Geo-Eco-Trop., 2020, 44, 2 : 237-253

Etude des températures des sols de trois écosystèmes naturels du Haut-Katanga

Study of soil temperatures in three natural ecosystems of High-Katanga

N'Landu DIKUMBWA [1,2], Sybille ALEXANDRE-PYRE [3], Scott Tshibang NAWEJ [4]
& François MALAISSE [5,6*]

Abstract: The present paper deals with the soil temperature variations during one year in three natural ecosystems of High-Katanga in the Democratic Republic of Congo from measurements carry out in 1971-72, thus about fifty years ago, and other measurements taken from June 1982 until June 1984. The three natural ecosystems are the dry evergreen forest, the open forest and the savannah. From as well the observations carried out on the first or the second series, three seasons extricate for all the depth. In the rainy season, the temperatures on surface are of 17,2-22,9 ; 20,1-30,3 and 18,6-31,3°C respectively for the dense dry evergreen forest, the open forest and the savannah. According to the same sequence, the temperatures are of 9,4-21,7 ; 11,5-25,0 et 9,8-44,9 °C during the cold dry season and of 15,3-25,0 ; 17,8-31,8 and 17,9-53,8°C during the dry warm season. The temperature increases from the closed environment to the open environments and slightly reduces with depth becoming constant at -100 cm.

Keywords: Temperature, Soil, High-Katanga, Dry evergreen forest, Miombo woodland, Savannah, Natural ecosystems.

Résumé : Le présent article aborde les variations de la température du sol au cours d'une année dans trois écosystèmes naturels du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo à partir de mesures effectuées en 1971-72, donc il y a une cinquantaine d'années et d'autres mesures effectuées de juin 1982 à juin 1984. Les trois écosystèmes sont la forêt dense sèche, la forêt claire et la savane. Qu'il s'agisse des observations de la première ou de la seconde série, trois saisons s'y dégagent quelle que soit la profondeur. La saison des pluies, où les températures extrêmes en surface sont de 17,2-22,9 ; 20,1-30,3 et 18,6-31,3°C respectivement en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane. Selon la même séquence, ces températures sont de 9,4-21,7 ; 11,5-25,0 et 9,8-44,9 °C en saison sèche froide, de 15,3-25,0 ; 17,8-31,8 et 17,9-53,8°C en saison sèche chaude. La température augmente du milieu fermé vers les milieux ouverts et diminue légèrement avec la profondeur pour devenir constante à -100 cm.

Mots clés : Température, Sol, Haut-Katanga, Forêt dense sèche, Miombo, Forêt claire, Savane, Écosystèmes naturels.

INTRODUCTION

La microclimatologie du sol, notamment l'étude des variations de température en profondeur, a fait l'objet de peu d'ouvrages dans les régions tropicales. Les difficultés présentées pour la collecte des données ont une grande part de responsabilités dans cette carence. En ce qui concerne l'Afrique centrale néanmoins, dès 1969, DUPRIEZ a pu utiliser les données récoltées pendant deux ans dans 24 postes situés en République Démocratique du Congo, à l'époque colonie belge. Les instruments de mesure étaient placés dans des parcs météorologiques, où une couverture herbacée était maintenue tout au cours de l'année.

La présente étude initiée en 1971-72 et poursuivie de juin 1982 à juin 1984, après une interruption de 10 ans, est consacrée aux milieux naturels du site de la Luiswishi (altitude 1208 m, 11°29'05'' S, 27°36'10'' E). Ce site, situé à une vingtaine de kilomètres à l'ENE de Lubumbashi, avait été choisi pour son accessibilité, sa riche biodiversité et le bon état de conservation de ses écosystèmes.

