

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

C. Baldy; H. Poupon; A. Schoenenberger

LE CLIMAT A ZERNIZA

Novembre 1966 - Février 1969

Vol. 4 - fasc. 1.



1970

I.N.R.F.T. — ARIANA (Tunisie)

LE CLIMAT A ZERNIZA

Novembre 1966 — Février 1969

par

C. Baldy; H. Poupon; A. Schoenenberger

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	3
I. — INSTALLATION DES POSTES	5
1) Mesures sous abri, pluviomètre et anémomètre	
2) Comparaisons climatiques entre forêt et clairière	
3) Observations climatiques réalisées	
II. — ETUDE DES PHENOMENES	8
1) Pluviosité et hygrométeores	8
a — pluviométrie	
b — Nombre de jours de pluie	
c — Hygrométeores; Nébulosité	
2) Les températures	17
a — Sous abri	
b — Dans le sol	
c — Indices actinothermiques	

d — Température du point de rosée (1)	
3) Humidité relative	
4) Les vents au sol	
a — Analyse des totalisateurs Casella	
b — Analyse des enregistreurs : vitesse et direction des vents à 10 m du sol	
5) Humidité du sol	
III. — COMPARAISONS ENTRE FORET ET CLAIRIERE	43
1) Amplitudes thermiques	
2) Minimums absolus hivernaux et estivaux	
3) Les vents au sol	
4) Températures dans le sol en été et en hiver	
5) Comparaisons entre les températures et les humidités dans le sol en forêt et en clairière	
IV. — CONCLUSIONS SUR LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA STATION EXPERIMENTALE DE ZERNIZA	50
RESUME	53
BIBLIOGRAPHIE	54

(1) Pour mémoire, car ce phénomène sera étudié spécialement dans l'article consacré à l'évapotranspiration potentielle.

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'Institut National de Recherches Forestières de Tunisie, un projet intitulé Institut de Reboisement de Tunis et financé par le Fonds spécial des Nations-Unies a été confié à l'OAA-FAO, Division des Forêts et des Produits Forestiers.

Une section d'écologie forestière a été développée au sein du projet, parallèlement à d'autres sections (reboisement, pédologie, techniques forestières, etc...). Elle était destinée entre autres missions à étudier les conditions de milieu intervenant sur la croissance des reboisements de production effectués déjà, et à définir les optimums de plantation (dates, systèmes, espèces). Ces études devaient être effectuées en fonction des conditions écologiques du Nord de la Tunisie.

Pour ce faire, une station mobile d'étude a été installée dans un arboretum de la région des Mogods, sur sol acide à Zerniza.

Les études prévues comprenaient des mesures de croissance en circonférence (dendrographes électriques et dendromètres à vernier) et des mesures d'accroissement des pousses terminales, sur divers eucalyptus et pins.

Afin de pouvoir corrélérer ces études avec les facteurs du climat, on décida d'installer un ensemble de mesures climatiques pour la température, le vent, la pluie, l'humidité de l'air et du sol et l'évaporation, à la fois en forêt et en clairière. Cette double implantation était notamment destinée à comparer les microclimats sous couvert et à découvert, afin d'en tirer des enseignements pour la mise en place des reboisements.

Dans les pages qui suivent, on trouvera l'analyse des appareils utilisés et des mesures effectuées, puis une étude des phénomènes relevés pendant la période considérée, et un essai de comparaison des données. Un essai de synthèse (« Synthèse des résultats écologiques obtenus à Zerniza » par C. Baldy, H. Poupon & A. Schoenenberger (1)), servira de

(1) Ces articles paraîtront dans ce même volume.

conclusion à cette étude, qui sera complétée par d'autres, portant sur l'évapotranspiration « Evapotranspiration potentielles calculées et humidités relatives sous forêt et en clairière à Zerniza » par C. Baldy & R. Durand (1), ainsi que sur les corrélations entre climat et croissance « Etude de la croissance en hauteur et en circonférence de quelques espèces de pins et d'eucalyptus dans l'arboretum » par H. Poupon (1). Parallèlement, les variations de la teneur en eau dans le sol ont été étudiées par nous dans un autre article « Etude des variations de la teneur en eau du sol en fonction du couvert végétal en Tunisie du Nord (Bouyoucos) » par C. Baldy, H. Poupon & A. Schoenenberger (1).

(1) Ces articles paraîtront dans ce même volume.

I. INSTALLATION DES POSTES

Celle-ci a été présentée déjà dans la « Note préliminaire concernant la station expérimentale de bioclimatologie et physiologie de la croissance, installée à Zerniza (Mogods) dans le Nord de la Tunisie » (variétés scientifiques n° 1 — 1969 de l'I.R.T.), dont une description est donnée brièvement ci-après :

Le graphique 1 présente le plan de situation des stations à Zerniza. Elles ont été installées à peu de distance l'une de l'autre : la première est dans une clairière formée par la mauvaise croissance de *Pinus taeda* plantés en situation de coteau. Cette clairière a environ 2.500 m², et elle est située au nord-est du plateau d'*Eucalyptus maideni* dans lequel se trouve la deuxième station climatique, et où sont effectuées des mesures de croissance en diamètre. Au sud-ouest de la clairière, un plateau de *Pinus radiata* est également mesuré; elle est enfin limitée au nord-ouest par des *Pinus brutia* et au nord-est par des *eucalyptus globulus*. Tous ces arbres ont été plantés en 1959-1960.

1) — Mesures sous-abri, pluviomètre et anémomètre

Les deux stations comportent un certain nombre d'appareils identiques :

- un abri anglais en bois à double toit et doubles persiennes, de type standard.

Chacun contient : un thermohygrographe SIAP, un psychromètre selon Assman, de Casella, un thermomètre à maximum et un à minimum de SIAP, et un évaporimètre de Piche.

Dans la station en clairière, on trouve en plus :

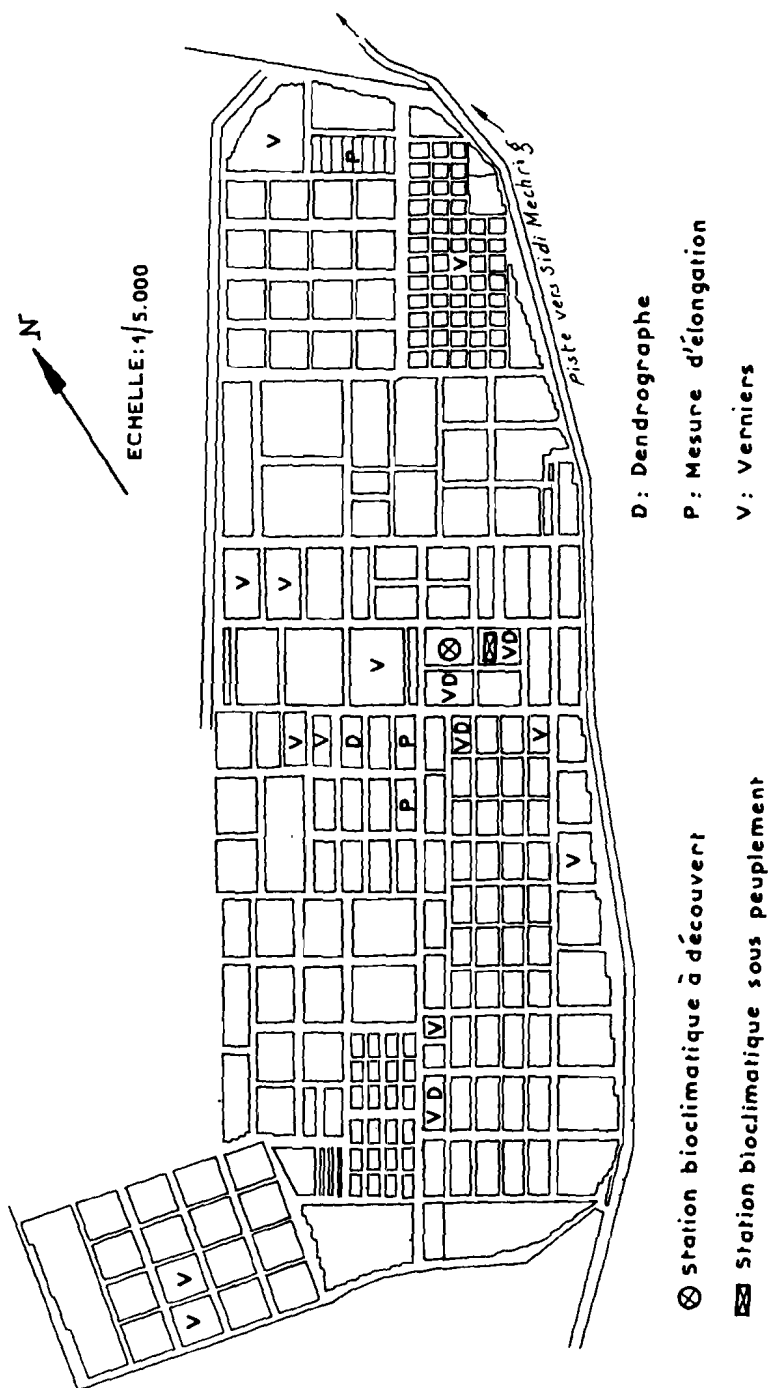
- un pluviomètre type « association » à lecture directe;
- deux anémographes de Lambrecht à 1,50 et 10 m du sol sur pylône;
- une girouette enregistreuse de Lambrecht à 10 m du sol sur pylône.

A proximité des deux abris, un certain nombre d'appareils ont été installés pour avoir des mesures comparatives :

- une série de thermomètres dans le sol de Thermoschneifer :

A 0,5 cm un thermomètre droit gradué de 0,5 à 0,5°C

A 5 et 30 cm des thermomètres coudés à mercure gradués à 0,2°C



Gra. 1 — Plan de situation des stations à Zerniza

A 50 et 100 cm des thermomètres à mercure encastrés dans une boule de cuivre, à forte inertie, placés dans une gaine, et gradués en degrés.

- deux anémomètres (Casella) totalisateurs à 0,50 et 1, 50 m du sol, destinés à mesurer le vent au voisinage du sol;
- des sondes hygrométriques de Bouyoucos (en plâtre et nylon « Soiltest »), dont l'analyse est présentée à part « Etude des variations de la teneur en eau du sol en fonction du couvert végétal en Tunisie du Nord (Bouyoucos) », par C. Baldy, H. Poupon et A. Schoenenberger;
- des thermomètres en indices actinothermiques à minimum ont été placés sur des supports à 20 et 40 cm du sol pour connaître les températures atteintes par la surface du sol la nuit.

2) — Comparaisons climatiques entre forêt et clairière

Tous les appareils cités plus haut ont été mis en place pour mesurer et comparer les éléments du climat dans les deux situations définies. Afin d'en tester la généralité, nous avons installé en outre des thermomètres à indices actinothermiques sous *Pinus radiata* et *Eucalyptus camaldulensis*, et des géothermomètres à 5 et 30 cm sous *Pinus radiata*. Des séries de sondes de Bouyoucos ont été également installées. Les comparaisons faites sur les thermomètres nous ont permis de conclure qu'aucune différence significative n'existait entre les diverses situations abritées, et qu'en conséquence il était inutile d'en faire une analyse spéciale : les phénomènes relevés sous *Eucalyptus maideni* peuvent être considérés comme représentatifs des sous-bois de l'arboretum.

3) — Observations climatiques réalisées

Les lectures ont été faites trois fois par jour pour les enregistreurs, l'évaporomètre, l'hygrographe, le psychromètre, les thermomètres dans le sol et le thermographe. Le minimum thermique était lu le matin, et le maximum le soir, et la pluie relevée matin et soir. Un observateur au moins est resté en permanence à la station de novembre 1966 à mars 1969.

Diverses observations (rosée, ennuagement, tonnerre, rosée blanche, grêle) ont été également faites, et seront étudiées ci-après dans les hygrométéores.

II. ETUDE DES PHENOMENES

Ce chapitre est destiné à présenter de la façon la plus schématique possible les phénomènes climatiques observés au cours de la période de mesure.

1) — Pluviosité et hygrométries

a) *Pluviométrie*

Le graphique 2 résume les pluies. Il a été présenté sous forme de moyennes par pentade, afin de permettre une meilleure vue globale de l'évolution des pluies. On a représenté dans le haut les plus fortes pluies en 24 h pour chaque pentade pluvieuse. Il a paru inutile d'indiquer celles-ci quand elles étaient inférieures à 30 mm en 24 h.

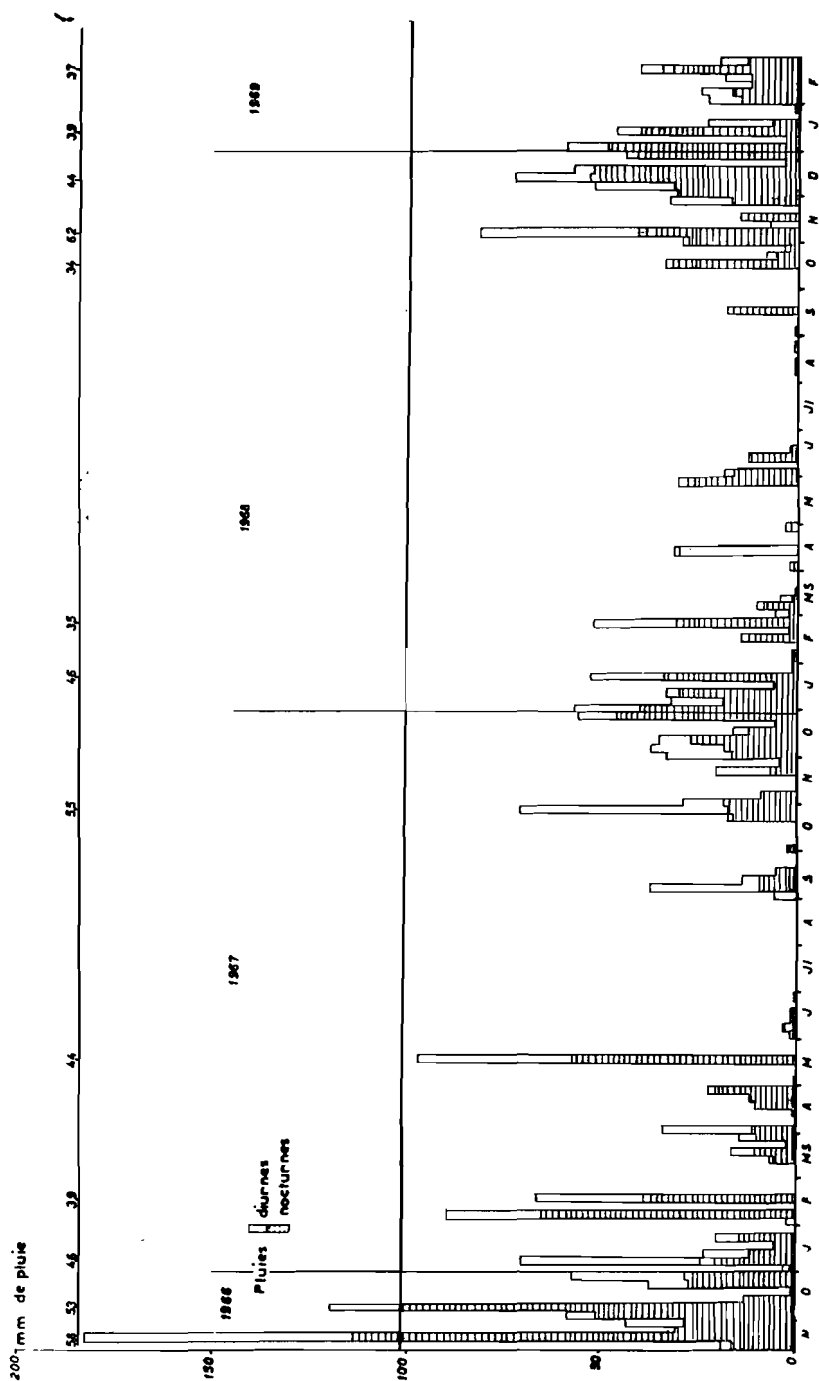
En novembre 1966, les précipitations ont été extrêmement fortes, mais il est à remarquer que leurs valeurs journalières n'ont pas été très élevées : on relève 58 mm en 24 h, mais 184 mm en 5 jours, ce qui représente le 1/5 de la pluviosité totale de 1967. Les pluies se sont produites avec un rythme régulier, et les pluies nocturnes (17 h à 9 h) représentent, comme il est normal, les 2/3 des pluies diurnes : le rythme de chute est donc le même jour et nuit. Il s'agit de précipitations de type océanique, fortes et régulières.

