entraîne une concordance entre la température sous abri et celle de l'horizon rhizosphérique. Le noyau isothermique déjà signalé se constitue donc au cours de l'été.

Les températures nocturnes (GRAPH. IV c) présentent un phénomène inverse. En hiver, il se crée une isothermie dans la zone végétative tandis qu'en été, elle se remarque dans la couche rhizosphérique. Ces deux strates, conséquence d'un phénomène complémentaire, présentent, aux mêmes époques, des températures stationnaires.

Le noyau isothermique estival, de plus de 24°C, influence plus fortement les couches qui lui sont supérieures que les horizons profonds. L'air se trouve à un niveau thermique plus élevé. Il se crée ainsi une discontinuité se traduisant par une température stationnaire de 16°C environ.

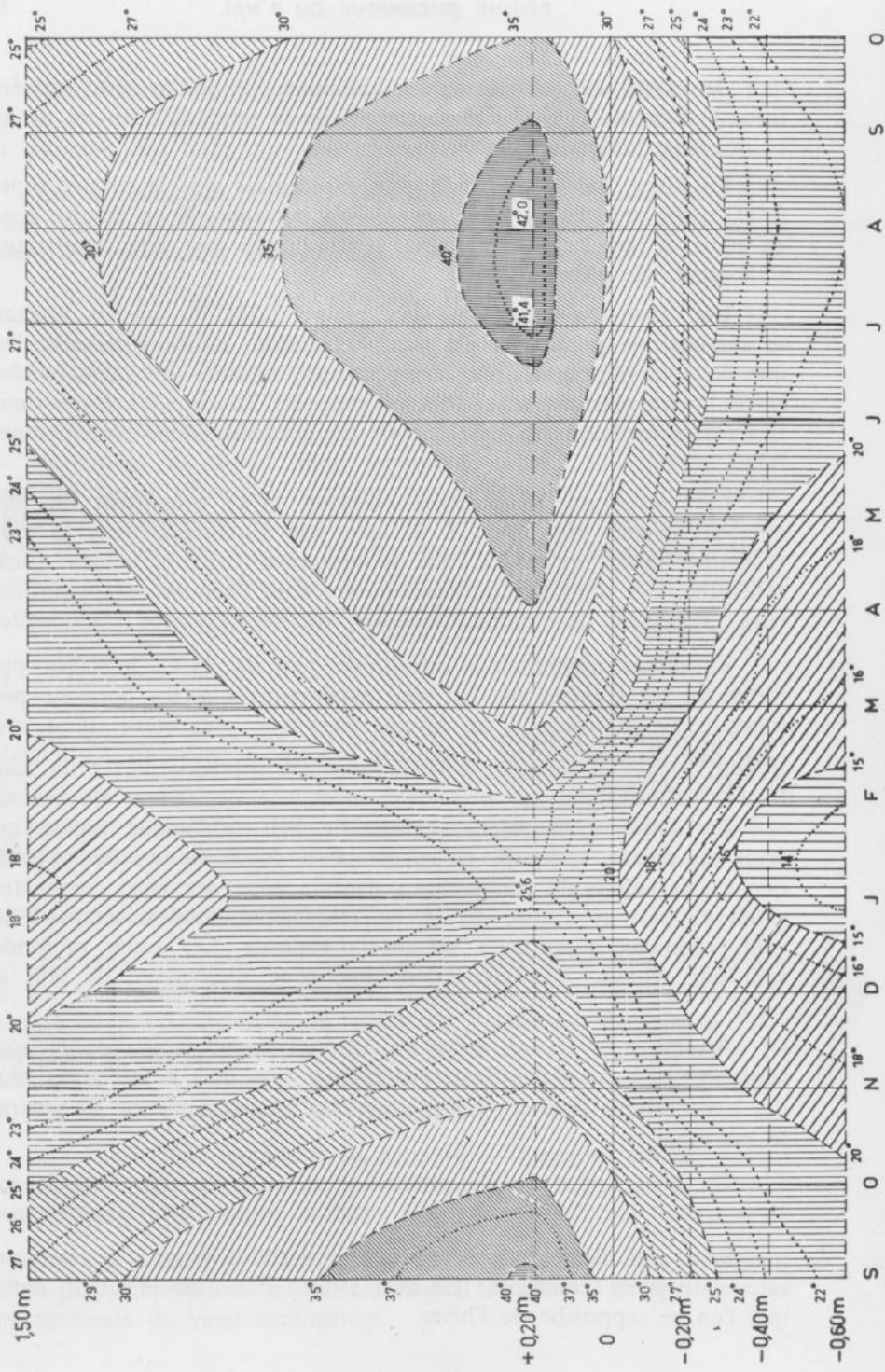
En automne, le refroidissement de l'air est moins rapide que celui du niveau végétatif. Ce phénomène s'accroît en hiver tandis que les variations de températures dans la zone des vingt centimètres situés de part et d'autre du sol se ralentissent dans le temps. Elles sont cependant importantes suivant la verticale. Les zones profondes sont plus froides. Il s'établit donc une zone stationnaire de plus de 14°C.