(1) Professeur à l'Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.
(2) Professeur à l'Université Agostinho Neto, C.P. 467, Luanda, République d'Angola, dikumbwa@gmail.com
(3) Décédée le 26 mars 2013. Jadis, Institut de Géographie de l'Université de Liège, Belgique. Voir Annexe 2.
(4) Assistant au Département de Géographie et Sciences de l'Environnement, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo, scottnawej@gmail.com
(5) Unité de Recherche « Biodiversité et Paysage », Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Belgique.
(6) Botanical Garden Meise, Belgique.
* Correspondance : malaisse1234@gmail.com

Dans les lignes qui suivent nous passons brièvement en revue les caractéristiques écologiques du site de la Luiswishi et ensuite nous envisageons son climat.

Caractéristiques écologiques du site de la Luiswishi

Pour des raisons très ténues et en partie historiques, trois écosystèmes très différents subsistent, côte à côte, dans un milieu peu différencié par ailleurs (substrat géologique assez uniforme, même topographie de plateau bien drainé) et dans un site qui a pu être protégé et donc qui a échappé pendant longtemps aux incursions boulimiques des agriculteurs et surtout des charbonniers. Ils constituent la série régressive de la Luiswishi.

Ces trois écosystèmes, forêt dense sèche (« muhulu »), forêt claire (« miombo ») et savane ont été décrits à de nombreuses reprises, principalement par MALAISSE et al. (1972). Ils ont fait l'objet de diverses publications dont les informations que ces dernières contiennent sont à prendre en considération dans la présente étude. Nous citons pour leur pertinence : GOFFINET & FRESON (1972), GOFFINET (1973), FRESON et al. (1974), NOTI & LEBRUN (1987) et DIKUMBWA (1990, 1991).

Des photographies de ces trois écosystèmes sont reprises à l'Annexe 1.

Climat du site de la Luiswishi

Le site de la Luiswishi en particulier et le Haut-Katanga en général connaissent un climat de type A_w4 de Köppen. C'est un climat humide (1200 mm. an^{-1}) avec une saison sèche de l'ordre de six mois. L'altitude (environ 1200 m) modère la température (quelques 20° C), malgré une latitude intertropicale (11-13°). Les deux passages du soleil au zénith (novembre et février) n'ont pas le même effet sur la température. Alors que le premier se présente au début ou légèrement avant la saison des pluies et produit des maxima sensibles, le second se situe en saison des pluies où nébulosité et évaporation des précipitations limitent le réchauffement diurne alors que les températures minimales restent assez élevées. L'amplitude entre minima et maxima est, de ce fait, beaucoup plus faible au cours de la saison des pluies (10°C) que lors de la saison sèche (18-20°C).

En se fondant sur des observations écologiques, en particulier la phénologie, les chercheurs qui ont été étudiés le site de la Luiswishi, ont subdivisé l'année climatologique en trois saisons (FRESON et al., 1974, DIKUMBWA, 1990, 1991), ou en cinq (MALAISSE, 1978).

Les trois saisons reconnues par Freson et al. sont :

1) *la saison sèche* (185 jours en moyenne) de mai à septembre ;

2) *la saison des pluies* (118 jours en moyenne) de novembre à mars ;

3) *deux mois de transition* (octobre et avril).

Les cinq saisons reconnues par Malaisse sont :

1) *la pleine saison des pluies* (décembre-mars) avec des minimums et des maximums assez élevés et en moyenne, peu variables ; toutefois il ne faut pas exclure une période de quelques jours peu nuageuse avec des températures maximales légèrement supérieures (de 3°C) ;

2) *la transition vers la saison sèche* (avril-mai) où les températures minimales diminuent rapidement (de 6°C environ) ;

3) *la saison sèche froide* (juin-mi-août) où les maximums et les minimums sont les plus bas, respectivement de 3° et 10°C sous les valeurs de la saison des pluies ;

4) *la saison sèche chaude* (mi-août à fin septembre) période pendant laquelle les températures extrêmes augmentent de concert ;

5) *le début de la saison des pluies* où l'installation définitive de la saison des pluies, dont la précarité ne facilite pas la précision, avec une évolution croisée des minima et des maxima, le mois d'octobre enregistrant les températures moyennes les plus élevées.