Le tableau 1 résume les pluies *mensuelles*, en séparant pluies diurnes et nocturnes. La pentade du 16 au 20 novembre 1966 représente plus de la moitié du total des 20 jours enregistrés.

Ces très fortes pluies groupées ont eu pour effet de saturer d'un seul coup tout le profil de sol à Zerniza, ainsi que le montrent les sondes hygrométriques. En 1967, au contraire, la répartition des pluies n'a amené cette saturation que tardivement à l'automne : des orages brefs et violents se succédèrent, entrecoupés de périodes chaudes et sèches à climat de type continental. La pluviosité nettement inférieure à celle de 1966 se trouve au printemps, où, dès février, on n'a plus que des pluies éparses en 1968. On en voit les conséquences dans le travail sur les sondes de Bouyoucos.

On constate des orages en août 1968, mais les pluies ne seront abondantes qu'après le 15 octobre, et accompagnées d'une chute de températures très rapide. Les mesures se sont arrêtées en mars 1969.

On remarquera au tableau 2 l'importance des précipitations du quadrimestre hivernal allant de novembre à février.



Gra. 2 — Pluviosité par pentade à Zerniza

TABLEAU 1
Pluies mensuelles à Zerniza

Mois	1966			1967			1968			1969		
	Nuit	Jour	Total	Nuit	Jour	Total	Nuit	Jour	Total	Nuit	Jour	Total
Janvier.....	—	—	—	55	65	120	129	64	193	98	34	132
Février.....	—	—	—	103	54	157	47	24	71	103	36	139
Mars.....	—	—	—	27	12	39	13	9	22	—	—	—
Avril.....	—	—	—	51	26	77	36	1	37	—	—	—
Mai.....	—	—	—	57	40	97	28	3	31	—	—	—
Juin.....	—	—	—	5	1	6	31	3	34	—	—	—
Juillet.....	—	—	—	0	0	0	0	0	0	—	—	—
Août.....	—	—	—	0	0	0	2	0	2	—	—	—
Septembre.....	—	—	—	23	39	62	18	1	19	—	—	—
Octobre.....	—	—	—	36	55	91	42	4	46	—	—	—
Novembre.....	188	87	275*	52	17	69	100	66	166	—	—	—
Décembre.....	220	64	284	124	58	182	212	55	267	—	—	—
Totaux.....	408	151	559	533	367	900	658	230	888	201	70	271

* En 20 jours seulement.

En 1967, on note une prédominance des pluies diurnes sur les pluies nocturnes.

En 1968, la tendance est inverse. La « nuit » représente 16h le « jour » 8h.

Celui-ci représente environ 60 à 70 % du total annuel, le quadrimestre de mars à juin n'en recevant que 20 à 25 %, pour les années observées.

TABLEAU 2

Années	Novembre à février	Années	Mars à juin
1966-67	835 mm	1967	219 mm
1967-68	515 mm	1968	124 mm
1968-69	705 mm		

b) Nombre de jours de pluie

Le nombre de jours de pluie est un autre facteur important à considérer.

Dans le tableau 3, on trouvera, par pentade, cette statistique. On remarque que décembre est le mois le plus pluvieux (18 à 23 jours), suivi par janvier (12 à 19 jours) et novembre (11 à 16 jours).

La répartition des périodes sans pluies notables a été elle aussi analysée. On entend par période sans pluie notable, dans les conditions de climat tunisien, la période de moins de 2 mm en 24 h, sans pluie la veille ni le lendemain. Les périodes sèches de fin d'automne sont très intéressantes pour le forestier : utilisées judicieusement pour les plantations, elles assureront la reprise des arbres, puisque le sol est humectée et a le temps de se ressuyer. Seules des conditions thermiques défavorables (en altitude) pourraient compromettre ce succès, ou encore des pluies diluviennes survenant immédiatement après.

C'est pourquoi l'analyse des périodes statistiquement les plus favorables aux reboisements implique la connaissance des pluies par pentade : mieux que le mois, cette période permet de connaître l'action du climat sur la végétation : vis à vis des températures, elle permet d'éliminer des fluctuations aléatoires peu importantes, tout en préservant l'analyse fine de la situation. On peut ainsi juger de l'action du méso-climat sur la végétation, et extrapoler à la région considérée.

La période estivale sèche est approximativement de 100 jours. On verra dans les études concernant l'humidité des sols, que celle-ci est réduite de 15 à 30 jours grâce aux réserves en eau des sols.

TABLEAU 3
*Nombre de jours de pluie par pentade
et périodes notables sans pluies*

Mois	1966			1967			1968			1969		
	Pent.	Mois	Sèch.	Pent.	Mois	Sèch.	Pent.	Mois	Sèch.	Pent.	Mois	Sèch.
Janvier.....				2 4 4 2 3 0	15	11	4 3 3 2 5 2	19	10	4 2 3 2 0 1	12	
Février.....				1 4 0 3 0 0	8	20	1 1 0 3 3 3	11	10	3 2 2 3 3 2	15	
Mars.....				0 0 3 3 2 2	10		4 4 1 1 0 0	10	19			
Avril.....				2 0 1 2 3 3	11	14	1 0 3 0 0 2	6	13			
Mai.....				1 1 0 5 0 0	7	17	0 0 0 0 0 3	3	27			

Juin.....				1 2 2 2 0 0	7	30	4 0 2 1 1 0	8	10			
Juillet.....				0	0	31	0	0	31			
Août.....				0 0 0 0 0 0	0	31	0 1 1 0 1 0	3	31			
Septembre.....				2 2 2 1 0 0	7	3 =106 15	1 0 0 2 0 0	3	17 =89			
Octobre.....				3 0 0 0 1 4	8	20	0 0 0 1 3 1	5	31			
Novembre.....	4 5 3 4	16		3 2 0 0 3 2	10	13	3 4 1 2 0 1	11	10			
Décembre.....	4 5 2 2 4 6	23		4 3 4 5 1 4	21		1 4 4 3 2 4	18				

c) *Hygrométéores; Nébulosité*

On regroupe ici les notations concernant la nébulosité moyenne, le nombre de jours de rosée, les gelées blanches, les brouillards, grêles et grésils.

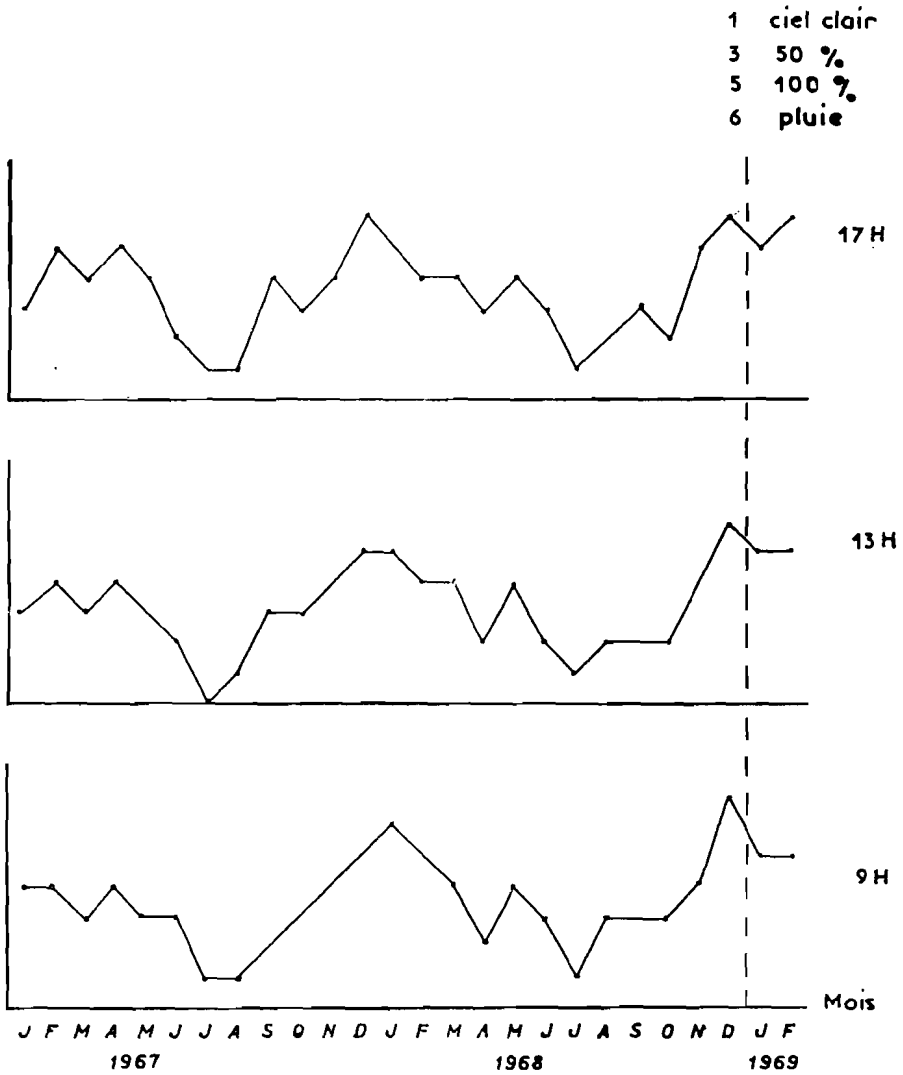
— La nébulosité a été *estimée* trois fois par jour, et le graphique 3 en donne le résumé mensuel à 9 h, 13 h et 17 h. Ainsi qu'on pouvait le prévoir, elle passe par un minimum en juillet - août et un maximum en décembre - janvier. « 4 » signifiant que les $\frac{3}{4}$ du ciel sont couverts en moyenne de nuages pendant le mois considéré, on se rend compte de l'importance de cette couverture en hiver. Elle aura pour conséquence de réduire considérablement le rayonnement global reçu durant cette période, des $\frac{2}{3}$ au moins par rapport aux valeurs astronomiques. « 1 » signifie au contraire que le ciel a été constamment serein durant tout le mois.

— Le tableau 4 résume les jours où on a constaté grêle ou grésil : on peut considérer qu'on a grésil de novembre à février, et grêle les autres mois. Il s'agit d'un phénomène assez fréquent, et ceci se retrouve très généralement en Tunisie, où les précipitations de printemps, d'été et d'automne ont très souvent un caractère orageux. Ceci entraîne un risque non négligeable pour les reboisements, qui peuvent en pâtir gravement.

— Les rosées sont présentées en un graphique résumé, (graphique 4). En 1967, il semble bien qu'il y ait eu confusion dans les notations de pluies et de rosée, car le nombre total de jours indiqué (en y additionnant les jours avec gelée blanche) est très élevé. On constate cependant réellement qu'en automne, hiver et printemps, on a environ 15 jours par mois de rosée. La proximité de la mer rend le phénomène très normal. Même en plein été, ce phénomène ne s'annule pas : on note généralement la présence de rosée après des coups de sirocco, quand le sol surchauffé devient plus chaud que l'air marin survenant en fin de période.

— Les gelées blanches ont été elles aussi notées : elles se produisent à la place de la rosée quand la température du point de rosée devient négative. Le phénomène, fréquent en janvier 1967 est rare en 1968, car le climat, plus sec, lui a rarement permis de se manifester. On constate la gelée blanche sans que le sol atteigne 0°C, sur les feuilles des herbes et petits buissons surtout. Ce phénomène a toujours été passager à Zerniza, en raison de la proximité de la mer et du climat général doux. Il disparaît dès les premières heures de soleil.

— Un dernier phénomène remarquable est le *brouillard*. Compte tenu de la situation en vallée ouverte vers le nord-est,



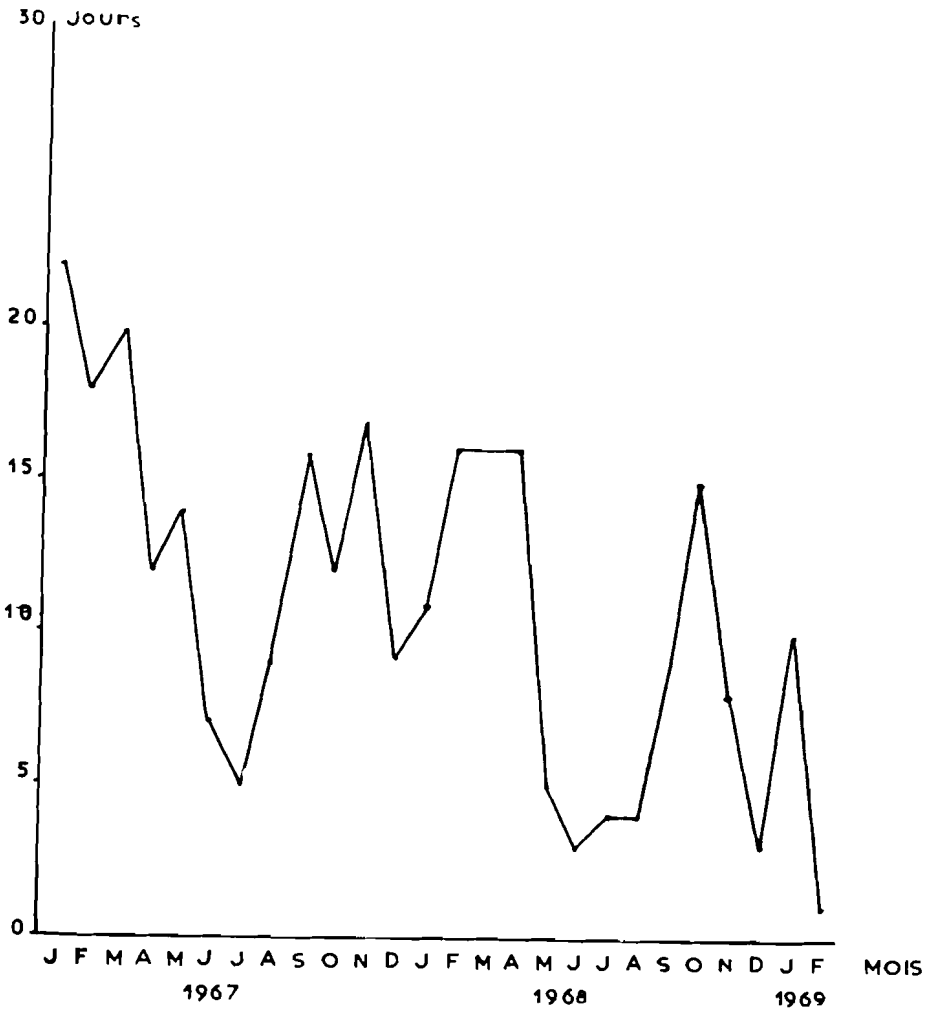
Gra. 3 — Nébulosité moyenne mensuelle

et de la proximité de la mer, on a assez souvent formation de brumes et brouillards à Zerniza d'octobre à mai. Ces formations jouent certainement un rôle dans le bilan hydrique des plantes au printemps et à l'automne.

TABLEAU 4

Hygrométéores

Mois	Gelée blanche au sol			Brouillard			Grêle ou grésil		
	1967	1968	1969	1967	1968	1969	1967	1968	1969
Janvier	7	0	4	4	3	0	2	4	2
Février	2	1	4	2	2	0	0	0	4
Mars	1	0	—	2	0	—	2	0	—
Avril	0	0	—	0	1	—	0	0	—
Mai	0	0	—	1	0	—	0	0	—
Juin	0	0	—	0	0	—	0	0	—
Juillet	0	0	—	0	0	—	0	0	—
Août	0	0	—	0	0	—	0	0	—
Septembre	0	0	—	0	0	—	0	1	—
Octobre	0	0	—	1	0	—	0	0	—
Novembre	0	1	—	0	0	—	0	0	—
Décembre	2	0	—	1	0	—	2	3	—
Année	12	2	8	11	6	0	6	8	6



Gra. 4 — Nombre de jours de rosée par mois

2) — Les températures

Ce facteur a une grande importance en Afrique du Nord : la rencontre des climats océaniques frais et désertiques chaud qui caractérise le bassin méditerranéen entraîne pour conséquence une variabilité extrême des conditions thermiques au cours de l'année, du mois et même de la journée.