Au cœur de l'hiver, suite au refroidissement rapide de la zone végétative et à son réchauffement printanier ainsi qu'à la faible variation des températures dans le temps, un noyau isothermique de 6° environ se constitue.

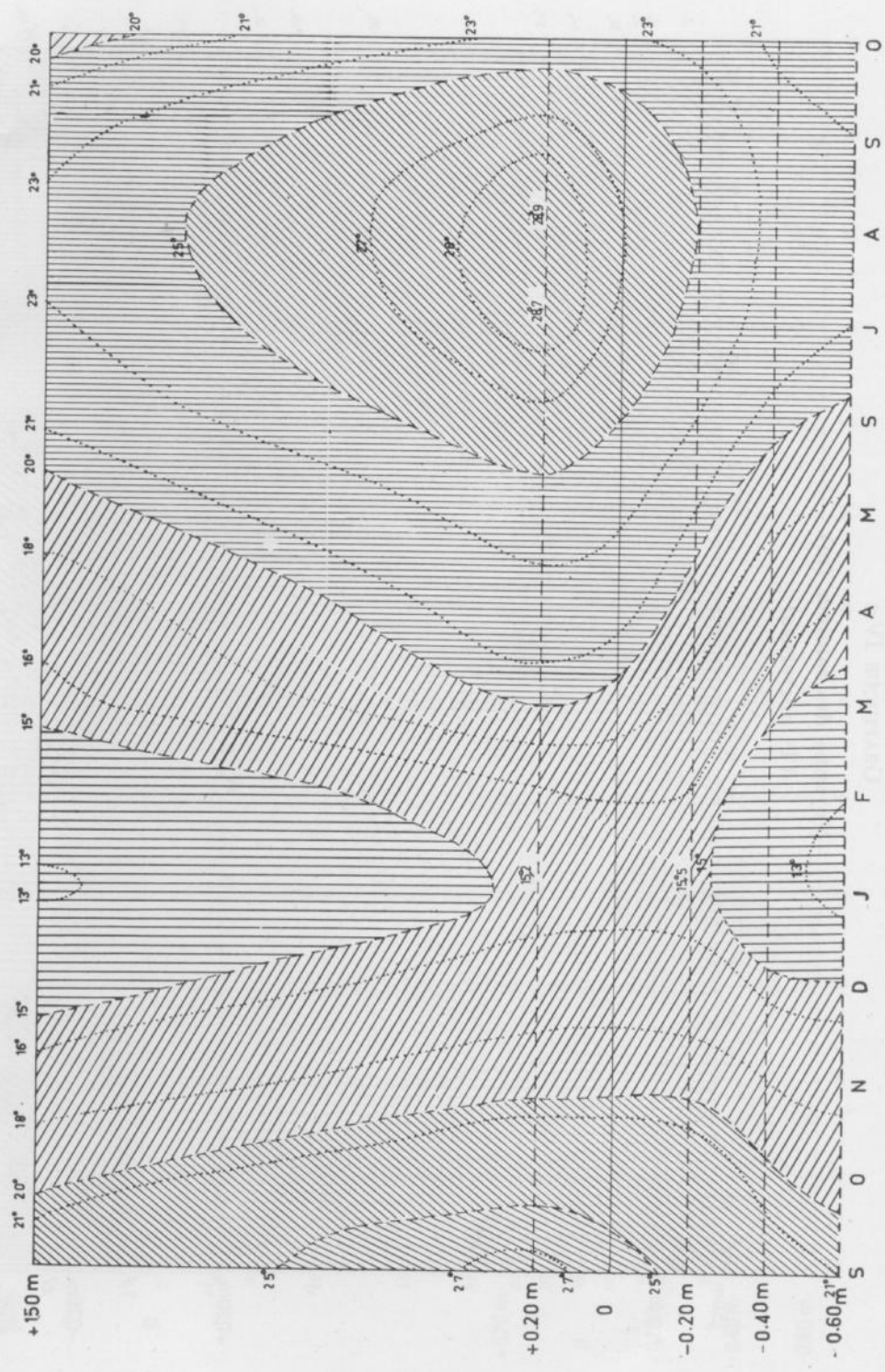
Un phénomène complémentaire se déroule, en été, dans le sol. Il se traduit par l'isothermie, déjà signalée, de la zone rhizosphérique.

