

RECHERCHES SUR L'ECOSYSTEME FORET

SERIE B : LA CHENAIE MELANGEE CALCICOLE DE VIRELLES-BLAIMONT

Contribution n° 11

Cours annuel de la température de l'habitat (sol et atmosphère)
et période de végétation (1965) (1)

PAR

Georges SCHNOCK (Genval)

SOMMAIRE

1. STATION ET MILIEU	2
2. INSTRUMENTATION ET METHODOLOGIE	2
3. SOURCES D'ENERGIE ET FLUX THERMIQUE DANS L'ETAGE EDAPHIQUE	4
3.1. Bilan radiatif net au niveau de la surface du sol	4
3.2. Propriétés thermiques de l'étage édaphique	4
3.2.1. Densité	4
3.2.2. Chaleur spécifique par unité de volume	4
3.2.3. Conductibilité thermique	5
3.2.4. Diffusibilité thermique	5
3.3. Echanges thermiques entre le sol et l'eau atmosphérique	5
3.3.1. Précipitations à l'état solide	6
3.3.2. Précipitations à l'état liquide	7
4. COURS ANNUEL DE LA TEMPERATURE DANS L'ETAGE EDAPHIQUE	9
4.1. Rayonnement global et température de l'habitat	9
4.2. Rythmes annuel, saisonnier et périodique	10
4.3. Température dans les divers horizons édaphiques	11
4.4. Gradients et amplitudes de température	12
4.5. Période de végétation	14
4.6. Précipitations atmosphériques	15

(1) Programme du Centre d'Ecologie générale (Bruxelles), subventionné par le Fonds de la Recherche fondamentale collective.

1. STATION ET MILIEU

Le milieu étudié est une chênaie-charmaie-hêtraie de 16 à 21 m de hauteur, de couvert assez complet et située à 245 m d'altitude; la strate arbuscive y est peu représentée (Station écologique de Virelles-Blaimont). L'étage édaphique est caractérisé par un sol brun calcaire. La proportion squelette-terre fine-racines varie sensiblement d'un point à un autre. Dans un profil moyen de sol, le volume de terre fine est estimé à environ 80 % dans la tranche de sol comprise entre 0 et - 10 cm (horizon A₁), il diminue considérablement dans l'horizon A₂/C de - 10 à - 20 cm (± 30 %) et se résume à quelque 8 % entre les niveaux - 20 et - 45 cm (horizon C).

La station de mesures thermométriques dont les observations font l'objet de la présente note, est située sous le couvert d'un chêne et d'un charme. Le premier a 100 cm de circonférence à 1 m 30 et 16 m 50 de hauteur totale; le second est une essence dominée de 30 cm de circonférence à 1 m 30 dont les branches inférieures s'élèvent à 2 m 50 au-dessus du sol. Les points de mesure sont distants d'environ 80 cm du pied du charme et 170 cm de la souche du chêne.

A cet endroit précis, la strate herbacée, haute de quelque 10-20 cm se compose essentiellement de *Hedera helix* (± 70 % de recouvrement), *Lamium galeobdolon* (± 10 %), de quelques semis d'érable champêtre et de charme et d'une strate muscinale légère qui se développe sur environ 60 % de la surface.

Le profil du sol est esquissé dans la figure 1 et les proportions terre fine — squelette — racines sont respectivement de :

- tranche de 0 à - 10 cm : 85,2 % — 10,8 % — 4,0 %;
- tranche de - 10 à - 20 cm : 45,5 % — 52,5 % — 2,0 %;
- tranche de - 20 à - 45 cm : 9 % — 90,7 % — 0,3 %;

2. INSTRUMENTATION ET METHODOLOGIE

La station géothermométrique a 1 m² de superficie; la température y est mesurée à 5 niveaux à l'aide de 2 types d'instruments : des géothermomètres à mercure et des géothermographes. Les géothermomètres ont été installés à l'intérieur de forages cylindriques dont le diamètre et la profondeur sont exactement adaptés à la grosseur et la longueur des tubes plongeants de façon à assurer un contact intime entre ces tubes de verre et le sol (terre fine et roche). Le tapis végétal et l'étage édaphique n'ont donc pratiquement pas été perturbés par l'installation des appareils. Les réservoirs de mercure sont situés à - 1, - 5, - 10, - 20 et - 50 cm. A ces mêmes niveaux et dans le voisinage immédiat des cuvettes de mercure, ont été placées les sondes des géothermographes. Ces organes sensibles constitués par des cylindres creux en acier, mesurent 24 cm de longueur et

1,4 cm de diamètre. Ils sont remplis de mercure dont les variations volumétriques sont transmises à un levier enregistreur par l'intermédiaire d'un capillaire en cuivre de 0,5 cm de diamètre et de longueur pouvant varier entre 5 et 15 m. Des tubes compensateurs de Bourdon absorbent les dilatations et les compressions parasites du mercure qui peuvent se produire dans les capillaires traversant des milieux thermiques autres que celui qui règne dans l'environnement des sondes.