Enfin, les trois saisons que les travaux de Dikumbwa ont circonscrites sont :

1) *la saison humide* (novembre à mi-avril), encore appelée « mayisa » en langue lamba, avec des précipitations sous forme d'orages et de fortes averses et de rares périodes de pluies continues pendant plusieurs jours ;

2) *la saison sèche froide* (mi-avril à août), encore appelée « impepo » en langue lamba, avec des températures nocturnes basses et très rarement et localement des gelées au sol ;

3) *la saison sèche chaude* (septembre à début novembre), encore appelée « ulusuva » en langue lamba, saison où l'on observe une augmentation progressive de la température et des précipitations.

METHODES D'ETUDE

Tous les travaux relatifs au milieu édaphique concernaient la tranche de 0 à -100 cm, laquelle est généralement considérée comme faisant partie de l'écosystème forestier (HASE & FÖLSTER, 1982).

Un site pour la thermométrie a été installé dans chacune de trois formations végétales, suffisamment proches l'un de l'autre pour permettre des relevés presque simultanés. Les données de 1971-1972 ont été obtenues par, vers le milieu de chaque mois, lectures des valeurs des thermomètres, toutes les deux heures de 18 heures jusqu'au lendemain à 16 heures, dans les trois sites successivement, à dix minutes d'intervalles. Les thermomètres ont été placés à diverses profondeurs, à savoir surface, cinq, dix, vingt, trente, cinquante et cent centimètres.

Les observations de juin 1982 à juin 1984, se sont déroulées dans les mêmes formations végétales et aux mêmes profondeurs. Les trois sites d'étude ont été choisis dans des lieux spécifiques. Les températures ont été notées deux fois par semaine, le mercredi et le samedi, toutes les deux heures, de 8 heures à 18 heures. On a pu ainsi disposer, pour cette période, de neuf observations mensuelles. Une fois le mois, douze observations pendant une journée entière de 24 heures, ont complété la série.

Qu'il s'agisse des données de 1971-1972 ou de celles de juin 1982 à juin 1984, les variations journalières comme mensuelles des températures ne se sont produites que dans les 20 premiers centimètres du sol. Au-delà, la température et le taux d'hydratation du sol pour un biotope donné et un jour déterminé, ne varient plus, quelle que soit la période de l'année. On notera toutefois, une très légère fluctuation de température mais insignifiante au niveau de -50 cm qui est celui de la stone line. Par ailleurs, dans le présent article, toutes les températures sont exprimées en degré Celsius.

En outre, c'est cette tranche semi-holorganique de 0 à -20 cm qui reçoit les dix tonnes d'apports organiques à la litière annuelles et concentre de 44 à 70 % des racines de la forêt dense sèche (DIKUMBWA, 1991). C'est aussi le faciès où la dégradation de la litière est la plus importante.

Par-dessus, les travaux antérieurs effectués dans d'autres régions tropicales et en particulier au Zaïre (BERRUEX, 1958; DUPRIEZ, 1969; BULTOT, 1974), ont montré que la température des différentes saisons comme les amplitudes thermiques diurnes, tant de l'air à proximité du sol que du sol même, varient peu d'une année à l'autre pour un même mois. Ainsi par exemple, de 1982 à 1984, les écarts de températures moyennes mensuelles n'ont excédé qu'une seule fois 2°C, ce qui permet de minimiser les influences qui découleraient de l'interruption pendant dix ans des observations entre les deux périodes.

RÉSULTATS

Ainsi qu'annoncé précédemment, sur base de la variabilité mensuelle des températures, DIKUMBWA (1991) a circonscrit, pour le site de la Luiswishi, trois saisons bien distinctes aussi bien en surface qu'en profondeur (fig. 13) : la saison des pluies, la saison sèche froide et la saison sèche chaude. Elles se retrouvent aussi dans les observations de 1971-1972 (Fig. 10, 11, 12). Elles sont donc une référence dans la présente étude.