Sous abri, l'amplitude entre les températures diurnes et nocturnes est relativement constante (GRAPH. IV d). Elle l'est d'autant moins que l'on se rapproche de l'hiver.

GRAPHIQUE IV-a
 Moyenne des maxima (\bar{M})
 (T° diurnes)

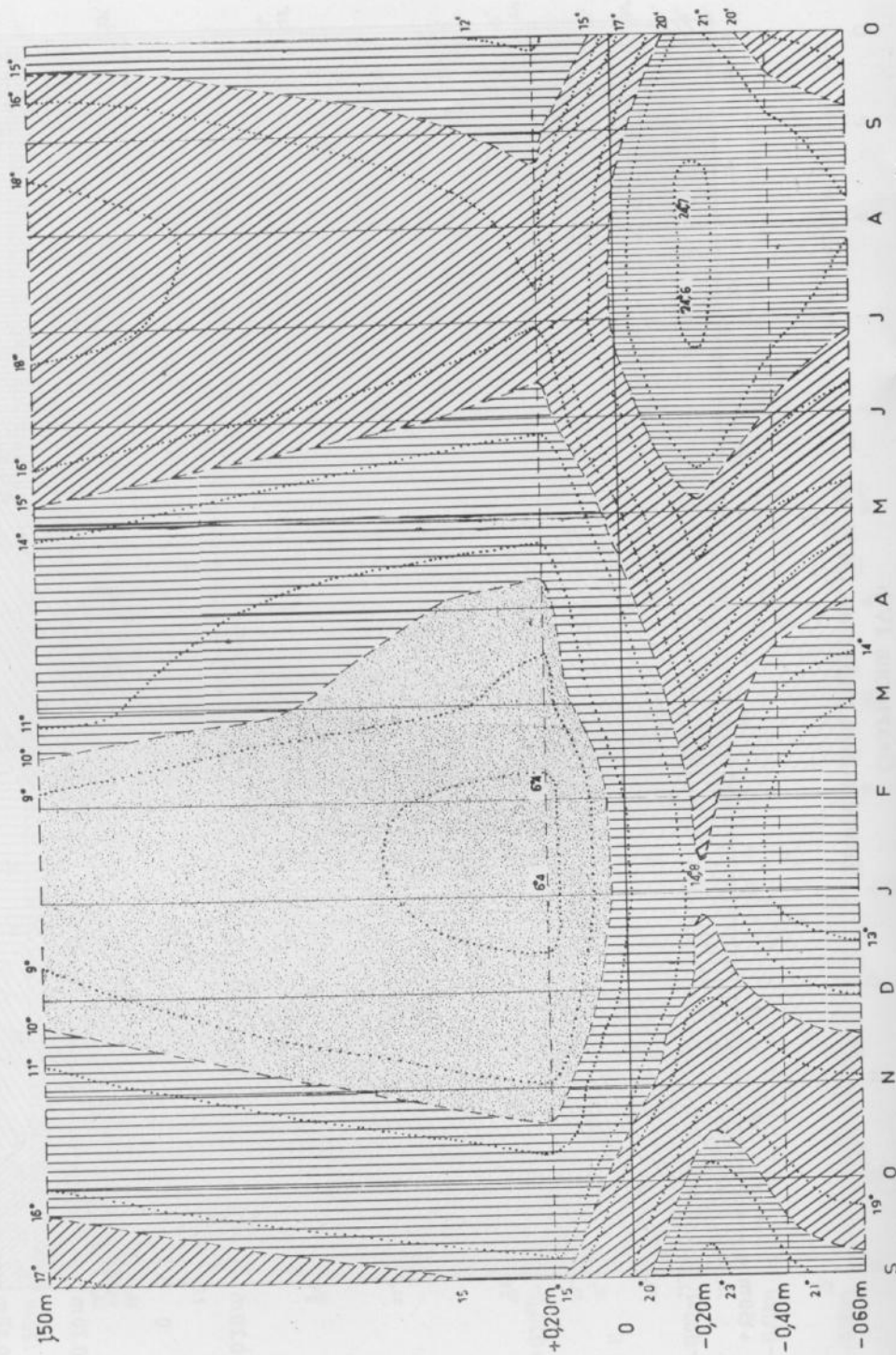


Températures moyennes $\frac{(\bar{M} + \bar{m})}{2}$



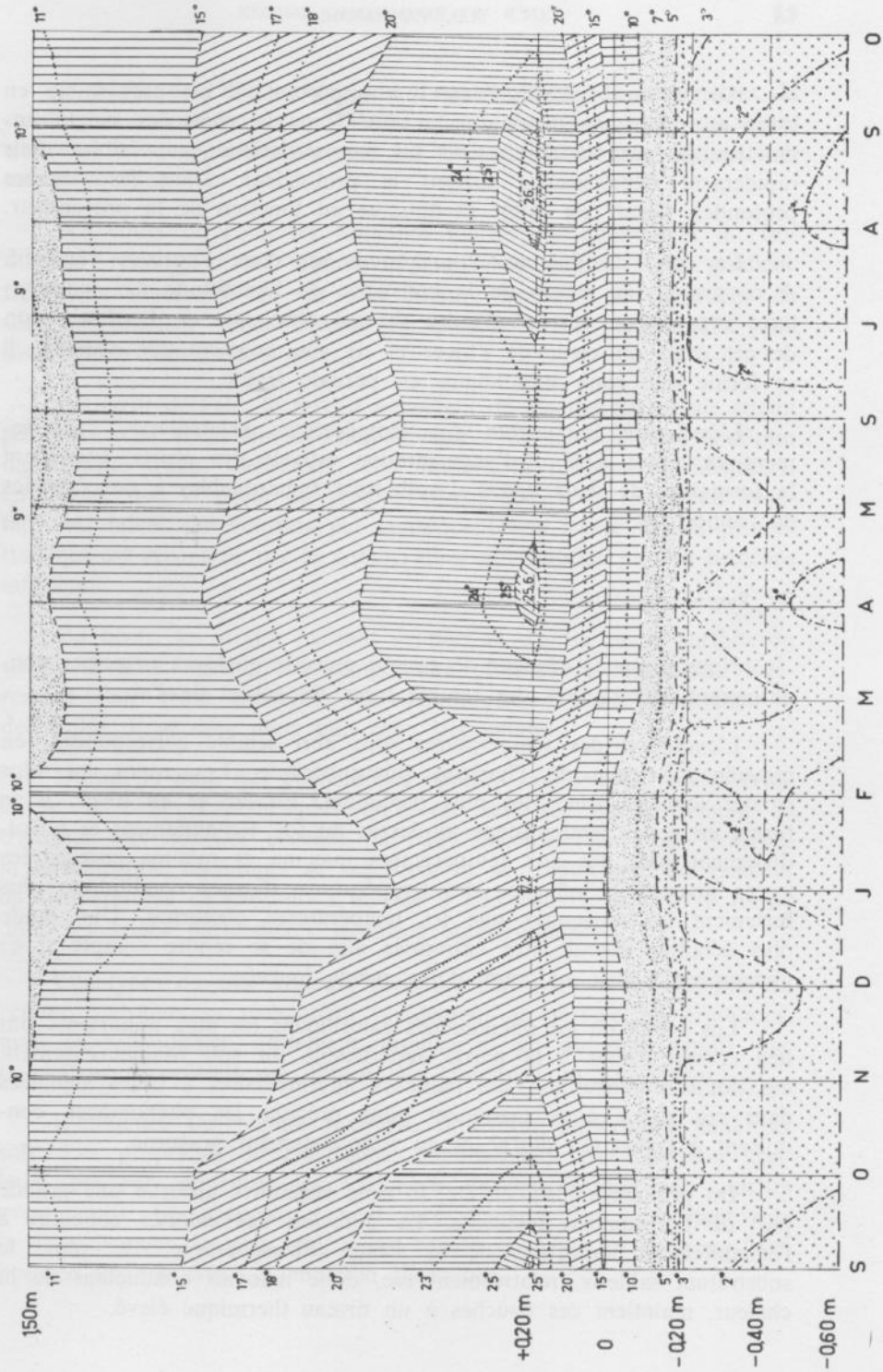
GRAPHIQUE IV-C

Moyenne des minima (\bar{m})
(T° nocturnes)



GRAPHIQUE IV-d

Amplitudes journalières ($\bar{M} - \bar{m}$)



Au niveau végétatif, l'écart est important. Il est plus faible en hiver et atteint un maximum en été. Dans la zone des vingt centimètres de part et d'autre du sol, ces variations sont faibles mais rapidement décroissantes suivant la profondeur. Dans les couches profondes, l'écart est faible et diminue en fonction de la profondeur.

La zone de fluctuation maximum est donc l'horizon végétatif. A ce niveau, en raison de la constance de l'amplitude des températures régnant de part et