Afin de ne pas surcharger à l'excès cette étude, il a paru préférable de présenter l'évolution annuelle des températures

à l'échelle de la pentade, en se réservant d'analyser au chapitre III des périodes particulièrement intéressantes jour par jour.

a) *Températures sous-abri*

Le graphique 5 résume l'évolution de ces températures. Les maximums et minimums moyens par pentade sont présentés en trait plein. On voit nettement apparaître la grande fluctuation du phénomène : la moyenne des maximums par pentade peut varier de 12°C en 5 jours (mai 1967 par exemple).

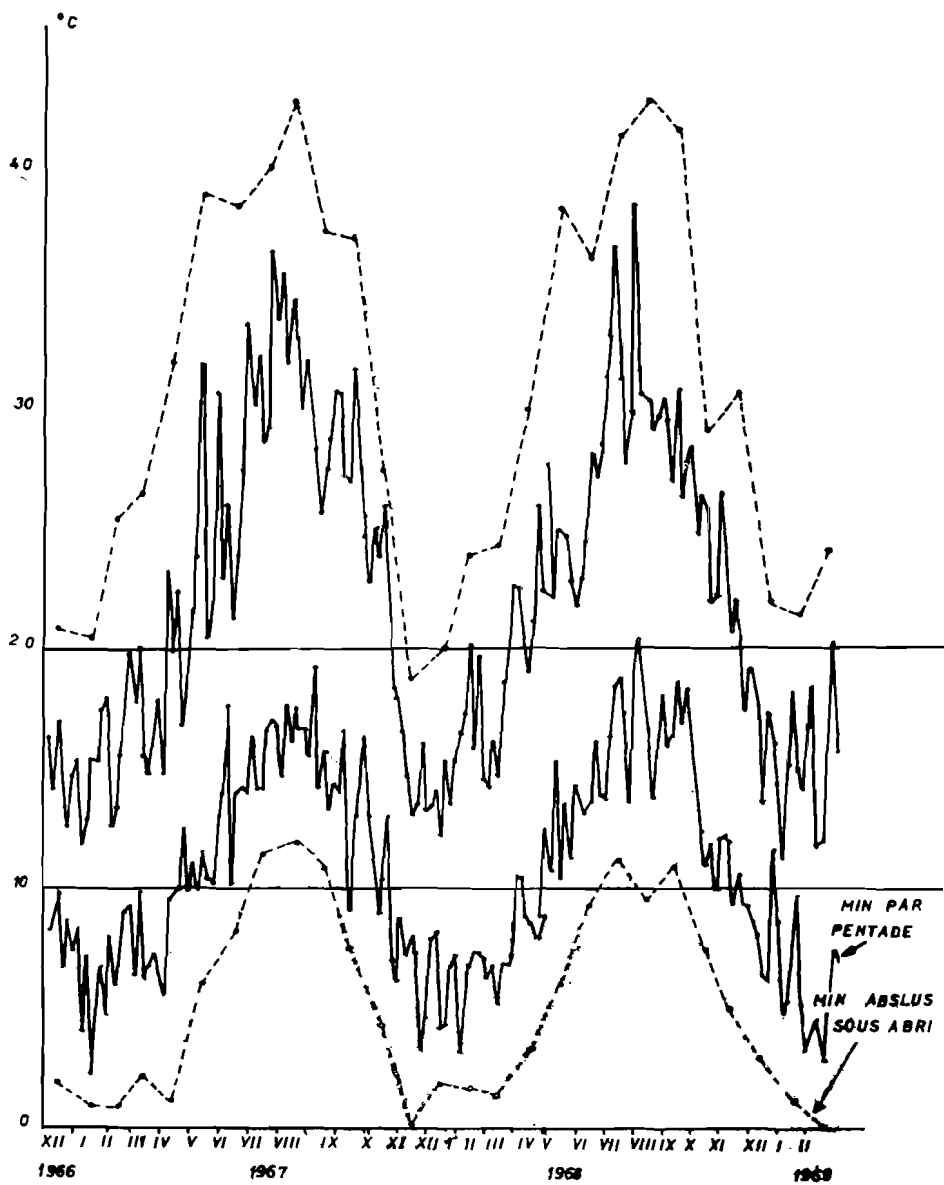
Le climat est assez stable de novembre à février : cette période, nous l'avons vu, correspond aux chutes de pluies les plus abondantes, et le climat est nettement océanique : faibles amplitudes, et fluctuations thermiques autour d'une moyenne assez stable. Le printemps s'annonce par des sautes thermiques brutales : ce sont les premiers « coups de sirocco », masses d'air advectives d'origine saharienne, qui se traduisent par de fortes amplitudes nycthémérales. Ce phénomène est particulièrement notable en avril - mai 1968.

L'été est caractérisé par des fluctuations importantes des maximums ; ces fluctuations sont plus marquées que celles des minimums. L'influence continentale est forte le jour, mais la nuit la brise de mer vient tempérer les variations. Les coups de sirocco se traduisent par de fortes pointes des maximums et des amplitudes.

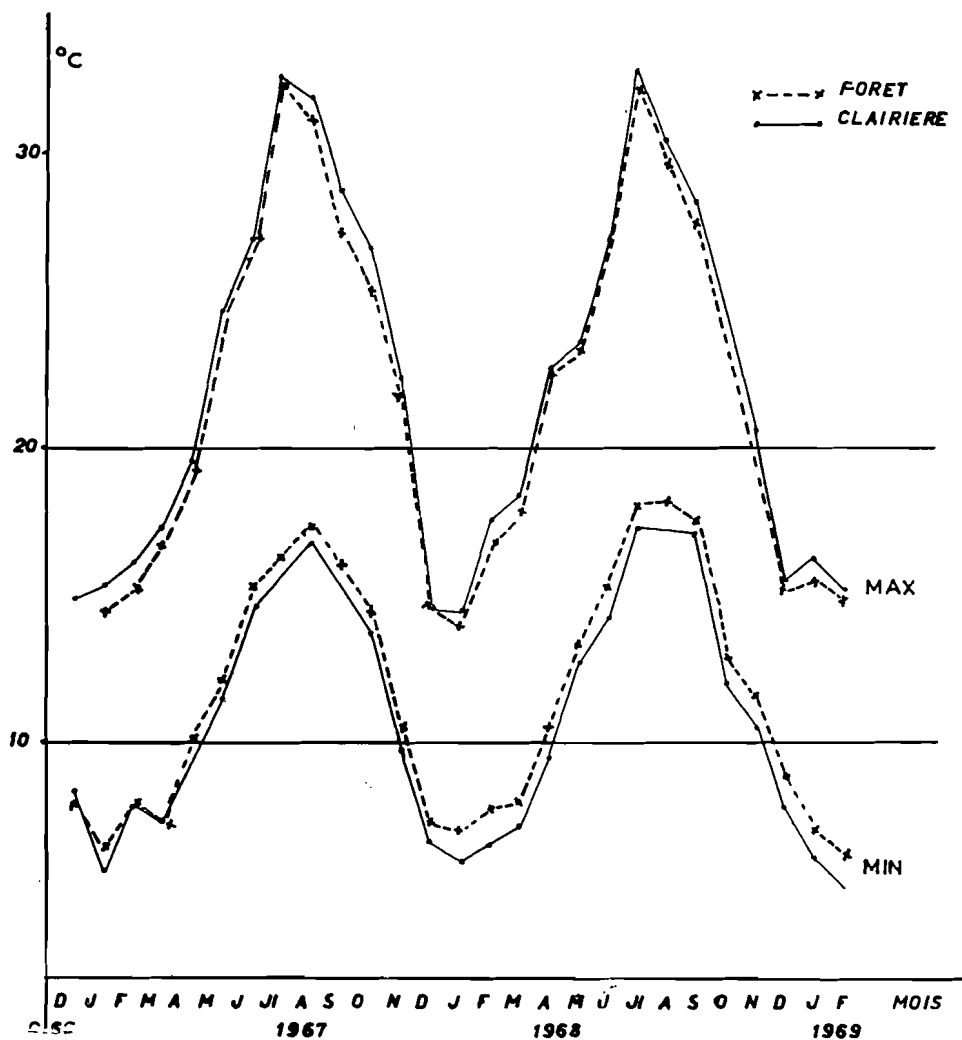
Les maximums absolus de chaque mois sont indiqués en pointillé, comme aussi les minimums. On voit que ceux-ci se produisent surtout en août qui, sans être le mois le plus chaud, supporte les plus fortes poussées thermiques.

Les maximums absolus mensuels sont généralement supérieurs à 20°C toute l'année (19° en décembre 1967). Les minimums absolus descendent assez bas : sans avoir jamais relevé de température sous-abri négative, on s'en approche chaque hiver (décembre 1967, février 1968). Il est cependant notable que ces températures ne se sont pas traduites par des indices actinothermiques négatifs, car le temps était couvert : il s'agit de masses d'air froid, et non de gelées de rayonnement. Les minimums absolus ne dépassent pas 12°C en été, où ils présentent une remarquable stabilité.

Le graphique 6 présente les moyennes mensuelles des maximums et minimums en forêt et en clairière sous-abri. L'effet d'amortissement thermique dû à la forêt apparaît nettement : les températures sont peu différentes, mais toujours nettement décalées.



Gra. 5 — Températures sous abri à Zerniza, en clairière



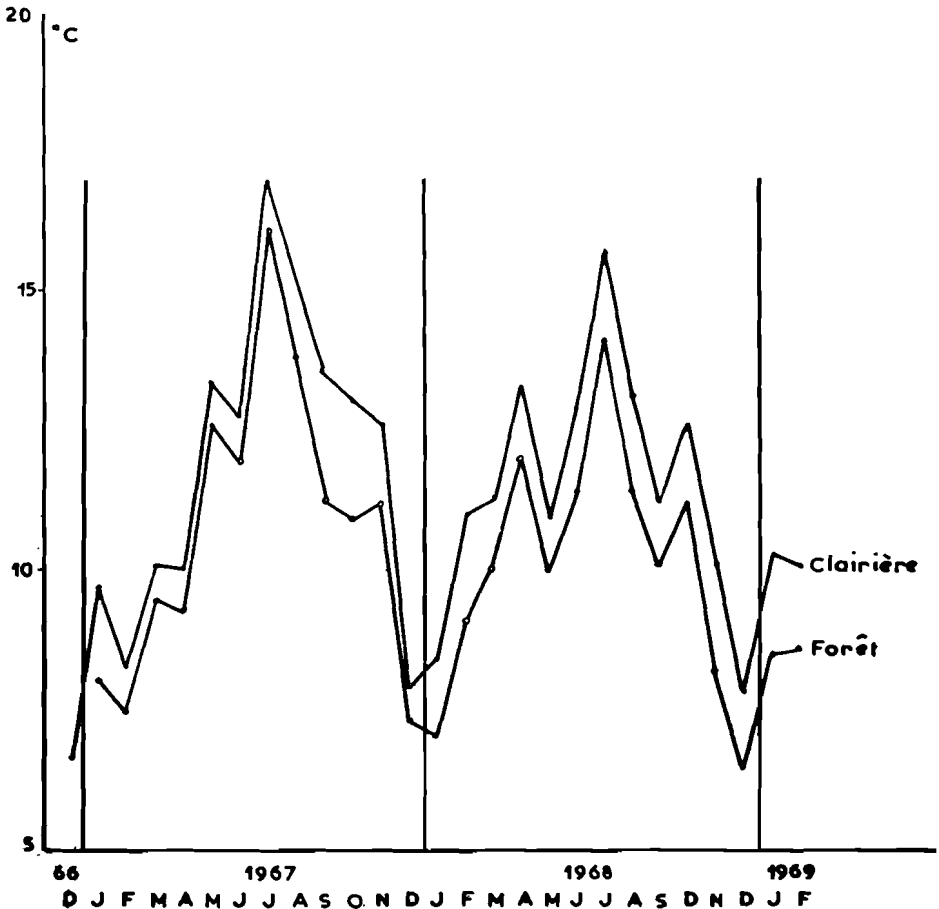
Gra. 6 — Températures moyennes mensuelles maximales et minimales en forêt et en clairière.

Les températures moyennes mensuelles en forêt et en clairière apparaissent au tableau 5. Cette donnée n'a guère d'intérêt physique, mais elle permet de comparer rapidement des stations, et est utilisée dans les calculs de formules. Les écarts sont peu importants à l'échelle des moyennes, car elles compensent les maximums et les minimums. On peut estimer à 17°C la moyenne annuelle à Zerniza.

TABLEAU 5

Mois	1966		1967		1968		1969	
	Clairière	Forêt	Clairière	Forêt	Clairière	Forêt	Clairière	Forêt
Janvier.....	—	—	10.3	10.3	10.2	10.6	10.7	10.9
Février.....	—	—	11.8	11.6	11.7	11.9	10.3	10.8
Mars.....	—	—	12.2	12.1	12.2	12.4	—	—
Avril.....	—	—	14.6	14.7	15.6	16.0	—	—
Mai.....	—	—	18.1	18.4	18.4	18.4	—	—
Juin.....	—	—	19.9	20.4	20.3	20.9	—	—
Juillet.....	—	—	23.7	24.1	25.1	25.1	—	—
Août.....	—	—	24.6	24.5	23.8	23.9	—	—
Septembre.....	—	—	22.0	21.8	22.7	22.7	—	—
Octobre.....	—	—	20.4	19.9	18.3	18.4	—	—
Novembre.....	—	—	16.0	16.1	15.5	15.7	—	—
Décembre.....	11.6	10.3	10.6	11.0	12.3	12.5	—	—
Moyenne.....			17.0	17.1	17.2	17.4	—	—

Sur le graphique 7, on a représenté les amplitudes thermiques moyennes mensuelles en forêt et en clairière; l'examen de ce graphique permet de voir l'importance des fluctuations d'amplitude entre l'été et l'hiver : celle-ci est voisine de 8 ou 9°C en hiver, de 16 ou 17°C. en été. En valeurs journalières, elles peuvent atteindre 30°C en 48 h.



Gra. 7 — Amplitudes thermiques, moyennes mensuelles en forêt et en clairière

La superposition des graphiques concernant la forêt et la clairière permet de mettre en évidence l'action modératrice du couvert : à des maximums moins élevés correspondent des minimums moins bas, ce qui réduit notablement l'amplitude, la température moyenne restant semblable. On peut ainsi avoir jusqu'à 2,5°C de différence d'amplitude à l'automne.

b) *Températures dans le sol*

Ce facteur très important est à notre avis trop souvent négligé. La température de l'air, éminemment variable d'une situation à une autre, est très importante; mais la température du profil de sol conditionne la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante puisque les produits de solubilité évoluent avec la température, ainsi que la vitesse d'absorption des différents ions et de l'eau par les racines. C'est pourquoi nous avons porté un effort particulier à Zerniza sur ce sujet.

Pour simplifier encore, nous ne présenterons ici que les deux séries complètes à 0,5 cm et 100 cm dans le sol, qui constituent d'ailleurs les extrêmes des relevés.