Températures journalières (Fig. 1 à 9)

L'examen des températures journalières montre, quelle que soit la période de l'année (mi-juillet, mi-septembre ou mi-décembre), qu'au niveau de la surface du sol et dans les trois biotopes (Fig. 1 à 9), les courbes de températures passent par un minimum qui se situe à 6 heures et un maximum à 12 heures pour la forêt claire et à 14 heures pour la forêt dense sèche et la savane. En mi-juillet, les températures minima sont dans l'ordre de 9,4 ; 11,5 et 9,8°C successivement en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane, tandis que les maxima de 21,7 ; 25,0 et 44,9°C. Les écarts thermiques générés, évidemment plus élevés en savane, sont consécutivement de + 12,3 ; + 13,5 et + 35,1°C.

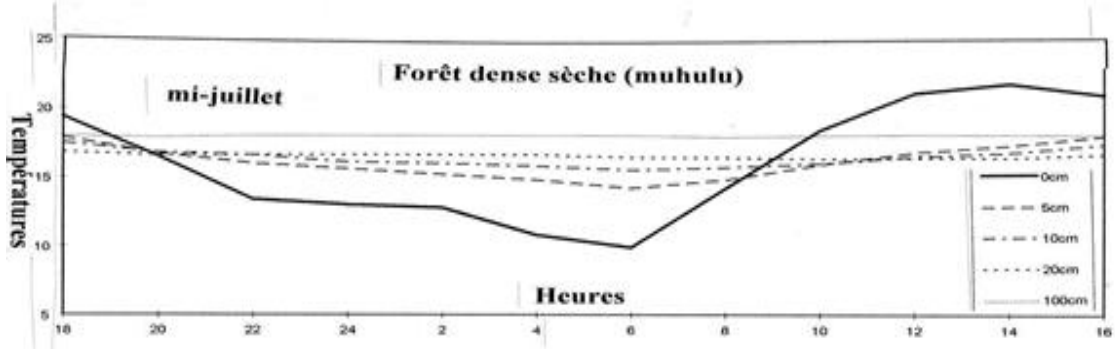


Fig. 1 : Températures journalières en mi-juillet, de 18 heures à 16 heures, en forêt dense sèche.

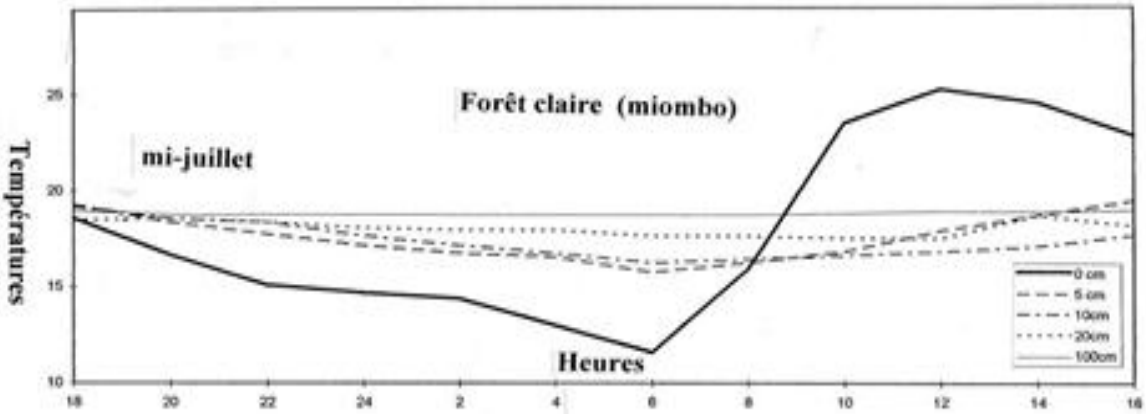


Fig. 2 : Températures journalières en mi-juillet, de 18 heures à 16 heures, en forêt claire.