d'autre du sol ainsi que de la diminution de cet écart au cœur de l'hiver et de son augmentation vernale, il se forme une zone stationnaire en période froide.

L'évolution importante des températures printanières, l'abaissement en début d'été et l'augmentation estivale des écarts, entraînent la formation de deux zones d'isothermie remarquables à ces époques de l'année.

B. Synthèse

Nous pouvons dégager de ce qui précède quelques principes conditionnant l'interaction des températures du sol et de l'air.

L'évolution des températures sous abri semble correspondre, en moyenne, à celle de l'horizon rhizosphérique. Les zones les plus froides sont les zones les plus profondes. En été et en hiver, il se forme un noyau isothermique au-dessus du sol. Echauffement et refroidissement sont dûs aux températures maxima et minima enregistrées à ces niveaux. L'influence des températures diurnes conditionne plus fortement les moyennes que les températures nocturnes. Une étude plus détaillée devrait être entreprise afin de se rendre compte si ce phénomène a lieu au cours d'une même journée.

Les zones où les phénomènes calorifiques les plus importants ont lieu correspondent à la partie superficielle du sol. Malheureusement des données concernant des hauteurs intermédiaires à celles signalées dans ces pages nous manquent pour préciser les phénomènes conduisant à l'élévation diurne et au refroidissement nocturne.

Du printemps jusqu'en été, la zone végétative absorbe une grande part de la radiation incidente. La diffusion des calories concourt à l'échauffement important de la strate rhizosphérique. De plus, le substratum sableux, relativement sec, donc mauvais conducteur de la chaleur, maintient ces couches à un niveau thermique élevé.

A partir de l'horizon profond d'une vingtaine de centimètres, la conduction calorifique est meilleure. Le réchauffement de ces zones s'effectue avec approximativement un mois de retard par rapport aux autres couches.