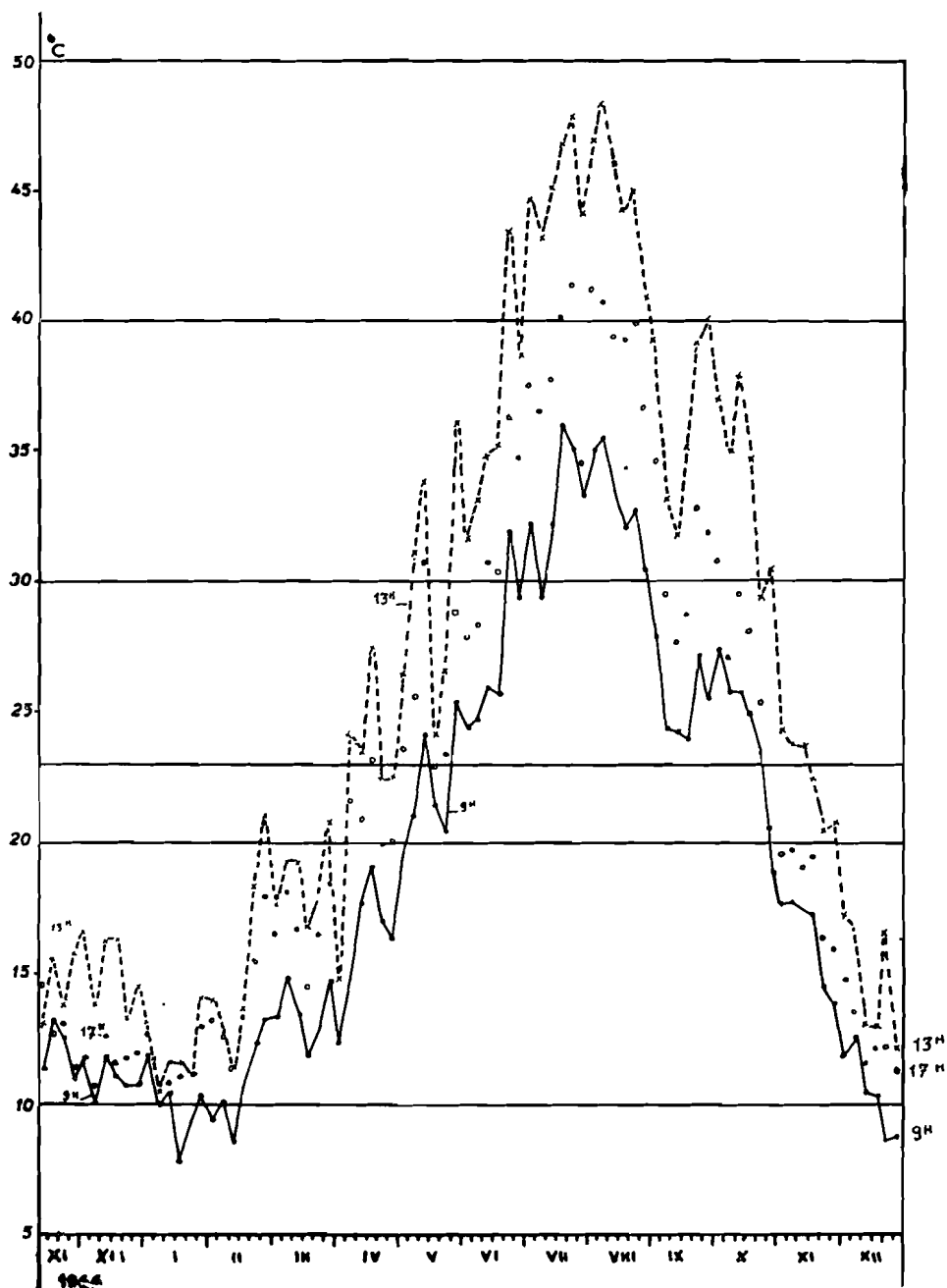
— En clairière : cette donnée est à comparer avec la température sous-abri; les maximums relevés à 13 h correspondent à peu près aux maximums sous-abri, et on constate qu'ils sont assez semblables en hiver, et très différents en été, où la température au sol atteint couramment 48°C. On verra au chapitre III que des températures atteignant 56°C ont été enregistrées. Ces valeurs très élevées sont atteintes en sol sec, et le flux thermique se fait mal vers la profondeur, mais l'écart entre forêt et clairière est considérable.

— En forêt : les températures hivernales oscillent autour de 10°C, atteignant à peine 30°C en été sur les moyennes des pentades, sans que les maximums absolus soient bien différents; l'amplitude thermique constatée entre 9 h et 17 h est faible; afin de rendre le graphique plus lisible on n'a pas reporté 13 h qui se confond le plus souvent avec 17 h. Le maximum semble donc décalé dans l'après midi, vers 15 h, par rapport à la clairière.

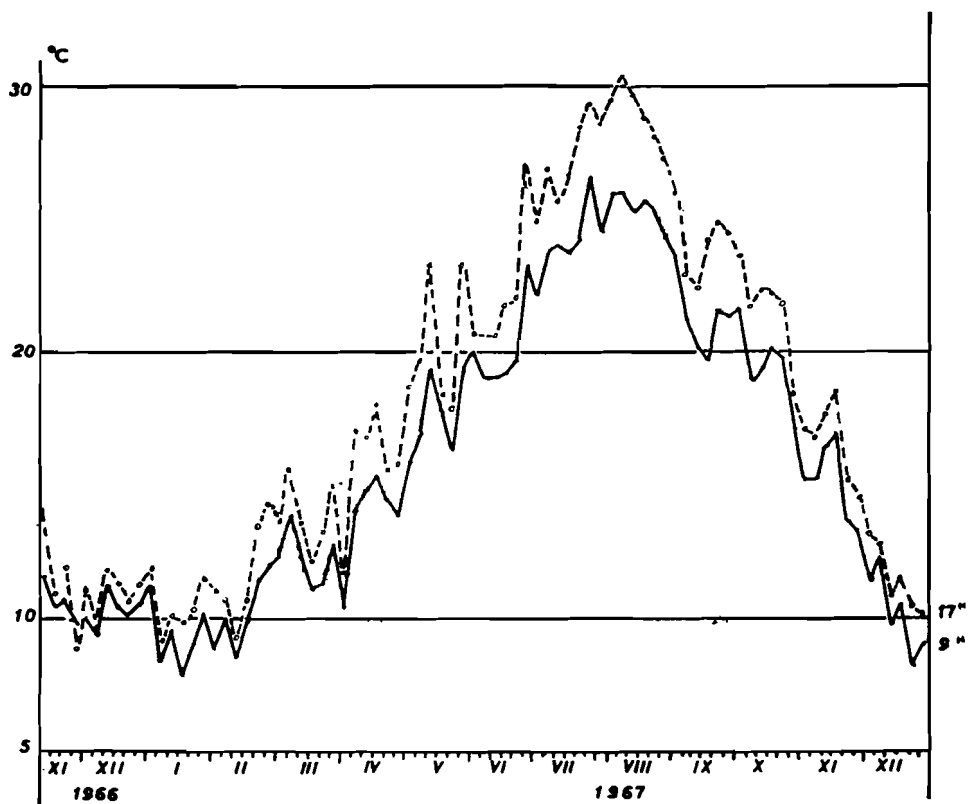
Les différences de températures au sol entre forêt et clairière atteignent couramment 15°C pour une même heure d'observation et un même jour.

Les données en forêt et en clairière pour une même année sont reportées sur le même graphique, afin de rendre la comparaison plus aisée. Une seule donnée par jour (9 h) est représentée, car les fluctuations thermiques à 1 m sont imperceptibles à l'échelle de la journée.

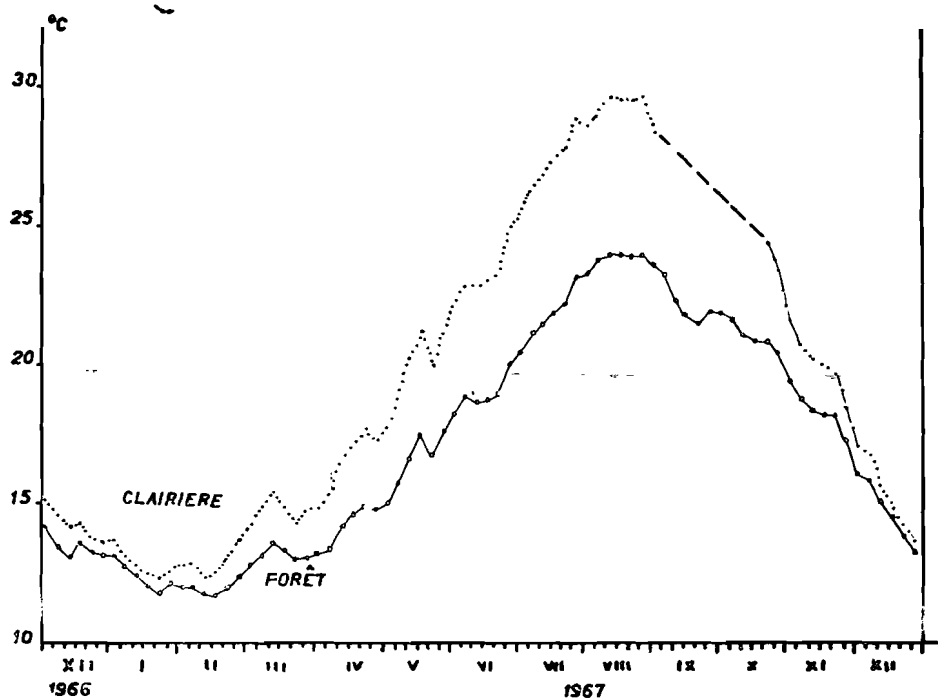
Les différences entre forêt et clairière sont presque nulles en hiver, encore que la température du sol sous forêt est plus basse de 1° environ. En été la différence devient considérable : 5 à 6°C.



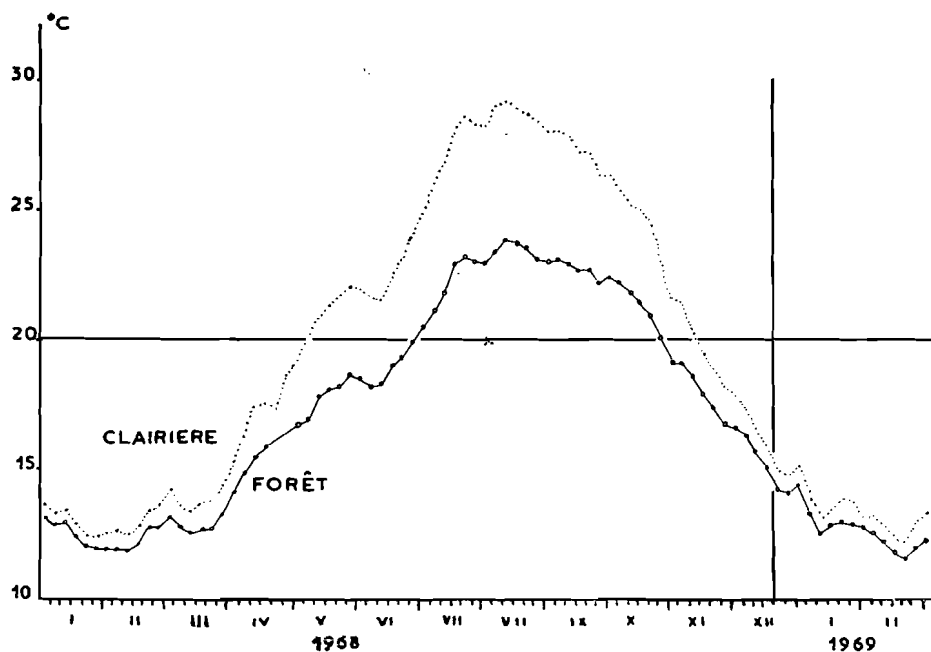
Gra. 8 — Températures en clairière à 0,5 cm dans le sol; moyennes par pentade à 9, 13 et 17 h.



Gra. 9 — Températures sous forêt à 0,5 cm dans le sol à 9 h et 17 h
Zerniza 1966-1967.



Gra. 10 a — Températures à 1 m dans le sol; moyennes par pentade, 1966-1967.



Gra. 10 b — Températures à 1 m dans le sol; moyennes par pentades 1968-1969

La régularité des températures relevées à 1 m du sol permet d'analyser avec beaucoup de détail l'évolution thermique annuelle. On constate que la température du sol est plus élevée (3°C) en moyenne annuelle en clairière. Ceci mesure l'erreur d'appréciation qu'on ferait en ne mesurant qu'une situation. On notera aussi la régularité remarquable de l'évolution de la température du sol d'une année à l'autre. C'est à peine si on peut noter quelques variations à l'échelle mensuelle.

Des variations brusques et synchrones des températures dans les deux situations sont à remarquer : il s'agit de pluies tardives au printemps réhumectant le profil et réhomogénéisant celui-ci. Le flux de chaleur normalise rapidement ensuite la situation. La chute thermique automnale est très rapide quand les fortes pluies caractéristiques commencent à tomber, puis le sol saturé d'eau en hiver présente une très grande stabilité, entre 12 et 14°C. On notera la liaison existant entre pluviosité et température du sol : (1966-1967 a été très pluvieux, et la température hivernale s'est prolongée jusqu'en avril, tandis qu'en 1967-1968, la remontée thermique est notable dès mars).

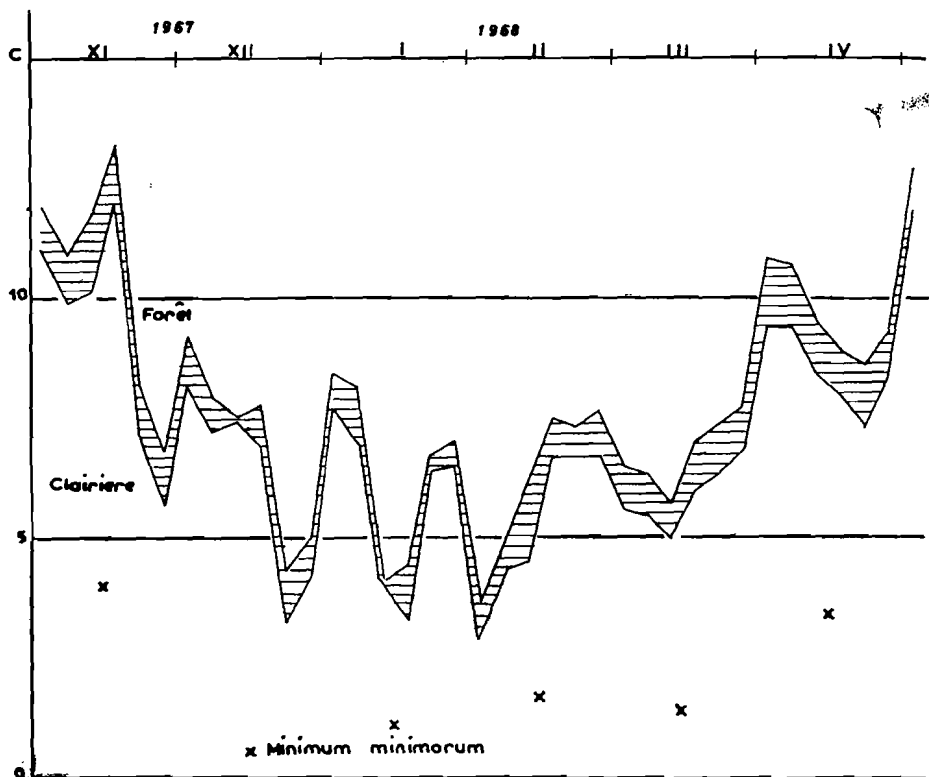
c) Températures minimales en indices actinothermiques

On désigne ainsi l'indication fournie par un thermomètre à minimum placé sur un support horizontal et exposé directement au rayonnement nocturne.

Toujours dans le but de ne pas surcharger à l'excès cette étude, nous présentons la comparaison des températures minimales ainsi mesurées de novembre 1967 à avril 1968 et de juin à septembre 1968, ce qui correspond à l'ensemble des phénomènes notables relevés. Les températures en forêt et en clairière sont données comparativement.

On constate, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, que l'abri forestier réduit considérablement les minimums en indices actinothermiques. Par temps couvert, la différence est généralement faible, plus élevée par temps clair.

Le minimum minimorum atteint pratiquement 0°C à 40 cm, et on a noté alors la présence de gelée blanche. Mais à l'échelle de 5 jours, le risque d'avoir moins de 3°C est presque nul. La comparaison avec les températures sous-abri permet de constater le bon accord des différentes mesures. Par temps clair, les indices actinothermiques en clairière peuvent être inférieures de 3 à 5°C aux températures sous abri, mais la différence s'annule par temps couvert.



Gra. 11 — Températures minimales en indices actinothermiques à 40 cm; moyennes par pentade hiver 1967-1968 et minimum absolu.