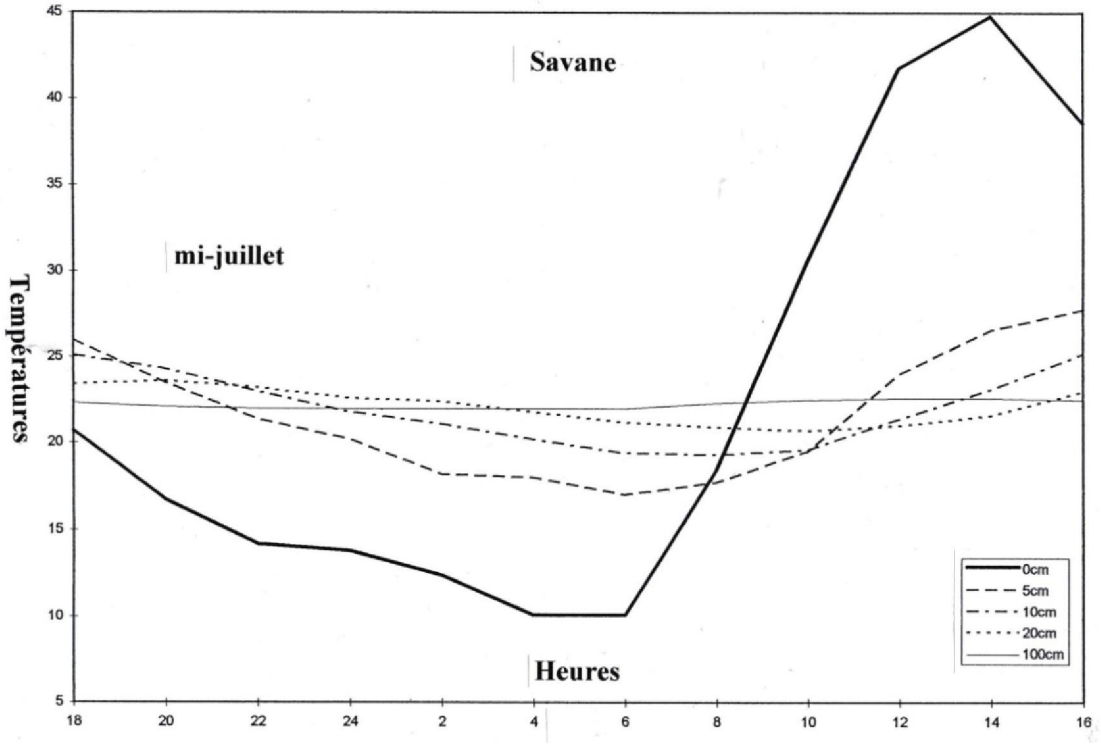


Fig. 3 : Températures journalières en mi-juillet, de 18 heures à 16 heures, en savane.

De -5 à -20 cm, les températures minimales moyennes respectives de 14,6 ; 15,8 et 17,0°C et maximales moyennes de 17,0 ; 19,1 et 25,9°C sont atteintes simultanément dans les trois écosystèmes à 6 heures, comme en surface, et à 16 heures. Les écarts thermiques sont de +3,3 ; +3,3 et +8,9°C.

Dans la tranche de 0 à -20 cm, le retard de la propagation de l'onde thermique maximale d'un niveau à l'autre est au maximum de deux heures. En novembre et en décembre cependant, il atteint simultanément tous les niveaux cités ci-dessus avec un retard de quatre heures, lequel retard s'explique par la fréquente couverture nuageuse totale du ciel (7 à 8 octas) à partir de 9 heures G.M.T. jusqu'à 15 heures au cours de cette période. En novembre, la fréquence est de 8%, elle est de 16% en décembre (CRABBE, 1986).

De -5 à -100 cm, il s'est produit une inversion thermique entre 21 heures et 11 heures, pour la forêt dense sèche ; pour la forêt claire et la savane, elle ne s'est pas reproduite au même moment pour tous les niveaux. Elle est intervenue entre 19 heures et 9 heures (de -5 à -10 cm). Cette différence traduit nécessairement l'effet différentiel du couvert végétal (Fig. 1 à 3).

Au niveau de -100 cm, la température journalière dans chacun des milieux ne varie pas et elle est dans l'ordre indiqué de 17,9 ; 18,9 et 22,4°C.