Au cours de l'été, les échanges thermiques aboutissent à l'isothermie remarquée au niveau végétatif en raison d'un gradient thermique observable au fur et à mesure que l'on se rapproche du sol. Ce gradient serait inverse en profondeur et entraînerait une discontinuité de conduction.

Au cœur de l'été, le niveau important de l'isothermie serait atteint par suite d'un échauffement complémentaire de la végétation souffrant du manque d'eau. Cependant, elle affaiblit la radiation incidente. Il en résulte que la pente du gradient thermique, sous le niveau végétatif, est faible. On constate par conséquent une légère thermo-protection qui est accentuée par la conservation des calories par les horizons inférieurs.

En hiver, les strates existant de part et d'autre de la surface du sol et se maintenant à une température plus élevée réchauffent légèrement l'air froid provenant de l'atmosphère. L'air froid tend à descendre. Il se crée donc une zone stationnaire.

Durant la nuit, des phénomènes opposés ont lieu. Le sol rayonne et se refroidit d'autant plus qu'il est sec. Ce refroidissement se transmet aux couches proches de l'air. Comme l'air froid descend, la stratification thermique se maintient et se traduit par un gradient de températures décroissant. L'inverse a lieu dans le sol. Il se forme donc les zones particulières signalées antérieurement.

Ces types de sols sableux, probablement sous la dépendance du régime hydrique, se réchauffent rapidement en surface au printemps, mais se refroidissent également rapidement en automne tandis que la chaleur superficielle ne diffuse que lentement en profondeur.

L'influence du régime hydrique doit être importante dans ces sols. Les propriétés de l'interzone, conditionnées par l'horizon argileux, peuvent influencer les variations de température des couches avoisinantes. Le phénomène peut être d'autant plus important que le dessèchement des sols sableux est rapide et qu'un sol sec superficiel possède une mauvaise conduction thermique.

IV. — Conclusions générales

A. *D'ordre descriptif*

Exception faite de la strate végétative, les températures moyennes suivent une évolution semblable tout au long de l'année. La strate herbacée atteint un niveau thermique important au printemps et en été mais présente des valeurs relativement semblables à celles de l'horizon rhizosphérique en hiver.

Le maximum estival est atteint à vingt centimètres du sol tandis que le maximum hivernal l'est à vingt centimètres dans le sol.

L'équilibre des températures est atteint au cœur de l'hiver. Les températures diurnes les plus élevées sont atteintes par la strate végétative. Les températures sous abri et à vingt centimètres dans le sol sont fort semblables. Celles des horizons profonds suivent une évolution parallèle.

La croissance des températures, entre le niveau 150 cm et celui de vingt centimètres du sol, est importante en été, mais moins forte en hiver. Les températures nocturnes les plus élevées sont observables dans la zone rhizosphérique. Les minima de l'air sont inférieurs à ceux du sol tout au long de l'année. La diminution des températures depuis l'abri, jusqu'au niveau végétatif est légère en hiver et forte en été.

La régularité des températures nocturnes est plus importante que celle des maxima.

B. *D'ordre pratique*

1. La correspondance des températures diurnes sous abri et de celles de l'horizon rhizosphérique permet l'approximation de l'évolution thermique de cette dernière strate.

Les minima de l'air sont intermédiaires entre ceux relevés à vingt centimètres du sol et ceux de l'horizon profond de soixante centimètres.

2. Les températures diurnes à vingt centimètres du sol restent élevées tout au long de l'année. Par contre, les températures nocturnes y sont les plus basses.

3. Les maxima à vingt centimètres dans le sol sont proches de ceux de l'air, comme nous l'avons déjà signalé. Les minima y sont élevés tout au long de l'année.

4. Les températures relevées à quarante et soixante centimètres de profondeur suivent une évolution identique et subissent des fluctuations relativement faibles.