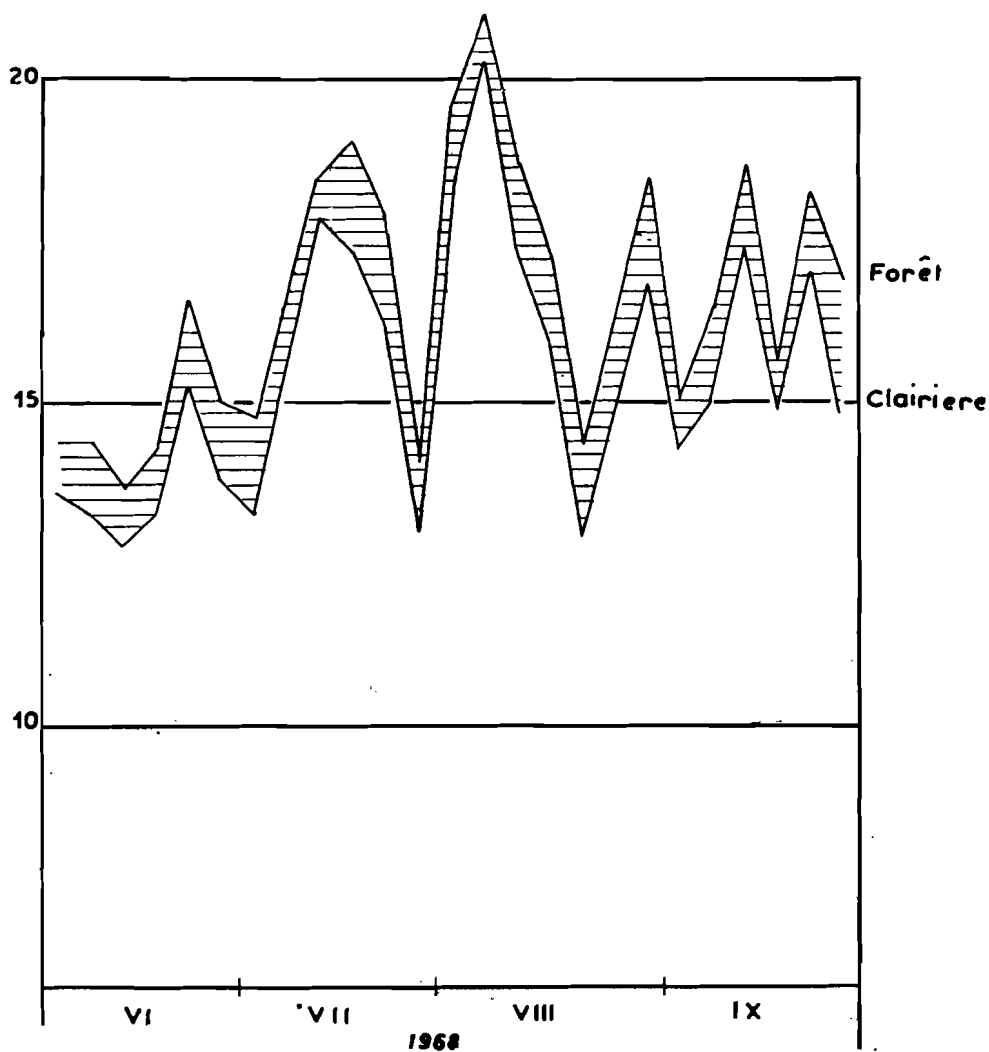
3) — Humidité relative

Dans l'article qui sera spécialement consacré à l'étude de l'évapotranspiration potentielle (1), on reprendra sous une forme plus détaillée ce problème, sous l'angle des températures du point de rosée en particulier.

L'analyse des données d'hygrographes permet cependant quelques remarques : l'humidité relative est généralement très élevée la nuit, et ceci correspond à l'influence marine et aux fortes amplitudes nycthémérales.

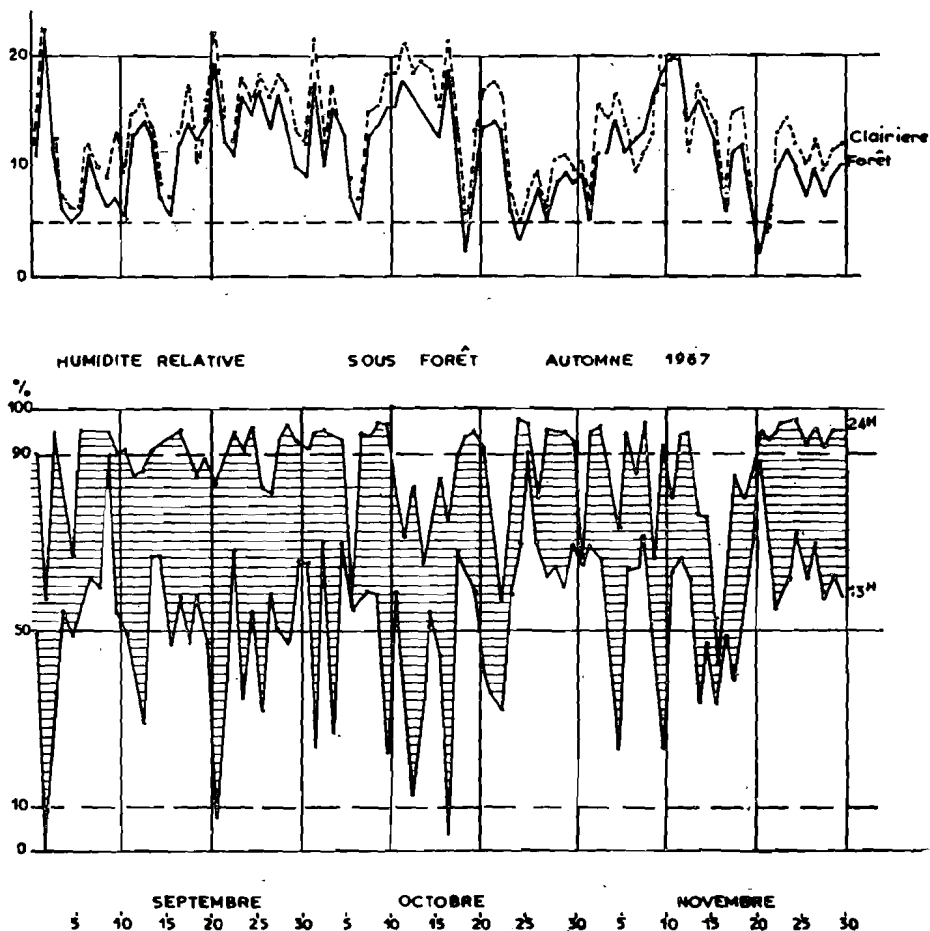
Il a paru intéressant de montrer l'évolution du phénomène au cours de l'automne 1967.

(1) Dans ce même volume,



Gra. 12 — Températures minimales en indices actinothermiques à 40 cm; moyennes par pentade, été 1968.

Un fort coup de sirocco est survenu début septembre : amplitude thermique 23°C , humidité relative maximale de 64 %, et minimale non mesurable. Cette masse d'air saharien a été remplacée par une autre, marine ensuite : la température n'oscille plus que de moins de 10°C et l'humidité reste forte tout le jour. Des pluies se produisent alors. Ce type de



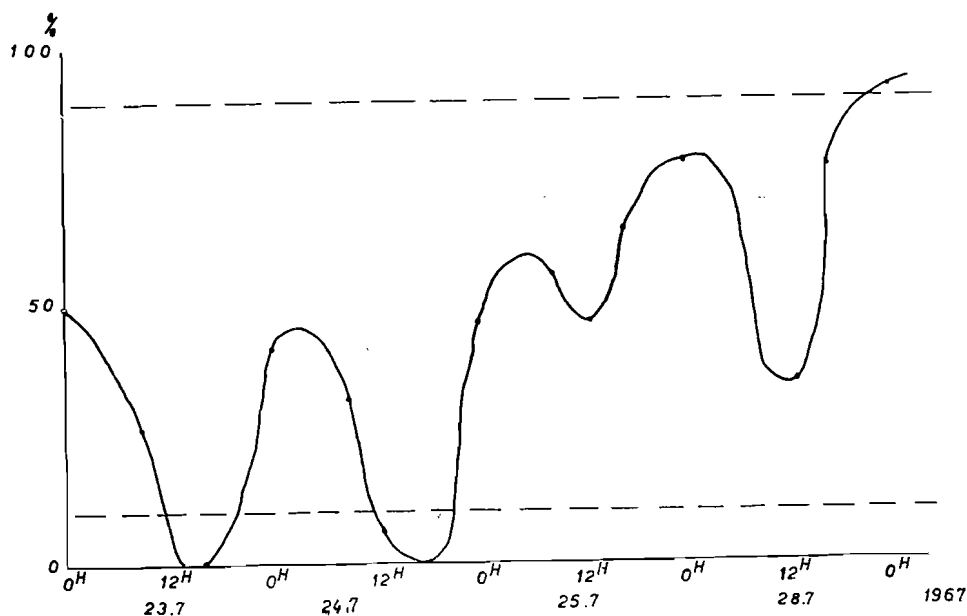
Gra. 13 — Amplitudes thermiques journalières

temps dure jusqu'au 13, où un temps de type continental réapparaît. Le 21, nouveau coup de sirocco, qui ne dure qu'une partie de la journée (l'humidité relative nocturne reste élevée).

Le graphique permet d'observer aisément qu'à chaque forte amplitude thermique correspond une forte chute de

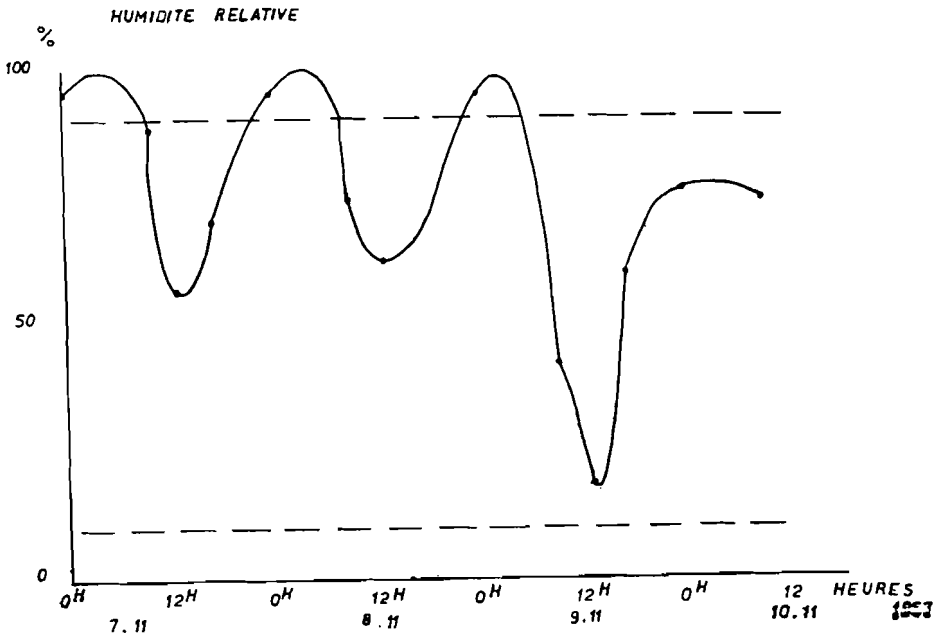
l'humidité relative : la teneur en vapeur d'eau de l'air varie assez peu, dans une masse d'air donnée, et en conséquence l'humidité relative varie, en première approximation comme l'inverse de la température.

Fin novembre, on voit apparaître le régime hivernal; humidité régulièrement supérieure à 60 %, et saturante vers 6 h du matin. Sur le graphique 14 a et b, on a représenté l'évolution des humidités relatives au cours de périodes caractéristiques : sirocco, et régime atlantique.



Gra. 14 a — Humidité relative par temps marin, novembre 1967

Les variations au printemps et à l'automne sont assez semblables, et en été on peut avoir de longues périodes à humidité relatives élevée. On le verra mieux dans l'article consacré à ce sujet « Etude des variations de la teneur en eau du sol en fonction du couvert végétal en Tunisie du Nord (Bouyoucos) par C. Baldy, H. Poupon et A. Schoenenberger.



Gra. 14 b — Humidité relative pendant un sirocco, juillet 1967

4) — Les vents au sol

a) Les vents moyens enregistrés aux totalisateurs Casella

Quatre anémomètres à compteur totalisateur ont été installés dès novembre 1966 : 2 en clairière, et 2 en forêt, respectivement à 0,50 et 1,50 m du sol.

Le tableau 6 résume quelques valeurs caractéristiques relevées dans les quatre situations. On constate, comme il semblait logique, que les vents à 0,50 m en clairière sont moins élevés qu'à 1,50 m. En forêt, par contre, les deux valeurs sont pratiquement identiques. L'absence de couverture du sol permet au vent de circuler assez librement à ras de terre, alors qu'à 1,50 m, les basses branches le freinent relativement. Ceci est important pour les lisières forestières, et nous reverrons la question au chapitre III.

TABLEAU 6

Vents moyens par 24 h. Moyennes par pentades

Comparaisons entre forêt et clairière à 0,50 et 1,50 m

Différences entre mesures à 0,50 et 1,50 m et entre mesures sous forêt

Extrêmes atteints au cours des mesures présentées.

Mois	0 m 50			1 m 50			Forêt	Clairière		Vitesses en km/h
	Cl.	F.	Dif.	Cl.	F.	Dif.	Dif.	Max.	Min.	
Mars 1967										
2- 6	2,9	2,4	0,5	4,2	1,7	2,5	— 0,7	10,9	0,3	
7-11	4,7	2,7	2,0	6,2	2,2	4,0	— 0,5	10,5	4,0	
12-16	5,6	5,6	0,0	8,1	5,4	2,7	— 0,2	17,9	1,6	
17-21	6,5	6,4	0,1	9,8	6,2	3,6	— 0,2	16,4	2,9	
22-26	5,0	4,2	0,8	6,5	3,9	2,6	— 0,3	17,5	3,0	
Juillet										
30- 4	2,7	2,4	0,3	4,7	2,1	2,6	— 0,3	10,0	1,7	
5- 9	3,0	3,8	— 0,8	4,9	3,6	1,3	— 0,2	13,4	0,2	
10-14	3,1	3,2	— 0,1	4,7	3,1	1,6	— 0,1	11,5	1,5	
15-19	2,4	2,4	— 0,0	4,5	2,3	2,2	— 0,1	12,2	1,3	
20-24	3,1	2,3	— 0,8	5,0	2,2	2,8	— 0,1	11,2	1,8	
25-29	2,5	2,2	0,3	4,6	2,1	2,5	— 0,1	9,9	2,3	
30- 3	3,0	3,5	— 0,5	5,9	2,8	3,1	— 0,7	15,2	2,0	
Novembre										
2- 6	3,1	3,4	0,3	5,0	3,3	1,7	— 0,1	10,7	2,9	
7-11	2,1	1,9	0,2	3,4	1,4	2,0	— 0,5	11,8	1,3	
12-16	3,0	2,5	0,5	4,6	2,6	2,0	— 0,1	8,9	0,3	
17-21	2,7	1,9	0,6	3,6	1,7	1,9	— 0,2	5,1	0,3	
22-26	1,7	0,9	0,8	2,4	0,7	1,7	— 0,2	4,7	1,0	
27- 1	2,4	2,0	0,4	3,6	1,7	1,9	— 0,3	9,9	0,5	
Janvier 1968										
1- 5	5,7	6,0	— 0,3	8,7	6,0	2,7	0,0	14,7	0,9	
6-10	6,7	7,0	— 0,3	9,9	6,1	3,8	— 0,9	17,8	6,0	
11-15	6,9	5,9	1,0	10,3	6,6	3,7	0,7	22,1	1,8	
16-20	4,1	3,8	0,3	6,0	3,8	2,2	0,0	17,0	2,3	
21-25	4,1	3,9	0,2	6,0	3,8	2,2	— 0,1	13,9	1,6	
26-30	5,0	4,9	0,1	7,4	5,1	2,3	0,2	15,9	1,1	
Octobre										
2- 6	2,7	2,8	0,1	4,7	2,8	1,9	0,0	9,0	1,7	
7-11	2,2	2,2	0,0	3,8	2,4	1,4	0,2	9,4	1,6	
12-16	2,0	1,8	0,2	3,8	1,9	1,9	0,1	10,2	1,5	
17-21	2,7	2,5	0,2	4,5	2,7	1,8	0,2	8,3	1,6	
22-26	2,4	2,2	0,2	4,1	2,4	1,7	0,2	8,7	0,7	
27-31	2,5	2,4	0,1	4,2	2,6	1,6	0,2	7,4	1,9	

Cl : clairière

F : forêt

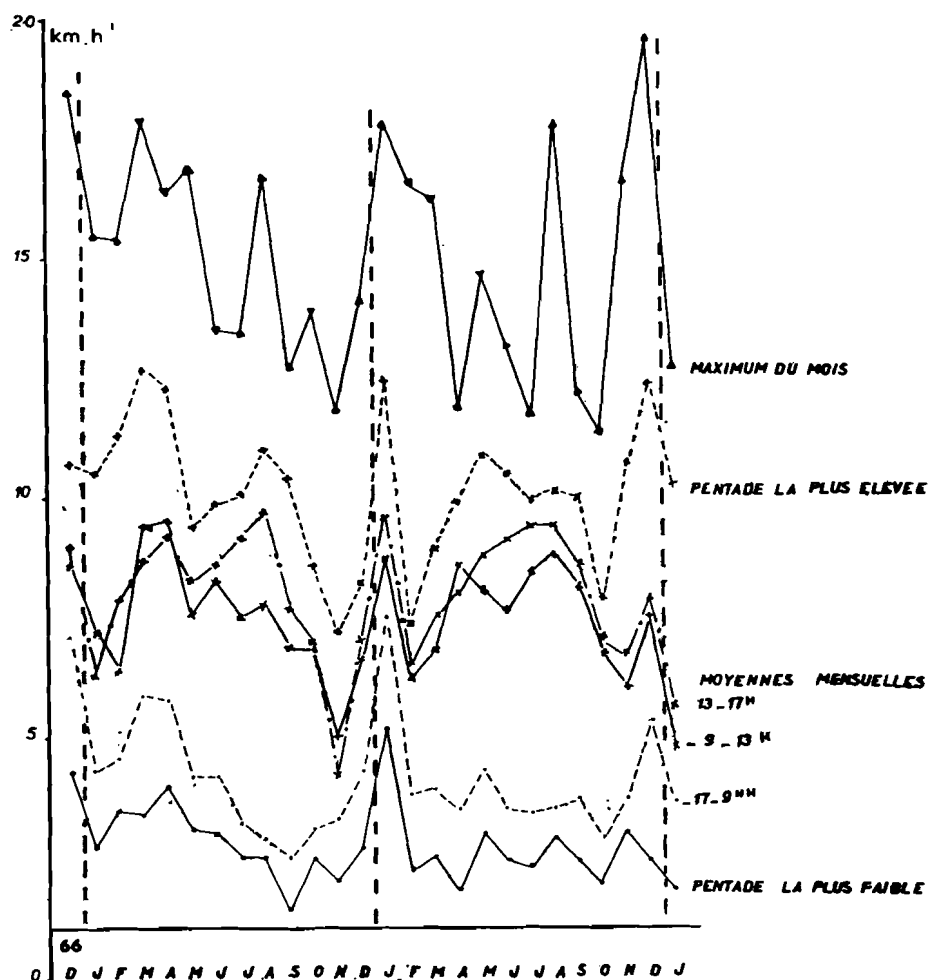
Dif : différence entre les mesures

Forêt Dif. : différence entre les vitesses aux deux niveaux dans la forêt

Clairière Max et Min : vitesses maximale et minimale relevées au cours de la pentade

Le signe — indique que la vitesse en forêt est supérieure à celle relevée en clairière, ou que la vitesse à 0,50 m est plus grande qu'à 1,50 m.