Chaque géothermomètre possède une courbe d'étalonnage préalablement établie en laboratoire à partir d'un appareil de précision. La comparaison entre les différents points de mesure peut ainsi s'effectuer avec une précision de l'ordre de 0,1 °C. L'enregistrement continu de la température par les géothermographe est obtenu à l'aide d'un tambour actionné par un mouvement d'horlogerie hebdomadaire. Des contrôles de température sont opérés chaque semaine lors du renouvellement des graphiques et accessoirement, à l'occasion de chaque visite. Les valeurs lues sur les géothermomètres à mercure et corrigées d'après l'abaque d'étalonnage, servent éventuellement à rectifier les valeurs d'enregistrement. Comme les géothermographe sont caractérisés par une inertie relativement grande, ils se prêtent mal à la mesure des variations instantanées de la température et par conséquent, ils ne conviennent pas pour des enregistrements à 1 cm sous la surface du sol. Aux niveaux — 5, — 10, — 20 et — 50 cm, les courbes obtenues sont relativement satisfaisantes.

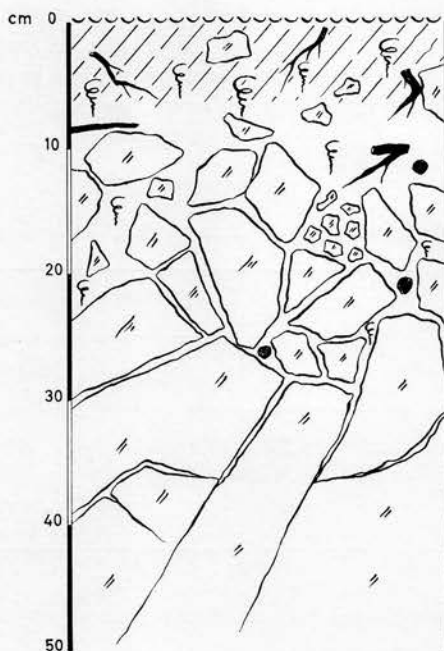


Fig. 1. — Profil du sol dans la station thermométrique de Virelles-Blaimont (V.B.).

3. SOURCES D'ENERGIE ET FLUX THERMIQUE DANS L'ETAGE EDAPHIQUE

3.1. BILAN RADIATIF NET AU NIVEAU DE LA SURFACE DU SOL

Au niveau proche de la surface du sol, la quantité d'énergie de rayonnement susceptible d'influencer le thermisme du profil est donnée par le bilan radiatif net. Celui-ci résulte de la différence entre la quantité de rayonnement incident qui atteint un plan situé immédiatement au-dessus de la surface du sol et le rayonnement émis ou perdu par le sol à ce même niveau.

3.2. PROPRIETES THERMIQUES DE L'ÉTAGE ÉDAPHIQUE

Les calculs de transfert d'énergie à l'intérieur de l'étage édaphique doivent tenir compte de 3 éléments essentiels : les constituants solides, liquides et gazeux. Le rôle joué par chacun de ceux-ci réside dans le fait qu'ils possèdent des propriétés physiques propres et susceptibles d'influencer la propagation de l'onde thermique à travers les horizons.

3.2.1. La densité : (ρ_m)

La densité de l'air est faible et négligeable; pour l'eau, elle est généralement assimilée à 1 g. cm⁻³. Quant aux constituants solides, ils ont une densité variable selon leur nature (sable, limon, argile, roche). Dans les profils hétérogènes, il y a lieu de considérer, par horizon, la proportion de squelette-terre fine. La densité varie également avec la profondeur de l'horizon considéré. Les valeurs obtenues sont reprises dans le tableau 1.

TABLEAU 1.

Densité de la terre fine et de la roche (Virelles-Blaimont).

Constituants	Nombre d'échantillons	Densité moyenne à		
		± 5 cm	± 15 cm	± 40-45 cm
Terre fine	> 90	0,867	1,007	1.161
Roche (calcaire)	164	<----- 2,634 ----->		

3.2.2. La chaleur spécifique par unité de volume : (ρ_c)m

Egalement rencontrée sous l'appellation « capacité thermique par unité de volume », la chaleur spécifique par unité de volume est égale à

0,00024 - 0,00034 cal. cm⁻³ deg.⁻¹ pour l'air calme et 1 cal. cm⁻³ deg.⁻¹ pour l'eau (GEIGER, 1965).

Elle représente une valeur constante pour un sol sec déterminé. Pour un sol en place, elle varie cependant avec sa nature et sa teneur en eau; elle est donc influencée indirectement par les précipitations.