Eu égard aux observations de mi-septembre, période qui représente la saison sèche chaude, en surface et dans les trois formations végétales, le minimum et le maximum sont atteints, dans l'ordre, à 4 heures et à 14 heures (fig. 4 à 6). Les maxima sont respectivement de 25 ; 31,8 et 53,8°C en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane ; les minima de 15,3 ; 17,8 et 17,9°C, générant ainsi des écarts thermiques dans l'ordre de + 9,9 ; + 14,0 et + 35,9°C. Malgré des températures plus élevées qu'en juillet, à l'exception de la forêt dense sèche qui présente des écarts différents, ils sont pareils pour les deux autres milieux (Tableau 1).

De -5 à -20 cm et dans les trois milieux, les minima moyens respectifs de 17,0 ; 20,6 et 25,0°C se sont produits à 6 heures, avec un retard de deux heures par rapport à la surface, tandis que les maxima moyens de 23,0 ; 24,3 et 33,7°C à 14 heures. Après, la déperdition de la chaleur devient plus rapide dans les horizons de surface qui sont ainsi moins chauds que ceux de profondeur. On enregistre alors une inversion thermique entre 22 heures et 8 heures en forêt dense sèche, entre 21 heures et 8 heures en forêt claire et entre 20 heures et 9 heures en savane. Le réchauffement diurne subséquent de la savane est lent par rapport aux deux autres milieux. Le retard est dû au grand refroidissement nocturne qui résulte de l'absence d'un couvert végétal protecteur conséquent.

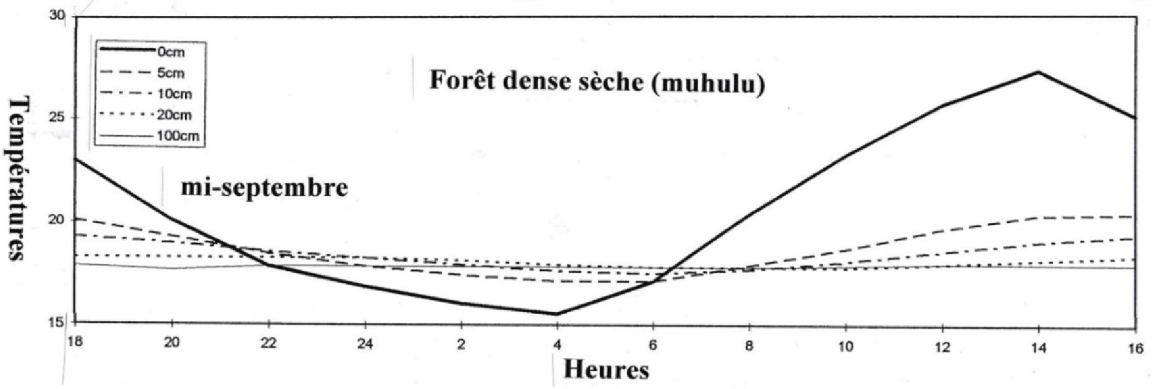


Fig. 4 : Températures journalières en mi-septembre, de 18 heures à 16 heures, en forêt dense sèche.