Le graphique 15 caractérise les vents en clairière à 1,50 m. Les vents nocturnes sont généralement plus modérés que les vents diurnes. La moyenne porte sur 16 h, ce qui contribue à réduire l'importance des vents moyens, mais il existe réelle-



Gra. 15 — Vents moyens en clairière à 1,50 m.

ment un vent plus réduit de nuit. Les valeurs les plus faibles enregistrées sont d'ailleurs presque toutes nocturnes.

On relève de grandes variations d'une année à l'autre. On pourra comparer par exemple janvier 1966, 1967 et 1968. Les vents de printemps et d'été soufflent généralement avec

plus de violence que les vents d'hiver, mais de grandes fluctuations annuelles sont à noter. On constate une période de calmes relatifs en septembre et octobre. Il s'agit typiquement du changement de saison, qui s'accompagne de calmes précédant de forts vents d'ouest.

b) *Analyse des directions de vent à 10 m en 1968*

Les vents ont été mesurés en direction à l'aide d'une girouette enregistreuse Lambrecht de mars 1968 à mars 1969.

Le dépouillement systématique des enregistreurs par période trihoraire a été effectué en collaboration avec H. Poupon, et les résultats présentés ci-dessous correspondent à cette période seulement. Il semble cependant qu'ils sont assez représentatifs des grandes orientations régionales du vent.

Des roses des vents, graphiques 16 à 19 par saison ont été tracées : roses moyennes mensuelles de 8 observations quotidiennes, et roses d'heures caractéristiques : 03 h, 12 h et 18 h. Le graphique 20 présente le vent moyen annuel à Zerniza.

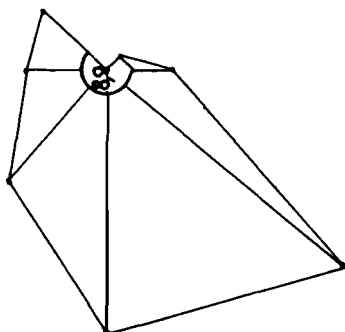
Le tableau 7 des fréquences par direction paru chaque mois, a également été établi.

Le vent dominant très largement vient du sud, le graphique 6 représente la variation de la fréquence en pourcentage de cette direction pour les heures 00 h, 06 h, 12 h et 18 h. Très dominant la nuit (00 et 06 h) il diminue beaucoup le jour (12 h et 18 h) sauf en automne et hiver, où sa fréquence reste élevée.

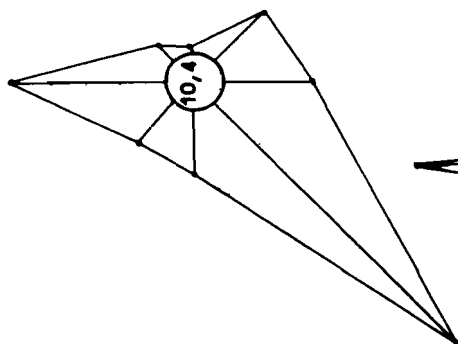
Les graphiques 16 à 19 permettent de voir qu'à 18 h, le secteur nord prend une importance comparable à celle du sud le matin. On a simplement le classique mouvement de brises de terre (du sud) et de mer (du nord) au cours de la journée. Le temps de sirocco se traduit par une disparition de la brise de mer (vents de secteur S à S-W toute la journée) et l'advection marine par la disparition de la brise de terre (vents N. pouvant aller du N-W à l'E et même à l'W). Le plus souvent; on a un balancement qui se traduit par des vents nuls vers 8 h — 9 h et 17 h — 18 h, et des vents diurnes plus forts que la brise nocturne. On trouvera dans les analyses journalières de dendrographes présentées par A. Schoenenberger « Données dendrographiques de la station expérimentale de Zerniza », de nombreux exemples de ce phénomène, dépouillé à l'échelle horaire.

Le secteur sud domine plus des 2/3 du temps, et ce fait est d'importance : l'influence marine est très peu marquée en

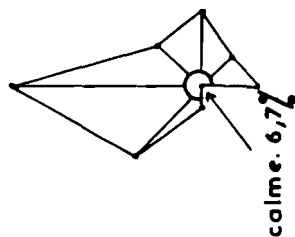
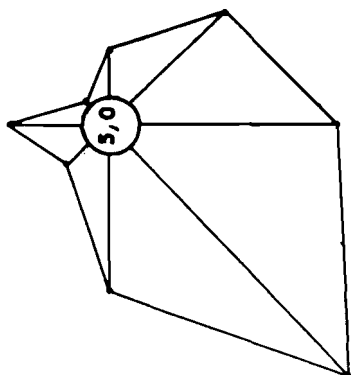
MAI



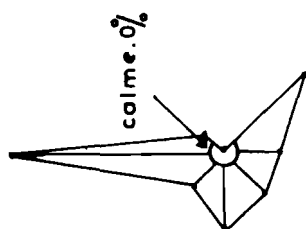
AVRIL



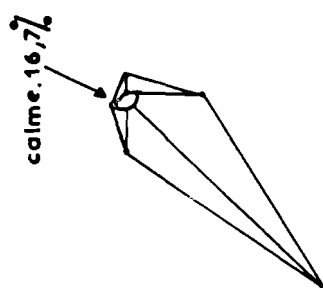
MARS



18h

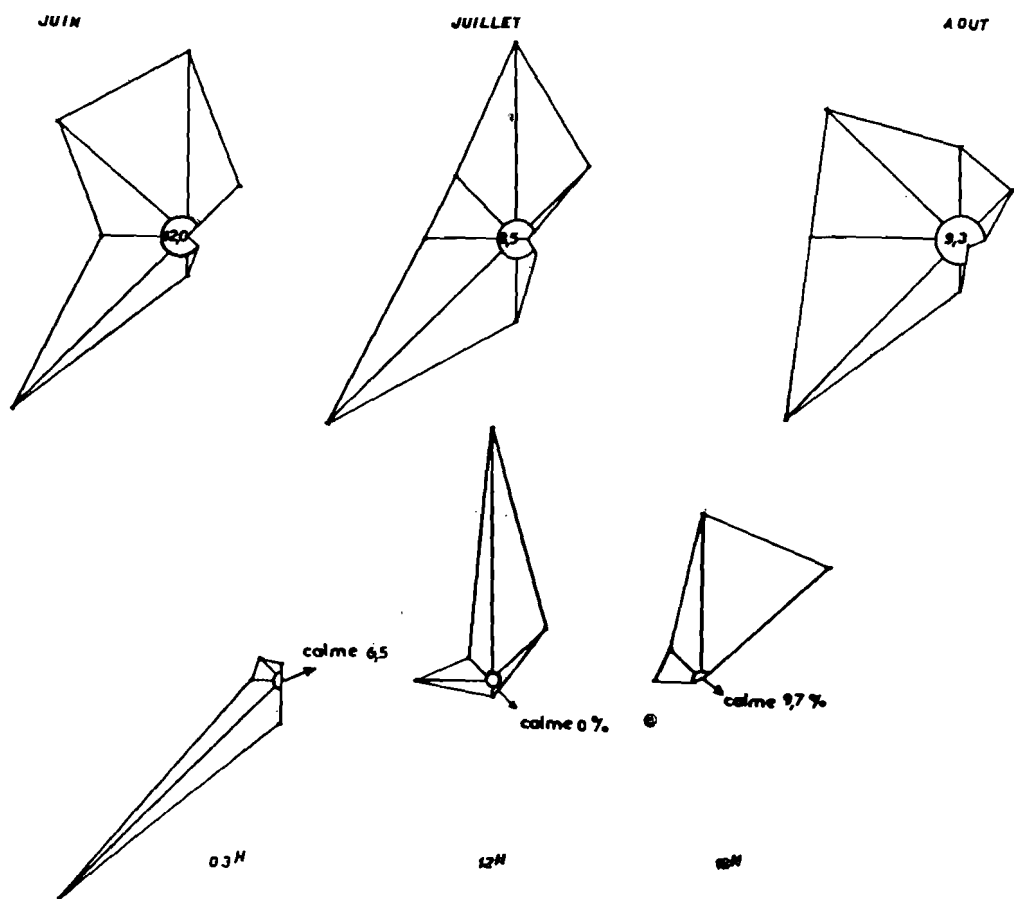


12h



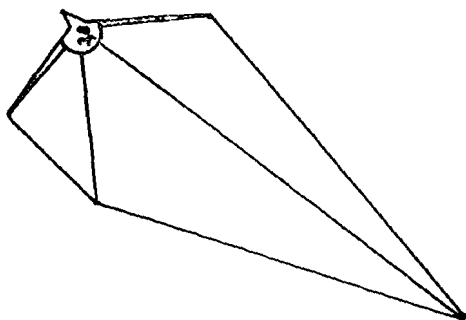
03h

Gra. 16 — Roses des vents à Zerniza

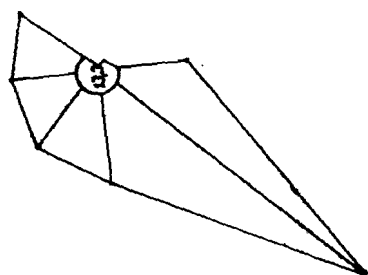


Gra. 17 — Roses des vents à Zerniza

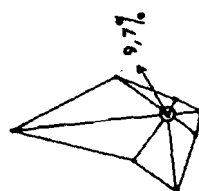
NOVEMBRE



OCTOBRE



18^H



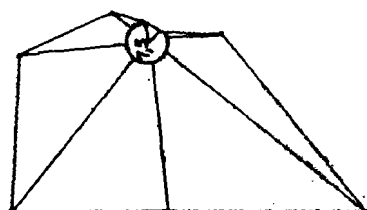
12^H

calme 9.7%

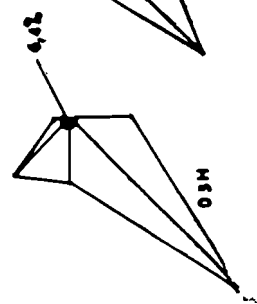
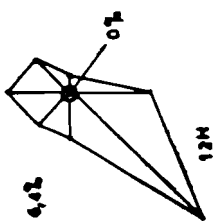
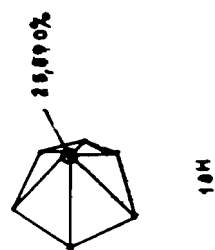
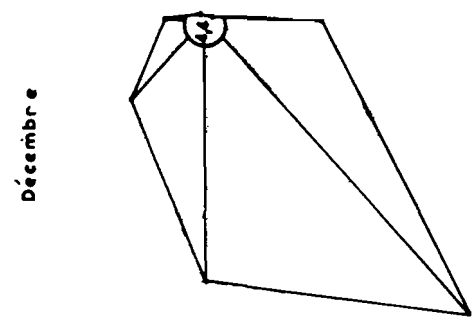
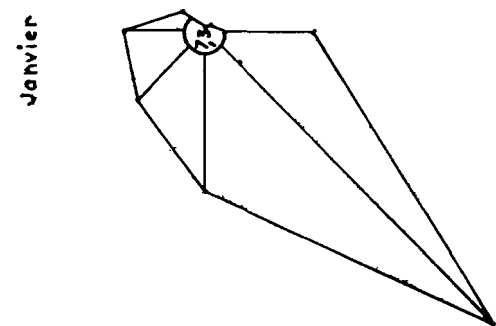
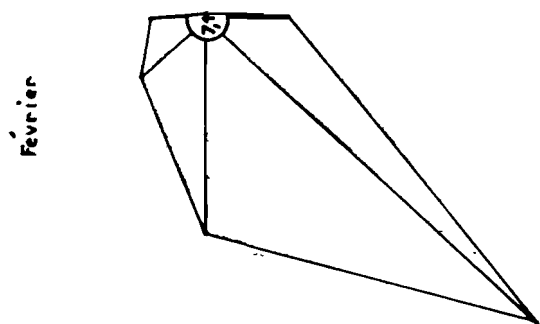


03^H

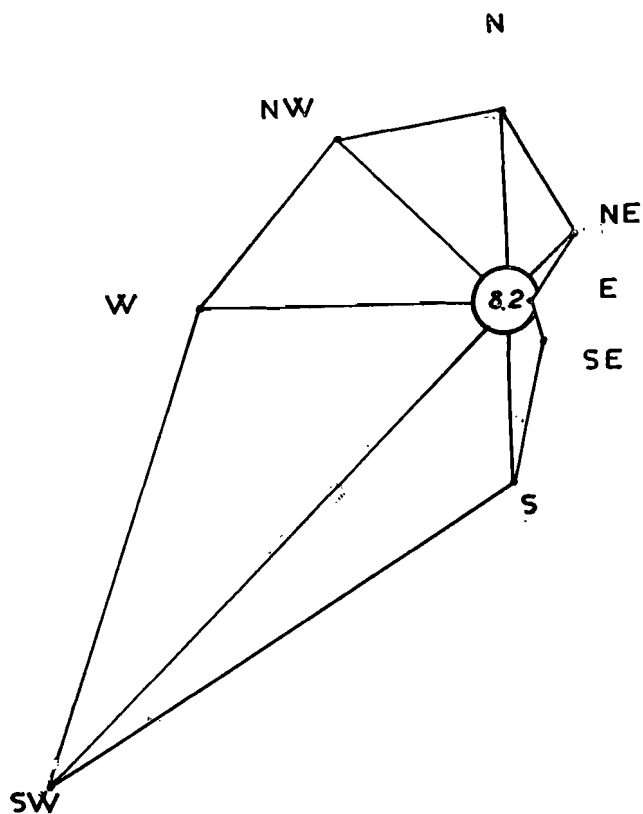
SEPTEMBRE



Gra. 18 — Roses des vents à Zerniza



Gra. 19 — Roses des vents à Zerniza



Gra. 20 — Rose des vents annuelle; moyenne des 8 observations pour les 12 mois du 4 mars 1968 au 2 mars 1969 à Zerniza.