3.2.3. La conductibilité thermique : λ

La conductibilité thermique vaut 0,000.05 - 0,000.06 cal. cm⁻¹. sec.⁻¹. deg.⁻¹. pour l'air calme et 0,0013 - 0,0015 cal. cm⁻¹. sec.⁻¹. deg.⁻¹ pour l'eau dormante (GEIGER, 1965). Pour le sol, non seulement elle varie d'un endroit à un autre suivant sa composition mais elle prend également pour un même échantillon, des valeurs différentes selon les variations de la teneur en eau. Comme la chaleur spécifique, elle varie aussi suivant les précipitations. Cette action a notamment été mise en évidence d'une façon très nette par ALBRECHT, F. (1937), DE VRIES, D. A. (1952), MARUYAMA, E. (1957) et BRACHT, J. (1949).

3.2.4. La diffusivité thermique : a

Elle est définie par la relation :

$$a = \frac{\lambda}{(\rho c)m} \text{ cm}^2. \text{ sec}^{-1}$$

Comme elle dépend des valeurs de λ et $(\rho c)m$, elle est également fonction des facteurs qui influencent ces deux dernières propriétés.

Ces différents paramètres ont permis d'établir, pour des conditions déterminées, des formules théoriques qui permettent d'estimer d'une part, la profondeur de pénétration des fluctuations journalières ou annuelles de la température dans des types de sol variés et d'autre part, l'intervalle de temps nécessaire pour que le maximum ou le minimum thermique enregistré à un niveau déterminé se répercute à une profondeur donnée. Ces formules sont données par GEIGER, R. (1965), p. 32.

3.3. ECHANGES THERMIQUES ENTRE LE SOL ET L'EAU ATMOSPHÉRIQUE

L'influence des précipitations sur le thermisme du sol dépend de leur état physique et notamment de leur température. En général, l'accumulation de neige sur une épaisseur de plusieurs centimètres constitue une couche isolante entre le milieu édaphique et le milieu atmosphérique. Les chutes de neige ou de grêle qui fondent peu de temps après leur contact avec le sol, prélèvent aux couches superficielles, une certaine quantité de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide. Cette eau qui possède une température initiale voisine de 0 °C s'infiltré plus ou moins profondément dans les pores du sol et provoque dans la plupart des cas un refroidissement parfois très sensible des horizons proches de la surface, c'est-à-

dire, ceux qui sont biologiquement très actifs. Il s'en suit alors une inversion du gradient thermique entre les horizons supérieurs et inférieurs.

D'autre part, « l'effet de froid » qui se marque dans le sol à la suite d'une chute de pluie, ne résulterait pas uniquement de la différence de température qui existe initialement entre l'eau et le sol car l'équilibre thermique entre ces deux éléments se réalise rapidement, mais serait également dû à la perte de calories nécessaires à l'évaporation qui suit l'apport d'eau (RAMDAS, L.A. et DRAVID, R.K., 1934).

Quelques observations réalisées à Virelles-Blaimont permettent d'analyser ces processus d'échange.

3.3.1. Précipitations à l'état solide (grêle).

La figure 2 montre l'effet d'une giboulée de 13,5 mm (à découvert) sur la température d'un sol en phase de réchauffement printanier et en période de feuillaison (le 7-V-1966). L'averse s'est manifestée initialement par une chute de grêlons qui se sont accumulés temporairement sur le sol avant d'entrer en fusion; elle s'est ensuite transformée progressivement en pluie.

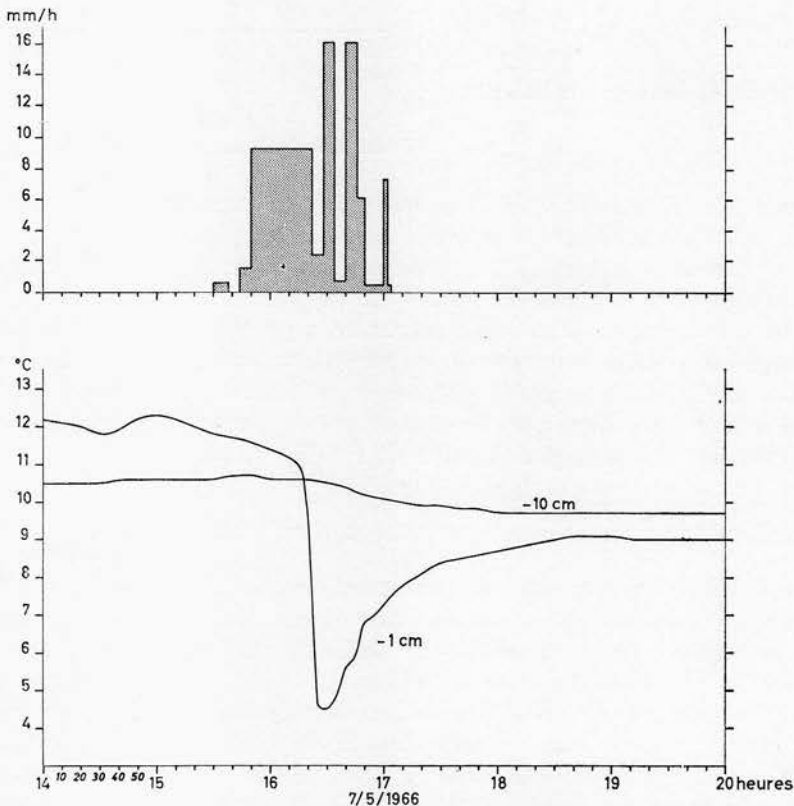


Fig. 2. — Influence d'une averse de grêle suivie de pluie (13,5 mm) sur la température du sol à -1 et -10 cm en forêt (V.B., le 7-V-1966).