5. *Il faut souligner la formation de zones de grande importance biologique : en été, les températures diurnes présentent un noyau isothermique de forte température à vingt centimètres du sol ; une zone d'équilibre se remarque en hiver au même niveau.*

Les températures nocturnes présentent une zone isothermique estivale à vingt centimètres dans le sol. Une zone d'équilibre se remarque durant cette période, à vingt centimètres du sol. En hiver, l'isothermie se rencontre au niveau végétatif et une zone d'équilibre se forme au niveau rhizosphérique.

6. L'amplitude journalière de la température de l'air est presque constante tout au long de l'année. Elle est variable dans l'horizon végétatif et presque constante pour les diverses couches du sol.

7. L'échauffement important de la strate à vingt centimètres du sol paraît conditionner les phénomènes thermiques des zones superficielles. Ces échanges calorifiques influenceraient les gradients thermiques du substratum.

8. Les températures concernant une strate intermédiaire entre l'abri et la zone de vingt centimètres (60 cm p. ex.), ainsi que la couche superficielle (5 cm) et profonde (100 cm) du sol devraient être régulièrement déterminées tant en raison de leur importance végétative que pour une meilleure compréhension des phénomènes thermiques.

مدخل لدراسة النظام الحرارى للتربة المغربية 1 - النظام الحرارى للتربة الرملية

يدرس المؤلف فى هذا البحث التغيرات الحرارية المسجلة طوال السنة على أعماق: عشرين وأربعين وستين سنتمترا فى تربة رملية بمحطة التجارب للبحث الزراعى بالرباط. وقورنت هذه الحرارة مع التى سجلت تحت مخبأ وعلى ارتفاع عشرين سنتمترا .

قدمت نتائج المقاييس على ثلاثة أوجه متكاملة :

— التغيرات الحرارية طوال السنة

— التغيرات الحرارية بدلالة العمق

— النظام الحرارى

ويرتكز هذا الاخير على ترتيب النقط المتساوية بدرجة الحرارة تبعاً للخط العمودى وهكذا تتجلى مناطق التوازن الحرارية، مختلفة مع التسجيل تحت المخبأ .

مناطق ثابتة «نواة تساوى درجة الحرارة» حيث الاهمية البيولوجية جديرة بالإشارة .

ان «نواة تساوى درجة الحرارة» الصيفية ومنطقة شتوية ثابتة تعرف اثناء النهار على ارتفاع عشرين سنتمترا. ان «نواة تساوى درجة الحرارة» الصيفية فى عمق عشرين سنتمترا والشتوية على ارتفاع عشرين سنتمترا يمكن ملاحظتهما اثناء الليل مع ان درجات الحرارة الثابتة تعرف من عمق عشرين سنتمترا فى الشتاء وعلى ارتفاع عشرين سنتمترا فى الصيف.

وهناك قوانين أخرى تتحكم فى الفعل العكسى لحرارة الهواء وحرارة التربة قد نوقشت بسرعة، كما أشير الى النتائج العملية .

RÉSUMÉ

Dans le présent travail, l'auteur étudie les variations au cours de l'année des températures relevées à vingt, quarante et soixante centimètres de profondeur dans un sol sableux (R'mel) du Jardin d'Essais de la Recherche Agronomique de Rabat. Ces températures sont comparées à celles enregistrées sous abri et à vingt centimètres du sol.

Les résultats des mesures sont présentés sous trois aspects complémentaires :

- les variations thermiques au cours de l'année ;
- les profils thermiques ;
- le régime thermique.

Ce dernier est basé sur la répartition des isothermes suivant la verticale.

Il se dégage ainsi des zones d'équilibre thermique, distinctes de l'enregistrement sous abri : zones stationnaires et « noyaux isothermiques » dont l'importance biologique est à souligner.

Un noyau isothermique estival et une zone stationnaire hivernale se remarquent durant le jour à vingt centimètres du sol. Un noyau isothermique estival, à vingt centimètres dans le sol, et hivernal, à vingt centimètres du sol, peuvent être observés la nuit alors que des températures stationnaires se remarquent à vingt centimètres dans le sol en hiver et à vingt centimètres du sol en été.

D'autres mécanismes régissant l'interaction des températures de l'air et du sol sont rapidement discutés. Des conclusions d'ordre pratiques sont soulignées.