TABLEAU 7

*Fréquences par direction du vent en fonction
du nombre total de données disponibles*

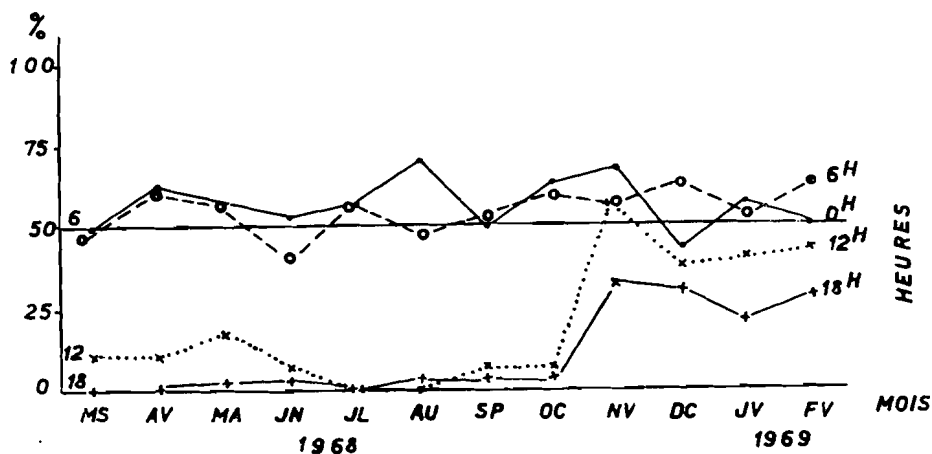
Mois	O	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Total
Mars.....	11	13	11	26	67	41	30	14	6	219
Avril.....	25	39	17	19	78	24	21	7	10	240
Mai.....	22	17	33	58	73	14	10	2	19	248
Juin.....	29	48	45	22	63	10	4	0	19	240
Juillet.....	21	52	23	24	70	23	6	3	26	248
Août.....	23	25	50	40	68	14	2	7	19	248
Septembre.....	18	26	54	42	67	17	2	3	11	240
Octobre.....	33	22	25	30	87	22	2	1	26	248
Novembre.....	9	2	28	44	119	32	1	0	5	240
Décembre.....	11	10	27	67	101	30	1	0	1	248
Janvier.....	18	21	24	41	106	28	2	1	7	248
Février.....	16	12	20	51	104	19	0	1	1	224
Mars.....	3	2	0	1	5	4	0	0	1	16
Total.....	239	289	357	465	1008	278	81	39	151	2907
Pourcentage annuel.....	8,2	9,9	12,3	16,0	34,7	9,6	2,8	1,3	5,2	2907

O = Vents nuls

Les fréquences sont en % sur les graphiques

Tunisie, et à peu de kilomètres de la côte elle disparaît presque totalement.

Les différentes directions n'ont pas la même importance au cours de l'année. Les vents d'ouest, peu importants en avril, le deviennent en mai, pour tourner au N-W et N en juin, juillet et août. En septembre, W, N-W et N sont plus importants que S-W et S, tandis qu'en octobre, les calmes sont fréquents. De novembre, mars, la dominance d'W — SW — est frappante : en fait les vents d'ouest peuvent avoir deux origi-



Gr. 21 — Fréquence des vents de S-W à Zerniza.

nes : une déviation par rapport à une direction générale de S-W, ou au contraire de N-W. Dans le cas de vents de S-W, on a des vents plutôt secs, n'amenant pas de pluie. Ceux de N-W, au contraire, sont pluvieux, humides. Les déviations sont produites par la position des masses d'air sur le Sahara et la Méditerranée Occidentale.

On remarquera la rareté des vents d'E et N-E, sauf en été le soir. Les données de Bizerte, au contraire, sont très souvent de cette direction : les perturbations de N-E ne parviennent généralement pas jusqu'à Zerniza. Elles peuvent cependant provoquer parfois des pluies, mais elles n'ont pas l'importance qu'on peut leur attribuer au Cap Bon ou au Sahel.

La brise de mer peut avoir une durée très variable à Zerniza. Nulle par sirocco, elle peut ne se faire sentir qu'une heure. Toujours en fin d'après-midi, mais parfois elle se lève dès 13 h.

Les brises de terre et de mer se caractérisent par des vitesses peu élevées, 1 à 5 m. s. -1 au plus.

Le mois le moins venteux est octobre, mais il n'est pas possible de conclure sur l'observation d'une seule année.

Les calmes sont fréquents le soir (entre 17 et 19 h) et le matin (7 à 9 h), plus rares la nuit, et presque inexistants le jour (entre 10 h et 16 h).

5) — Humidité des sols

L'importance du sujet et ses implications écologiques nous ont poussé à y consacrer un article spécial à ce sujet : « Evaporations potentielles calculées et humides relatives sous forêt et en clairière à Zerniza (Tunisie) » par C. Baldy et R. Durand. On reverra au chapitre III quelques aspects comparatifs de l'évolution des températures et de l'humidité des sols.

III. COMPARAISON ENTRE FORET ET CLAIRIERE

Il s'agira plutôt dans ce chapitre d'aspects particuliers des relations entre la forêt et son environnement, afin de mettre en évidence les modifications que la forêt apporte à celui-ci.

1) — Amplitudes thermiques

Un des aspect les plus remarquables des relations existant entre la forêt et son environnement est constitué par la modification des amplitudes thermiques : on a vu au paragraphe 2.a du chapitre II comment celles-ci évoluent au cours de l'année. Quelques données caractéristiques seront reprises ici à l'échelle journalière, pour l'été et l'automne 1967 afin d'en étudier l'évolution.

Au cours de l'été, les écarts thermiques entre forêt et clairière sont généralement faibles (tableau 8) : la siccité du climat fait que les arbres sont en repos végétatif et leur action sur le sous-bois est minimum. Par temps de sirocco (3 août) on peut même avoir *inversion* des amplitudes, ce qui correspond en fait à un retard dans les échanges thermiques en sous-bois. Le phénomène se produit d'ailleurs au début et à la fin de la période de sirocco : le 31 juillet, on note une quasi-annulation de l'amplitude entre forêt et clairière.

On constate que les écarts peuvent devenir parfois très grands; il semble que ces différences sont à imputer au sirocco quand les amplitudes en valeurs absolues sont élevées (10 août) et au contraire à un retard dans les échanges quand les amplitudes sont faibles (10 septembre). L'orientation des vents doit permettre de rendre certaine cette analyse.

Les amplitudes deviennent très faibles les jours de pluie; l'écart reste toujours important en octobre : le sol sous forêt se refroidit plus vite qu'en clairière. Du 6 au 9 novembre, on a constaté une grande différence négative des amplitudes. Ceci est difficile à expliquer, et on peut se poser la question d'une erreur systématique ?

Les valeurs inverses rencontrées en décembre proviennent toutes de ce phénomène de retard dans les échanges entre sous-bois et environnement. Nous avons noté ce phénomène sur place, mais la connaissance des directions du vent est indispensable pour pouvoir conclure.

Les valeurs inverses rencontrées en décembre proviennent toutes de ce phénomène de retard dans les échanges entre sous-bois et environnement. Nous avons noté ce phénomène sur place, mais la connaissance des directions du vent est indispensable pour pouvoir conclure.

Par calme plat, les échanges se font très lentement, et les masses d'air évoluent différemment sous forêt ou en clairière. La forêt se situant topographiquement plus bas que la clairière, on a pu avoir aussi écoulement nocturne d'air froid vers la vallée et refroidissement plus intense en sous bois. Ceci est vérifié par l'analyse des températures minimales aux mêmes périodes.

2) — Minimums absolus hivernaux et estivaux

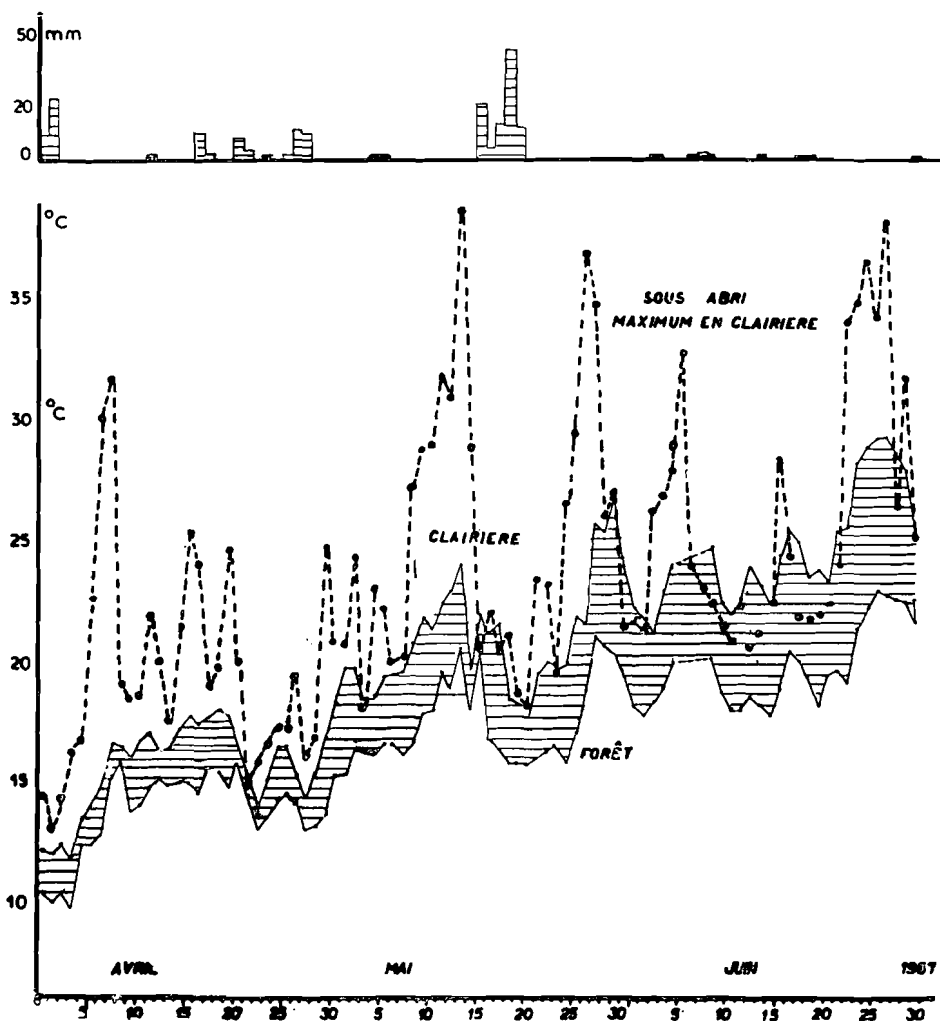
On a pu voir au chapitre II que les températures minimales sous forêt sont généralement plus élevées qu'en clairière. Il arrive parfois cependant, on vient de le voir, que celles-ci s'inversent, en raison notamment de la situation topographique, en particulier quand soufflent des vents du nord-ouest. Les minimums absolus observés et étudiés aux paragraphes 2.a et 2.c sont cependant tous relevés en clairière. Cette inversion des minimums devient tout à fait exceptionnelle en été.

Le graphique 22 compare les températures extrêmes journalières et les pluies pendant l'automne. Il est aisé de constater que les minimums les plus bas sont atteints par jours clairs, comportant de fortes amplitudes nyctémérales (24

TABLEAU 8
Amplitudes thermiques en forêt et en clairière
 (Exemples pris entre juillet et décembre 1967)

11-31 Juillet			1-11 Août			1-20 Septembre			21 Octobre 10 Novembre			1-20 Décembre		
Forêt	Clair.	Diff.	Forêt	Clair.	Diff.	Forêt	Clair.	Diff.	Forêt	Clair.	Diff.	Forêt	Clair.	Diff.
12,4	13,9	1,5	16,5	19,5	3,0	11,0	11,5	0,5	13,6	16,8	3,2	10,6	13,6	3,0
11,7	12,2	0,5	21,0	22,5	1,5	22,5	23,0	0,5	14,1	17,7	3,6	7,6	8,9	1,3
18,9	19,6	0,7	25,3	22,8	— 2,5	11,0	12,5	1,5	13,3	16,6	3,3	10,5	13,4	2,9
13,7	14,1	0,4	15,0	17,3	2,3	6,0	7,4	1,4	5,7	7,6	1,9	12,7	8,0	— 4,7
9,5	10,9	1,4	14,0	16,5	2,5	5,0	6,5	1,5	3,5	5,3	1,8	2,2	3,6	1,4
5,5	6,9	1,4	8,9	10,5	1,6	6,0	6,5	0,5	6,0	7,8	1,8	3,0	4,2	1,2
12,3	13,0	0,7	14,6	12,5	— 1,9	11,0	12,0	1,0	7,9	9,5	1,6	3,8	5,8	2,0
14,5	15,3	0,8	12,5	14,5	2,0	8,0	10,0	2,0	5,3	6,4	1,1	3,8	5,2	1,4
15,7	17,0	1,3	23,4	24,5	1,1	6,5	9,0	2,5	8,4	10,6	2,2	2,0	2,8	0,8
17,9	19,2	1,3	24,5	31,0	6,5	7,0	13,0	6,0	9,4	11,1	1,7	9,8	12,2	2,4
14,6	16,1	1,5	9,4	10,0	0,6	5,5	9,5	4,0	8,4	9,8	1,4	8,7	10,4	1,7
21,7	22,7	1,0				12,7	14,7	2,0	9,3	10,5	1,2	11,1	5,5	— 5,6
20,9	21,6	0,7				13,9	16,2	2,3	5,3	6,4	1,1	4,0	4,5	0,5
17,5	17,7	0,2				12,6	13,7	1,1	11,1	15,5	4,4	6,7	3,5	— 3,2
20,5	20,2	— 0,3				6,9	8,5	1,6	11,2	14,3	3,1	6,0	6,3	0,3
17,4	18,8	1,4				5,7	7,2	1,5	14,2	16,6	2,4	3,6	4,8	1,2
12,7	14,6	1,9				12,2	13,0	0,8	11,2	13,7	2,5	4,3	6,6	2,3
14,2	15,3	1,1				14,0	17,3	3,3	12,5	9,5	— 3,0	7,7	4,7	— 3,0
15,3	16,0	0,7				12,5	10,5	— 2,0	13,0	11,2	— 1,8	2,4	3,3	0,9
19,5	21,5	2,0				14,0	16,1	2,1	16,5	13,0	— 3,5	10,8	11,6	0,8
17,0	17,5	0,5							18,5	20,0	1,5	666		

novembre). Les pluies ont cependant pour conséquence de faire baisser régulièrement les minimums, en fin d'automne en particulier. En fin d'été les précipitations à caractère orageux ont peu d'action sur ce phénomène.



Gra. 22 — Comparaison entre températures journalières extrêmes et pluies pendant l'automne.

3) — Les vents au sol

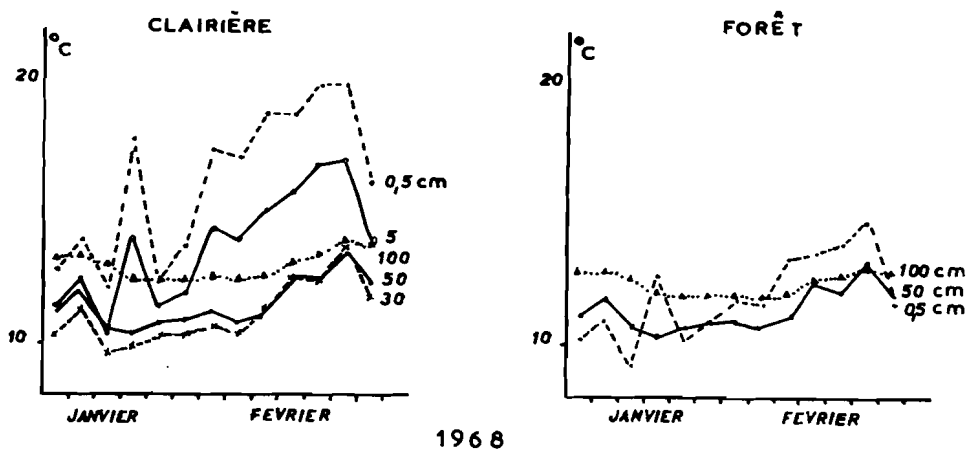
On a vu déjà au paragraphe 4 du chapitre II l'action de la forêt sur les vents au sol. La réduction de la vitesse du vent à 1,50 m peut atteindre 50 % en moyenne, mais les

réductions sont plus faibles quand souffle le vent du nord-ouest, car l'abri est situé non loin de cette lisière, et dans ces conditions, le vent n'a pas le temps d'être réduit autant. Cette direction est cependant exceptionnelle, le vent étant dévié par les collines.