De l'examen de cette figure, on peut conclure que :

- 1° La température du sol à — 1 cm a amorcé une chute lente environ 10 minutes après le début de l'averse, puis brusque, quelque 10 minutes plus tard, lorsque la fusion des grelons a demandé une grosse quantité de chaleur au sol; en 10 minutes, elle est passée de 11,0 à 4,5 °C, soit une baisse de 6,5 °C résultant d'une absorption de chaleur de fusion et d'une mise en équilibre thermique. Ensuite elle est remontée assez rapidement jusque 5,6 °C, puis a accusé deux ralentissements successifs suite à deux nouvelles arrivées d'eau froide. Le réchauffement s'est poursuivi jusque 18 h 30, moment à partir duquel le sol a commencé à se refroidir sous l'action du rayonnement nocturne.
- 2° La température du sol à — 10 cm a accusé l'arrivée d'eau froide environ 10 minutes après la fonte des grelons, soit 20 minutes après le début de la giboulée; elle a diminué de 0,9 °C pendant 1 h 40, puis s'est ensuite stabilisée à 9,7 °C, soit 0,6 °C au-dessus de celle qui règne à — 1 cm.
- 3° Le gradient thermique qui existait avant l'averse ne s'est pas rétabli une fois l'infiltration terminée. Ceci est probablement dû au fait que la perte importante de calories subie par l'horizon superficiel du sol n'a pu être compensée avant que ne débute le rayonnement nocturne.

3.3.2. Précipitations à l'état liquide

Il semble bien que les modifications entraînées dans le thermisme du sol par des chutes d'eau ayant une température supérieure à 0 °C, soient peu accusées et de plus courte durée. Selon BECKER (1937), il faut une chute de pluie très froide (20,8 mm) pour que le thermomètre à — 20 cm enregistre l'arrivée d'eau dans un sol perméable. Dans les observations faites à Virelles-Blaimont, il apparaît que (l'exemple repris dans la figure 2 mis à part) l'effet des précipitations sur la température du sol forestier se limite généralement aux 10 premiers centimètres (horizon A₁) et quand il atteint cette profondeur, la chute de température qui en résulte n'excède habituellement pas 0,2 à 0,3 °C. L'exemple reproduit dans la figure 3 (précipitation de 4,0 mm en une heure, le 5-VIII-1966) peut être considéré comme un cas moyen, avec une chute de température à — 1 cm ne dépassant pas 2,0 °C et un rétablissement du gradient thermique quelque temps après la chute de la pluie.

Dans certains cas, il arrive que les précipitations entraînent un réchauffement des horizons humeux de l'étage édaphique. Ceci a été observé, notamment à deux reprises durant l'été, au cours de la journée du 16-VI-1966. (Figure 4). A la suite d'une première averse (1,4 mm) tombée un peu avant 18 heures, la température à — 1 cm est montée brusquement de 0,8 °C, elle est ensuite redescendue lentement avant d'accuser un second maximum deux heures plus tard après une nouvelle averse (1,7 mm). Ce réchauffement du sol de courte durée et localisé en surface, est dû à un apport de calories cédées par les eaux de précipitations. Celles-

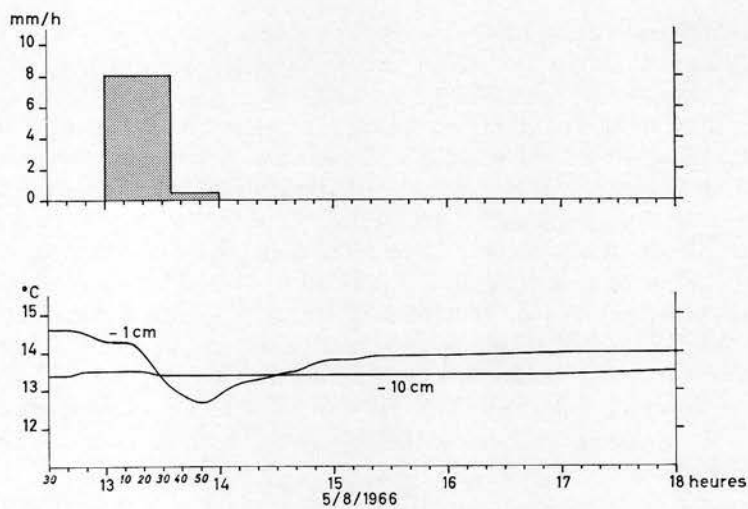


Fig. 3. — Influence d'une averse de pluie « froide » (4,0 mm) sur la température du sol à - 1 et - 10 cm en forêt (V. B., le 5-VIII-1966).