RESUMEN

Contribución al estudio de las condiciones de temperatura de los suelos marroquíes

I — Régimen térmico de un suelo arenoso (r'mel)

En el presente artículo el autor estudia las variaciones durante el año de las temperaturas registradas a 20, 40 y 60 cm de profundidad en un suelo arenoso del campo de ensayos del centro de investigaciones agronómicas de Rabat, comparándolas con las registradas bajo abrigo y a 20 cm más alto que el suelo.

Se presentan los resultados bajo aspectos complementarios:

- variaciones térmicas durante el año
- perfiles térmicas
- régimen térmico.

Este último está basado sobre la repartición de los isotermos con arreglo a la vertical.

Del estudio de los datos resultan zonas de equilibrio térmico, distintas de las medidas tomadas bajo abrigo: zonas estacionarias y « núcleos isotérmicos », cuya importancia biológica se tiene que subrayar.

Durante el día se observan a 20 cm más alto que el suelo un núcleo isotérmico estival y una zona estacionaria hivernal. Durante la noche se pueden observar un núcleo isotérmico estival a 20 cm de profundidad y hivernal a 20 cm más alto que el suelo, mientras temperaturas estacionarias se notan a 20 cm de profundidad en invierno y a 20 cm más alto que el suelo en verano.

Después de mencionar rápidamente otros mecanismos, que rigen la interacción de las temperaturas del aire y del suelo, el autor insiste sobre algunas consecuencias prácticas.

SUMMARY

Contribution to the knowledge of the thermal conditions of Moroccan soils

I — Thermal status of a sandy soil (r'mel)

Temperature variations are studied during the year at depths of 20, 40 and 60 cm in a sandy soil (r'mel) in the experimental garden of the agronomic research center at Rabat, comparing them with those measured under shelter and at 20 cm above the ground.

The results are shown from three complementary view-points:

- thermal variations during the year
- thermal profiles
- thermal conditions.

The latter are based on isotherm distribution with regard to the vertical. Thus thermal equilibrium ranges become apparent differing from sheltered measurements: stationary zones and « isotherm nuclei » the biological importance of which is to be stressed. A summer isotherm nucleus and a winter stationary zone are observed during the day at 20 cm above the soil. During the night a summer nucleus can be observed at a depth of 20 cm and a winter nucleus at 20 cm above the surface, while stationary temperatures are found at a depth of 20 cm in winter and at 20 cm above the soil in summer.

Other mechanisms determining air and soil temperature interaction are briefly discussed and practical conclusions are emphasized.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

1. BRYSSINE, I. — 1966. Etude sur la dynamique de la microflore de trois types de sols marocains. — Cahiers Rech. Agro., n° 23, INRA, Rabat.
2. CAVALLAR, W. — Schéma des principaux profils pédologiques marocains. — Archives de la St. de Base de Pédologie de la D.R.A., Rabat.
3. DECROUX, J. — 1966. Bilan hydrique dans trois types de sols marocains. — Cahiers Rech. Agro., n° 22, INRA, Rabat.
4. DEMOLON, A. — 1948. Dynamique du sol. — T. I, Dunod, Paris.
5. Direction de la Recherche Agronomique. — Archives de la Station de Base de Bioclimatologie de la D.R.A., Rabat.
6. GESLIN, H. — 1947. Caractérisation des climats locaux. — Rapp. Cong. Int. Pédol. Montpellier, Mai.
7. GRILLOT, G. & G. BRYSSINE — 1949. Contribution à l'étude de l'humidité des sols du Maroc. — Cahiers Rech. Agron., n° 2, Rabat.
8. Institut Scientifique Chérifien — 1958. Annales du Service du Globe et de Météorologie. — T. XVIII, Rabat.
9. Station de Phytoécologie de la D.R.A. — 1967. Carte des étages bioclimatiques (d'après C. BRIGNON et CH. SAUVAGE, 1962). Publiée à l'occasion du Congrès de Pédologie Méditerranéenne, Sept. 1966. Cahiers Rech. Agro., n° 24, Rabat.