Des vitesses de l'ordre de 20 km - I sont normalement enregistrées en clairière pour des moyennes de 4 heures; nous verrons le moment venu comment évoluent les vents instantanés en fonction de leur direction.

4) — Températures dans le sol en été et en hiver

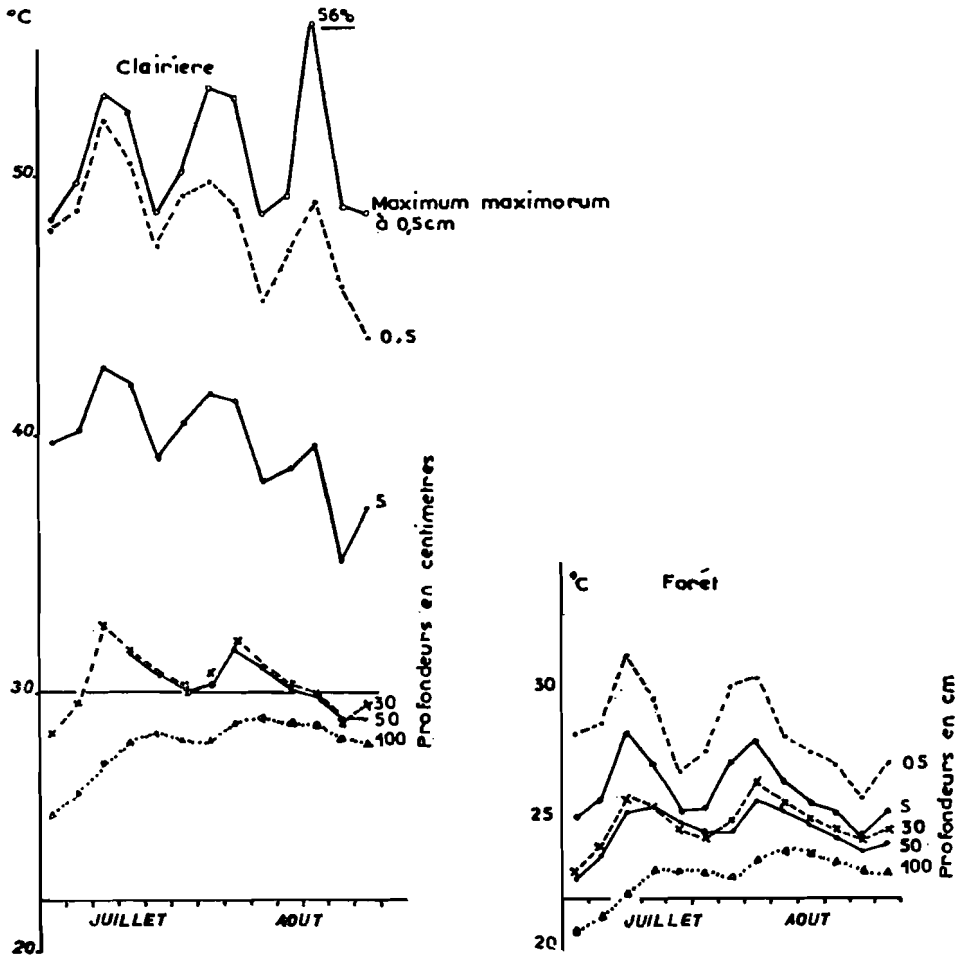
Les graphiques 23 et 24 représentent pour quelques pentades l'évolution de profils complets de températures dans les deux situations. Les températures à 1 m sont très semblables en hiver, on l'a vu plus haut, au voisinage du sol, elles sont extrêmement dissemblables : voisines de 20°C dès février, en clairière, elles se maintiennent au voisinage de 15°C sous forêt.



Gra. 23 — Profil de températures dans le sol à 13 h.

Les différences sont beaucoup plus spectaculaires en été : des températures de 56°C ont été enregistrées en clairière, alors que la pointe ne se marque même pas sous forêt. Dans cette situation, les amplitudes sont des plus réduites, et les faibles pluies qui ont caractérisé le mois d'août 1968 ont agi pour adoucir la température du sol. Celle-ci n'oscille qu'entre 20 et 30°C.

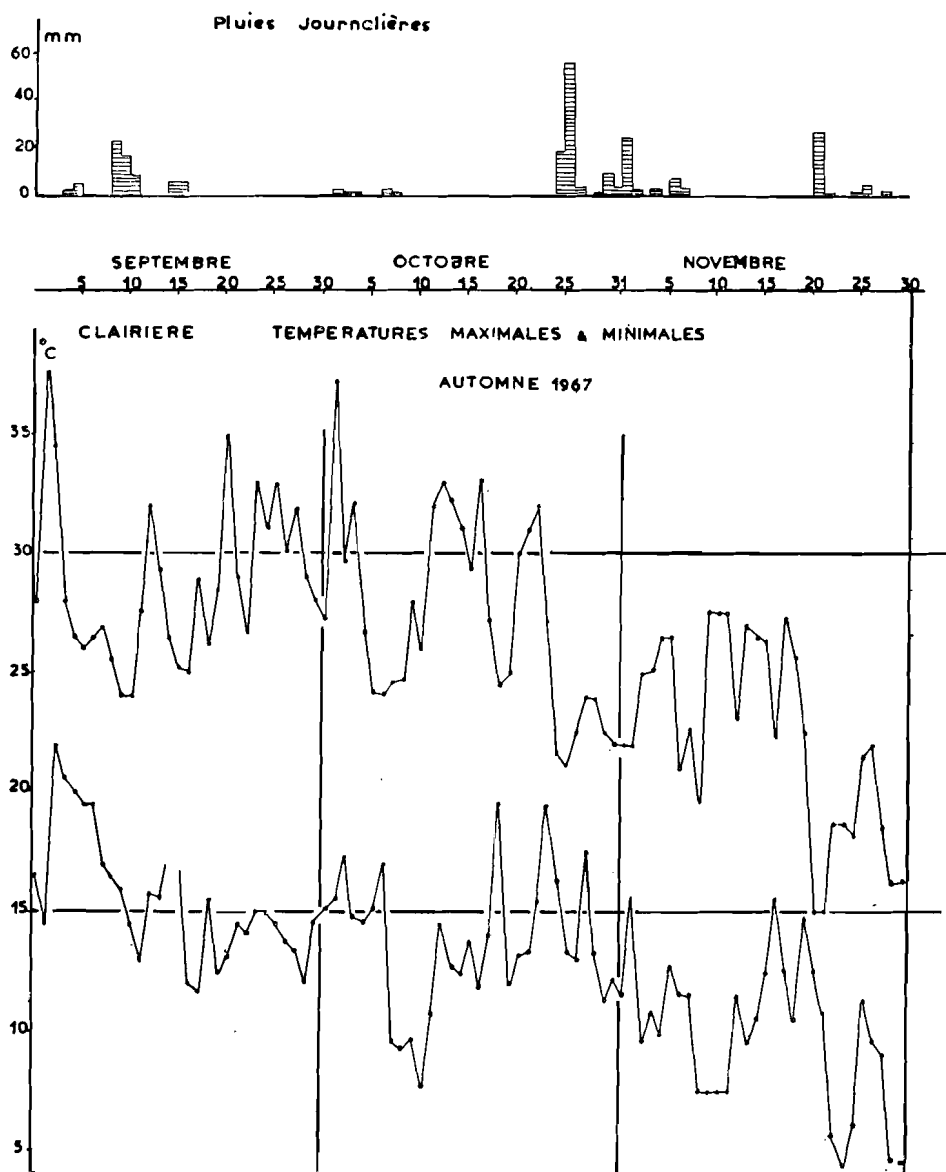
On a vraiment là une démonstration de l'action modératrice de la forêt. Cette action ne peut qu'avoir un rôle important sur les microorganismes du sol et les processus physiques et biologiques dans la rhizosphère.



Gra. 24 — Profil de températures dans le sol par pentade, juillet-août 1968 à 13 h

5) — Comparaison des températures et des humidités des sols

Le graphique 25 indique l'évolution des températures à 5 cm (à 9 h) et du maximum sous abri en clairière vis à vis des pluies durant le printemps 1967. On constate une augmentation régulière des températures du sol, et un décalage net entre les pointes thermiques sous abri et dans le sol. Les chutes de pluie, même très faibles, se traduisent sur la température des sols, alors même qu'elles ne sont pas enregistrées par les sondes de Bouyoucos.



Gra. 25 — Evolution des températures maximales et minimales
(automne 1967) vis-à-vis des pluies journalières

On renvoie à l'article concernant ces sondes et l'évolution de l'humidité du sol en clairière et en forêt. On peut constater une corrélation étroite entre le dessèchement du profil et les augmentations brusques de température. Cet effet doit se traduire dans la physiologie des arbres.

IV. CONCLUSIONS

La station de Zerniza se caractérise donc par une situation presque maritime, mais très influencée malgré tout par les masses d'air d'origine saharienne qui envahissent régulièrement la Tunisie. La pluviosité est bien typée; elle avoisine 900 mm par an, ainsi que les cartes de Vernet et Gaussen l'avaient déjà extrapolé et sa répartition est de type hiver - automne - été - printemps (HAEP), les deux premières saisons étant « pluvieuses » et les deux autres « sèches ». Près de la moitié de la pluie tombe en hiver, et en automne et au printemps, les précipitations ont une grande irrégularité. La variation dépasse 1 à 10 en septembre, octobre, avril et mai, et atteint 1 à 5 en novembre et mars. Juin ne reçoit que des pluies aléatoires, et juillet est à regarder comme sec, comme dans l'ensemble de la Tunisie. Des orages peuvent éclater en août, mais leur importance est faible.

Le nombre de jours de pluie, comparé à la pluviosité annuelle, permet de déterminer la pluviosité moyenne par pluie : on a 100 jours et 900 mm, ce qui donne 9 mm par pluie. Cette valeur est assez élevée, mais elle se retrouve assez généralement en Tunisie.

Quant à la nébulosité, elle est importante et atteint 50 % en valeur annuelle. Ceci fait regretter que des mesures de rayonnement global ou au moins de durée d'insolation n'aient pu être faites à Zerniza.

Les phénomènes secondaires (rosée, gelée blanche, brouillards) sont assez fréquents, et affirment la position assez maritime de la station.

Les températures relevées sont douces : moyenne de janvier 10°C de juillet 24°C. Elles se caractérisent aussi par des fortes amplitudes nyctémérales, de 8°C en décembre et 17°C en juillet. Les variations sont très fortes et rapides sous l'effet des masses d'air alternativement maritimes et continentales, qui se remplacent sur la Tunisie du Nord. Moins aride que l'ensemble du pays, le climat traduit cependant l'influence désertique très forte.

Les températures relevées tant sous abri qu'en indices actinothermiques ne sont jamais inférieures à 0°C pour les années d'observation. Cette valeur est cependant frôlée, et on

peut estimer le risque de gelée non nul : la moyenne des minimums de janvier est d'environ 1 jour par an, et au sol de 4 à 5 jours par an. Par contre, le risque de gelée de printemps disparaît dès mars, et est très faible. Des plantations effectuées à cette époque ont donc de bonnes chances de reprise, si des pluies suffisantes en avril et mai humectent la surface du profil et facilitent l'implantation des racines avant l'été.

Les modifications climatiques produites par la forêt sont importantes : le sol est plus froid en hiver, mais beaucoup moins chaud en été, et les fluctuations quotidiennes sont très réduites. L'air, lui aussi, voit ses amplitudes thermiques diminuées, et des différences surprenantes peuvent parfois se produire, en raison de l'inertie de la masse d'air en sous-bois.

Le vent, assez fort en clairière, est fortement réduit en forêt; la position de l'abri en bordure permet de voir que l'effet de lisière se poursuit sur 100 m au moins quand le vent souffle de cette lisière (N-W). Les variations d'humidité du sol, elles aussi, sont considérables. Elles sont dues à la fois à la végétation et au type de sol. L'eau reste disponible jusqu'au début de l'été en clairière.

Tout cet ensemble fait que les reboisements dans les Mogods maritimes doivent bien réussir quand on parvient à dominer les facteurs suivants : engorgements durant le trimestre hivernal, échauffement excessif du sol de surface en été, vents violents et brutaux, en particulier des secteurs nord et sud-ouest.

L'irrégularité des premières pluies d'automne fait conseiller de planter dès les premiers jours d'octobre, en prévoyant éventuellement un arrosage de reprise, jusqu'à début décembre : les conditions climatiques de janvier rendent très aléatoire toute opération à cette époque, et l'engorgement des sols fait qu'ils sont alors plus ou moins anaérobies. Dès la fin février, et jusqu'à fin mars au moins, une période favorable existe à nouveau, car les pluies de printemps sont relativement importantes, et les réserves du sol permettent aux plants de s'implanter rapidement.

La mise à nu du terrain l'été précédant la plantation a certainement des effets importants sur les microflore et microfaune, des températures de surfaces de 60°C étant à redouter.

Sur le plan climatique, la station de Zerniza permet donc d'excellents reboisements, que les particularités des sols peuvent rendre difficiles à certaines périodes. La période sèche

estivale est de 100 jours environ, et les températures atteintes alors peuvent être nocives si les arbres ne sont pas déjà implantés. Les caractères d'hydromorphie hivernale peuvent rendre cette implantation difficile quand le système racinaire n'est pas résistant. L'irrégularité du climat n'impose pas des arrosages de reprises, à condition que les plantations soient faites durant les trois mois les plus favorables, et si on prend la précaution de ne pas détruire inconsidérément l'équilibre naturel.

RESUME

Les auteurs procèdent à la description des conditions climatologiques observées à Zerniza (Tunisie du Nord) de novembre 1966 à mars 1969. Les caractères de la pluviosité (quantité, répartition) et des autres hygrométéores (nébulosité, grêle, rosée, gelée blanche, brouillard) sont d'abord passés en revue. La pluviosité totale est de l'ordre de 900 mm avec une répartition : hiver, automne, été, printemps. L'influence maritime est perceptible aux températures hivernales douces, jamais inférieures à 0°C pendant la période d'observation, et à la fréquence des brouillards et rosées.

On s'est partiellement attaché à l'influence de la forêt sur les données du climat. Des comparaisons clairière — reboisement en eucalyptus, ont montré la forte réduction des amplitudes thermiques de l'air et du sol par la forêt. L'effet de lisière sur le vent est d'au moins 100 m.

En fonction de ces données, des recommandations sont faites pour le choix des périodes de plantation.

SUMMARY

The authors describe the climatic conditions of Zerniza (North Tunisia) observed from november 1966 till march 1969. Rainfall (quantity and distribution) cloudiness, hail, dew, hoarfrost, and mist are analyzed. The yearly rainfall is about 900 mm with a distribution of the type : winter, autumn, summer, spring. The maritime influence is shown by the relative high winter temperatures (never below 0°C during the time of observation) and the frequency of mist and dew.

Special attention is paid at the study of the influence of a forest cover on the climatic conditions. The comparison between a clearing and a Eucalypt forest shows the important reduction of the thermal amplitudes of air and soil by the forest. The effect of the outskirts of the forest on the wind is at least 100 m.

Recommendations are made for the choice of the plantation periods.

BIBLIOGRAPHIE

- BALDY C.; MARION J.; POUPON H.; SCHOENENBERGER A. (1969) — « Note préliminaire concernant la station expérimentale de bioclimatologie et physiologie de la croissance, installée à Zerniza (Magods) dans le nord de la Tunisie » — I.R.T., Variétés scientifiques n° 1, 32 p. fig
- BALDY C.; POUPON H.; SCHOENENBERGER A. (1970) — « Etude des variations de la teneur en eau du sol en fonction du couvert végétal en Tunisie du nord » — Annales I.N.R.F., Tunisie, vol. 4, fasc. 3
- BALDY C., POUPON H., SCHOENENBERGER A. (1970) « Synthèse des résultats écologiques obtenus à Zerniza » — Annales I.N.R.F., Tunisie, vol. 4, fasc. 6
- BALDY C.; DURAND R. (1970) « Evapotranspiration potentielle comparée sous couvert et en clairière à Zerniza » Annales I.N.R.F., Tunisie vol. fasc. 2

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

Directeur : Hachmi HAMZA

Section de recherches :

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

Directeur du Projet : Jacques MARION

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

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

PUBLICATIONS

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

Les Annales paraissent annuellement.

Le Bulletin d'information paraît trimestriellement.

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

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

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