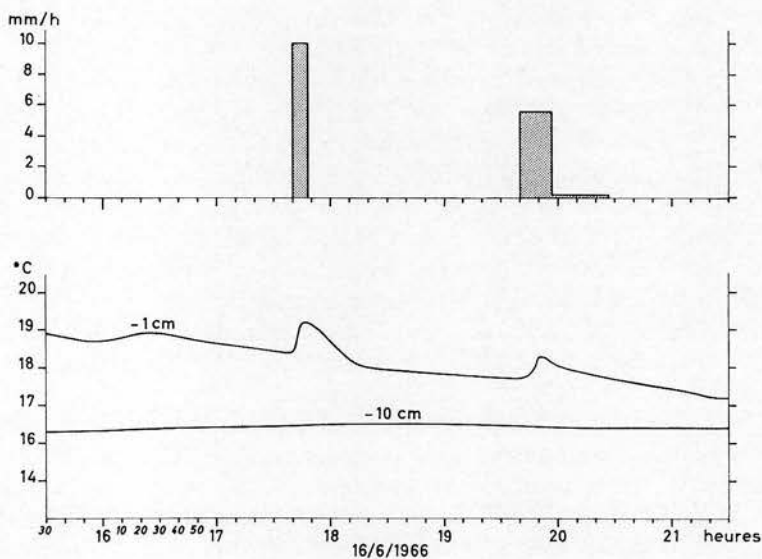


Fig. 4. — Influence de deux averses de pluie « chaude » (1,4 et 1,7 mm) sur la température du sol à - 1 et - 10 cm en forêt (V. B., le 16-VI-1966).

ci qui possédaient initialement une température supérieure à celle du sol, se sont encore très certainement réchauffées au contact des feuillages soumis à un rayonnement important tout au long des heures précédentes de la journée. La température de l'air à 16,00 m était de 20,0 °C avant la chute de pluie. Les valeurs du rayonnement global pour les journées des 15 et 16 juin se sont élevées respectivement à 700,1 et 465,7 cal. cm⁻² et il est probable que la température des surfaces était, au moment de l'averse, de quelques °C supérieure à celle de l'air. Il semble d'ailleurs que lors de la deuxième pluie, les surfaces chlorophylliennes qui venaient de subir un premier refroidissement deux heures plus tôt, n'ont pu transmettre à la seconde venue d'eau, qu'une quantité plus réduite de calories, ce qui expliquerait probablement le réchauffement plus faible obtenu à 20 heures.

4. COURS ANNUEL DE LA TEMPERATURE DANS L'ETAGE EDAPHIQUE

Les courbes de température pour les niveaux — 5, — 10, — 20 et — 50 ont été reportées sur la figure 5. Pour chacune de ces profondeurs, la température a été pointée sur les graphiques d'enregistrement à 4 moments de la journée (0, 8, 16 et 24 heures) et la moyenne de ces 4 lectures, considérée comme représentative de la journée, a permis de suivre les variations thermiques du profil depuis le début de 1965 jusqu'aux premiers jours de septembre. A partir de cette date, l'enregistrement continu a dû être interrompu par suite d'avaries subies par les mécanismes d'horlogerie; mais comme l'amplitude journalière de la température dans le sol est relativement faible au cours des derniers mois de l'année, les lectures des géothermomètres faites pendant cette période permettent néanmoins de suivre l'évolution générale du profil thermique durant ce dernier trimestre.

Pour une meilleure interprétation des variations thermiques du sol au cours de l'année, nous avons également reporté dans la figure 5 les éléments suivants :

- 1° les sommes journalières de rayonnement global mesuré sur une surface horizontale à 2,00 m au-dessus du sol gazonné, dans la station écologique de prairie (Virelles-Philippart);
- 2° la courbe de la température moyenne journalière de l'air à 2,00 m sous abri dans la station forestière de Virelles-Blaimont;
- 3° l'histogramme des précipitations;
- 4° la succession des phénophases.

4.1. RAYONNEMENT GLOBAL ET TEMPÉRATURE DE L'HABITAT

La figure 5 laisse apparaître immédiatement que le cours général de la température de l'habitat (sol et atmosphère) suit l'allure du cheminement des maxima radiatifs au long de l'année. Cependant, ni le creux saisonnier hivernal, ni le sommet estival de la température ne correspondent chronologiquement aux minimum et maximum de la déclinaison du soleil. Les

périodes les plus froides et les plus chaudes de l'habitat sont déphasées par rapport à l'allure générale du rayonnement. Les températures édaphiques les plus élevées sont observées à la mi-juillet, soit avec un retard d'une quinzaine de jours sur les sommes journalières maximums de rayonnement global.