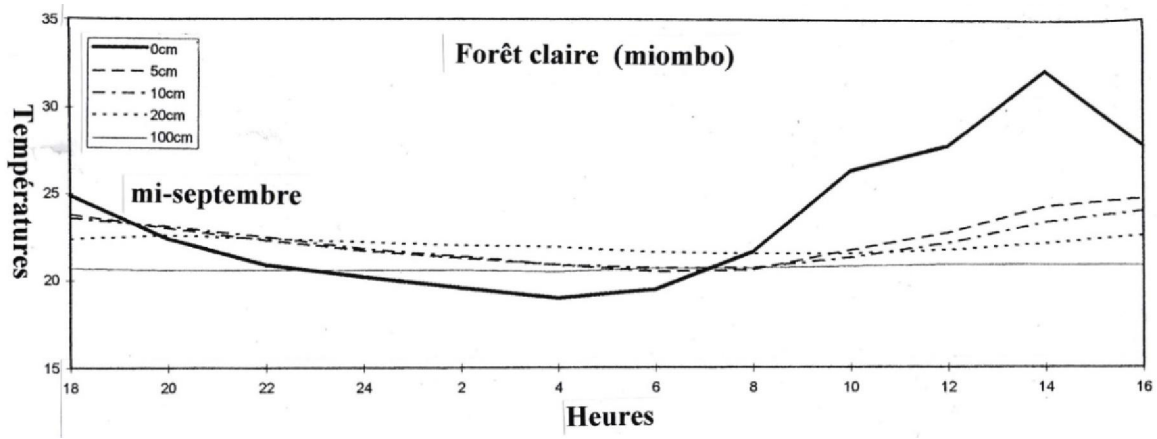


Fig. 5 : Températures journalières en mi-septembre, de 18 heures à 16 heures, en forêt claire.

À -100 cm, comme annoncé précédemment, les températures spécifiques à chaque milieu sont constantes et sont de 17,8 ; 20,6 et 26,5°C en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane.

La saison des pluies, laquelle s'échelonne de novembre à mi-avril et qui est représentée par mi-décembre (fig. 7 à 9), enregistre des températures intermédiaires entre celles basses de la saison sèche froide et celles hautes de la saison sèche chaude. En surface, les maxima sont atteints à 12 heures dans les trois milieux, les minima à 6 heures en forêt dense sèche et en forêt claire, tandis qu'ils apparaissent deux heures plus tôt, à 4 heures en savane ; et cela étant donné la rapide déperdition de la chaleur par l'absence d'un couvert végétal conséquent. Les maxima de température, faibles en comparaison à mi-septembre, sont respectivement de 22,9 ; 30,3 et 31,3°C en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane ; les minima, relativement élevés par rapport à mi-septembre, de 17,2 ; 20,1 et 18,6°C ; d'où donc des faibles écarts thermiques de + 5,5 ; + 10,2 et + 12,7°C, comparables à ceux des températures mensuelles (Tableau 2).

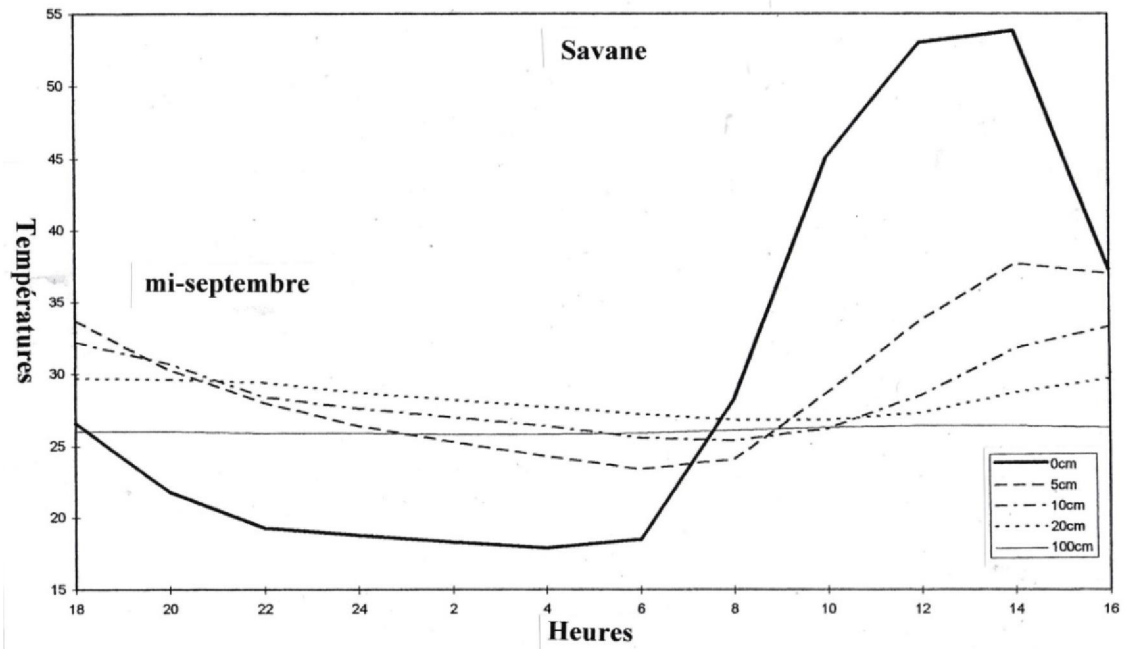


Fig. 6 : Températures journalières en mi-septembre, de 18 heures à 16 heures, en savane.