En 1952, HAUTFENNE a mis en évidence l'existence d'une relation entre les variations de la température du sol gazonné et celles de la radiation globale (rayonnement du soleil et du ciel). Il précise que cette correspondance est d'autant plus parfaite que la mesure de la température est effectuée moins profondément dans le sol et que ce dernier est dépourvu de couverture végétale. Il a montré une relation directe entre les deux phénomènes au printemps et en été, tandis qu'au cours de l'automne et de l'hiver, les variations thermiques seraient plutôt conditionnées par la situation atmosphérique générale.

À Virelles-Blaimont, la quantité de rayonnement de courtes longueurs d'ondes parvenant au sol sous le couvert de la strate ligneuse est proportionnellement beaucoup plus faible que celle qui est reçue au-dessus du couvert. (De 5 à 10 % en période feuillée et de 20 à 40 % en phase dénudée). De ce fait, il faut s'attendre à ce que la correspondance entre ces deux phénomènes soit beaucoup moins apparente. Ce n'est qu'après des périodes de plusieurs jours de rayonnement faible ou élevé qu'apparaissent, le plus souvent avec un retard de 24 à 48 heures, des fluctuations importantes dans le thermisme du profil. Comme l'a observé HAUTFENNE en 1949, la température du sol augmente ou diminue lorsqu'on enregistre des maxima ou des minima de rayonnement durant les mois de printemps et d'été.

Par contre, pendant les saisons hivernales et automnales, la relation est beaucoup moins bonne quoique les minima thermiques ne correspondent pas nécessairement aux maxima de rayonnement qui se produisent en période anticyclonique (et inversement).

4.2. RYTHMES ANNUEL, SAISONNIER ET PÉRIODIQUE

La température moyenne journalière à différents niveaux dans le sol suit au cours de l'année, une courbe d'allure sinusoïdale. Au rythme général annuel de la température, se superposent des fluctuations saisonnières et périodiques.

Le réchauffement printanier du sol s'opère assez rapidement au cours de la deuxième décennie de mars; il débute environ 3 à 4 semaines avant le départ de la feuillaison de la strate arborescente et marque le début de la floraison des premières géophytes (*Scilla bifolia*, *Narcissus pseudonarcissus*). En l'espace de 5 à 6 jours, la température à — 10 cm est passée de 0,6 à 5,3 °C.

Le refroidissement automnal est plus progressif. Il débute aux premiers jours d'octobre dès que le couvert de la forêt commence à s'éclaircir; il est interrompu pendant une semaine à la suite d'une amélioration des condi-

tions atmosphériques survenues fin octobre, puis s'accroît régulièrement dans le courant de novembre. A l'intérieur de ces cours saisonniers de la température, des variations périodiques de courte durée sont à mettre en rapport avec la succession des phénomènes atmosphériques.

Au cours des mois de printemps et d'été, des modifications de l'état atmosphérique général peuvent entraîner un refroidissement de l'air et une modification plus ou moins importante dans le gradient thermique du sol. Lorsque le refroidissement est plutôt modéré (5,0 °C en moyenne), il ne dure pratiquement pas au-delà de 2 à 3 jours. Il se produit alors une inversion partielle du gradient thermique entre la surface du sol et le niveau — 10 cm. Comme celle-ci ne se marque que très rarement à la profondeur de — 20 cm, il semble que c'est vers cette profondeur que se situerait le point d'inversion du sens de circulation de la chaleur. Ce phénomène, déjà signalé par HAUTFENNE (1952), a notamment été observé aux périodes suivantes : 1 et 2-IV, 26 et 27-VI, 2 au 8-IX et 18 au 21-IX.

Par contre, il arrive qu'on enregistre des baisses subites et sensibles de la température de l'air pouvant aller jusqu'à 8,0 à 10,0 °C (les 20-V et 5-VII). Si la chute de température se poursuit pendant une période prolongée, on observe (les 11-V, 1-VI et 1-VIII notamment) non plus une inversion partielle du gradient thermique du sol, mais une isothermie plus ou moins nette de tout le profil de 0 à — 50 cm.

4.3. TEMPÉRATURE DANS LES DIVERS HORIZONS ÉDAPHIQUES

En automne et en hiver, le niveau — 50 cm situé en pleine roche calcaire, est généralement le niveau le plus chaud de tout le profil sauf pendant deux périodes de courte durée (du 27-X au 8-IV et du 5 au 25-XII) pour lesquelles l'onde thermique s'est manifestée principalement dans les couches supérieures du solum. En d'autres termes, il s'établit entre la surface du sol et le niveau — 50 cm, un gradient thermique positif en automne et en hiver, et négatif au cours des mois de printemps et d'été.

Ces observations confirment entièrement celles faites en 1949 sous gazon à Uccle par HAUTFENNE, M. (1952). Selon lui, la température enregistrée à — 100 cm dans le sol est la plus élevée pour des déclinaisons négatives du soleil et la plus faible pour des déclinaisons positives. Il précise encore que les déclinaisons négatives du soleil surviennent à une époque de l'année comprise entre les deux équinoxes de septembre et de mars, et pendant laquelle la durée de la nuit est supérieure à celle du jour.

A Virelles-Blaimont, la température minimum enregistrée à — 50 cm s'est produite le 8 mars (1,1 °C) et le maximum thermique observé à ce niveau le 17 août s'est élevé à 14,1 °C, soit une amplitude annuelle de 13,0 °C.

Les températures moyennes journalières enregistrées aux niveaux — 10 et — 20 cm (horizons argileux riches en fragments calcaires) sont tou-

jours très voisines. L'écart entre les courbes est de quelques dixièmes de degré et atteint rarement 1,0 °C. Les températures extrêmes relevées à — 10 cm sont respectivement de 15,4 °C (17-VIII) et de 0,5 °C (5-III).

Chaque fois que se produit une inversion totale dans le gradient thermique, c'est-à-dire à l'approche des équinoxes de mars et de septembre, la tranche de sol axée sur — 20 cm constitue pendant une durée très limitée, un point particulier d'inversion pour lequel on note les températures tantôt les plus élevées (vers les 8 et 9-X), tantôt les plus faibles (du 8 au 10-III) selon que le sol est en phase de refroidissement ou de réchauffement.

La température de l'horizon à mull (A_1) au niveau — 5 cm suit assez fidèlement et avec un léger retard, les variations de la température de l'air à 2,00 m sous abri. L'écart entre ces deux courbes est généralement plus faible au cours de la phénophase feuillée que pendant les mois d'hiver. Les minimum (— 0,1 °C) et maximum (16,1 °C) thermiques de la courbe à — 5 cm se situent respectivement le 7 mars et le 16 juillet (16,0 °C le 5 août) et l'amplitude de variation atteint 16,0 °C. Cette amplitude est la plus grande parmi les niveaux envisagés (— 50, — 20, — 10, — 5 cm).

4.4. GRADIENTS ET AMPLITUDES DE TEMPÉRATURE

Dans la plupart des journées, la température du sol est supérieure à celle de l'air à 2,00 m sous abri pendant les mois d'hiver et d'automne, et inférieure au cours des saisons de printemps et d'été. Ce fait n'est cependant pas général. En effet, l'air eu égard à sa très faible densité, s'échauffe et se refroidit beaucoup plus rapidement que le sol suivant les conditions atmosphériques générales et par conséquent, accuse des extrêmes thermiques plus accentués que ceux du sol.

L'amplitude de la température moyenne journalière diminue avec la profondeur, sauf pour la période de refroidissement automnal (Tableau 2). Pour chaque niveau étudié, elle est plus faible pendant la phénophase feuillée qu'au cours des mois sans feuilles. On peut donc dire que durant la période de végétation règne sous l'étagage du rayonnement, une ambiance thermique relativement stable et tendant vers une certaine isothermie.

Du point de vue de la température de l'habitat et notamment celle de l'étagage édaphique, on pourrait diviser l'année 1965 en quatre périodes distinctes plus ou moins homologues des saisons :

- 1° La période des basses températures hivernales (du 1-I au 8-III) qui est caractérisée par un gradient thermique positif et une amplitude faible (3,4 °C à — 50 cm et 4,6 °C à — 5 cm). Elle correspond en grande partie à la phase de repos hivernal des végétaux ligneux au cours de laquelle les bourgeons foliaires subissent le froid et la photopériode indispensables à leur développement futur. Pour le tapis herbacé, c'est aussi la période de dormance sauf pour certaines géophytes dont le réveil peut se manifester vers le 10-II (Phénophases prévernale et vernale, cfr. A. GALOUX, 1966).

TABLEAU 2.

Amplitude des températures moyennes journalières à Virelles-Blaimont (V. B.) aux niveaux 2,00 m (air) et - 5, - 10, - 20 et - 50 (sol) pour l'année 1965.

Période	Amplitudes thermiques °C				
	du sol à				de l'air à 2,00 m sous abri
	- 50 cm	- 20 cm	- 10 cm	- 5 cm	
Phénophase feuillée (1-V au 16-X)	7,6	7,9	8,1	9,2	11,4
Phénophase défeuillée (1-I au 30-IV et du 17-X au 31-XII)	8,8	—	10,2	10,2	18,1
Période des basses t° hi- vernales (du 1-I- au 8- III)	3,4	—	4,0	4,6	11,3
Période de réchauffement printanier (du 9-III au 30-IV)	5,8	6,6	7,2	8,3	14,4
Période de refroidissement autumnal (10-X au 31-XII)	8,4	7,8	7,4	7,4	16,1
Année 1965	13,0	—	14,9	16,2	23,1

- 2° La période de réchauffement printanier (du 9-III au 30-IV) qui se manifeste par une inversion du gradient thermique du profil et une augmentation importante de l'amplitude (5,8 °C à - 50 cm et 8,3 °C à - 5 cm.) Elle est synchronisée avec le grossissement des bourgeons et l'apparition des premières feuilles chez certaines espèces des strates arbustive et arborescente secondaire. Elle débute avec la floraison des premières géophytes et correspond à la phase de développement optimal du tapis herbacé (Phénophase vernale optimale).
- 3° La période des maxima thermiques (du 1-V au 9-X) au cours de laquelle l'amplitude thermique est grande (7,6 °C à - 50 cm et

- 9,2 °C à — 5 cm) et le gradient négatif. Elle coïncide principalement avec la phase chlorophyllienne de la strate arborescente : développement foliaire, élongation des rameaux, formation des bourgeons, accroissement de la biomasse. (Phénophases vernale décadente, estivale et préautomnale).
- 4° La période de refroidissement automnal (du 10-X à fin décembre) pendant laquelle on observe l'amplitude la plus élevée à — 50 cm 8,4 °C) et le rétablissement du profil thermique hivernal. C'est l'époque qui correspond à la phase optimale du jaunissement des feuilles, à la maturation et à la dissémination des glands et des faines, à la chute des organes foliacés et aux premiers stades du repos hivernal (phénophases automnales).

4.5. PÉRIODE DE VÉGÉTATION

La durée de la période de végétation de l'ensemble de la strate arborescente est d'environ 155 jours pour l'année 1965. Ce temps est obtenu en prenant comme dates limites, celles qui correspondent respectivement à la moyenne des points centraux des périodes de mi-feuillaison et de mi-jaunissement-brunissement de chacune des trois essences principales du peuplement c'est-à-dire le charme, le hêtre et le chêne pédonculé. On considère donc que la strate arborescente commence à entrer dans sa phase chlorophyllienne à partir de la mi-mai (16 mai) et la clôture vers la mi-octobre (17 octobre). Il est alors intéressant de constater qu'à ces deux époques, le thermisme de l'habitat (air-sol) se situe au niveau de 10,0 °C et se maintient pratiquement au-dessus de cette température tout au long de la période de végétation.

Comme le thermisme constitue l'un des facteurs déterminants du débournement, il semble qu'une température de l'habitat supérieure ou égale à 10,0 °C puisse être choisie comme critère de départ; par contre, la correspondance entre ce seuil thermique et la coloration automnale du feuillage, considérée comme indice de fin d'activité chlorophyllienne, est moins apparente. L'explication de ce phénomène réside probablement dans l'action isolée ou conjointe d'autres facteurs, notamment une sécheresse prolongée du sol en fin d'été qui pourrait hâter le jaunissement ou une gélée précoce qui détruirait les feuilles encore vertes.

Dans les climatogrammes établis par PONCELET et MARTIN (1947), le nombre moyen de jour par année (1901-1930) où la température moyenne de l'air est égale à 10,0 °C (indice utilisé par RUBNER, K. pour déterminer la durée de la période de végétation des forêts) pour la région considérée se situe aux environs de 155-160. Cette valeur est également confirmée par nos observations de température faites en 1965 dans la station de Virelles-Philippart. Même si cette durée est supérieure de quelques jours à celle déterminée précédemment, il semble qu'à la température moyenne journalière de l'air, on puisse associer avantageusement celle du sol à — 10 ou

— 20 cm ou, en d'autres termes, considérer comme critère la température moyenne journalière de l'habitat.

4.6. LES PRÉCIPITATIONS

S'il est reconnu que les précipitations perturbent le thermisme du sol sous le couvert de notre forêt, leur influence est cependant temporaire (quelques heures) et généralement localisée aux 10 premiers centimètres. C'est pourquoi cet effet n'apparaît pas dans la figure 5, d'autant plus que dans cette dernière la courbe de température la plus sensible aux précipitations (à — 1 cm) n'est pas représentée.

STATION DE RECHERCHES DES EAUX ET FORÊTS,
GROENENDAAL-HOEILAART.
SECTION DE BIOLOGIE FORESTIÈRE.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

- GALOUX, A.
1966. *Rythmes énergétiques et phénophases en chênaie calcaire*. (Bull. Soc. Roy. Bot. de Belgique, tome 99.)
- GEIGER, R.
1965. *The climate near the ground*. (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.)
- HAUTFENNE, M.
1952. *Une année d'enregistrement continu de la température du sol*. (Mém. Inst. Royal. Météor. de Belgique. Mémoire, vol. L.)
- MITSCHERLICH, G., MOLL, W., KÜNSTLE, E. und MAURER, P.
1965-1966. *Temperaturverhältnisse Ertragskundliche-Ökologische Untersuchungen im Reim- und Mischbestand*. (Allgemeine Forst und Jagdzeitung, n. 136-10 à 12, 1965 und n. 137-1 à 5, 1966.)
- NICOLET, M.
1949. *Sur la mesure des températures au voisinage du sol*. (I. R. M. Miscellanées, fasc. 38.)
- PONCELET, L. et MARTIN, H.
1947. *Esquisse climatographique de la Belgique*. (Mémoires, vol. XXVII, Institut Royal Météor. de Belgique.)
- RUBNER, K. und REINHOD, F.
— *Das Natürliche Waldbild Europas*, P. PAREY. (Hambourg und Berlin, 288 p.)