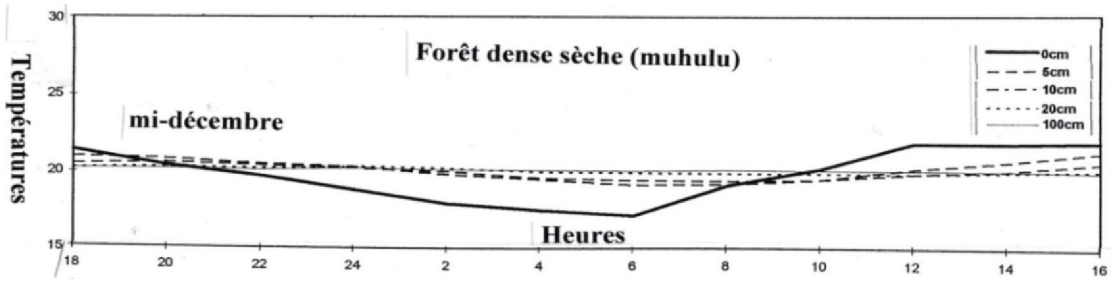


Fig. 7 : Températures journalières en mi-décembre, de 18 heures à 16 heures, en forêt dense sèche.

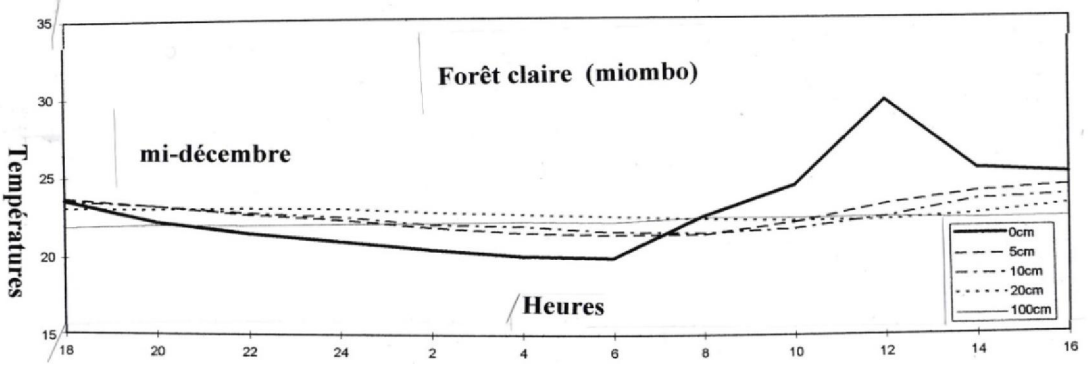


Fig. 8 : Températures journalières en mi-décembre, de 18 heures à 16 heures, en forêt claire.

Dans les horizons subjacents, les maxima moyens respectifs de 20,8 ; 23,8 et 25,5°C sont tous apparus au même moment, à 16 heures dans les trois biotopes et les minima moyens de 19,6 ; 21,5 et 23,1°C à 6 heures. Par ailleurs, comme signalé en mi-septembre dans les couches surincombantes, l'inversion thermique a lieu ici de 1 heure à 11 heures en forêt dense sèche, de 1 heure à 8 heures en forêt claire et de 19 heures à 11 heures en savane. La très faible couverture végétale en savane a entraîné un début précoce d'une longue déperdition de chaleur. Tandis que la précocité de la fin de l'inversion thermique en forêt claire, vis-à-vis de la savane, s'explique par le fait qu'en période nocturne, la savane, qui est à découvert, accumule plus de froid que la forêt claire.

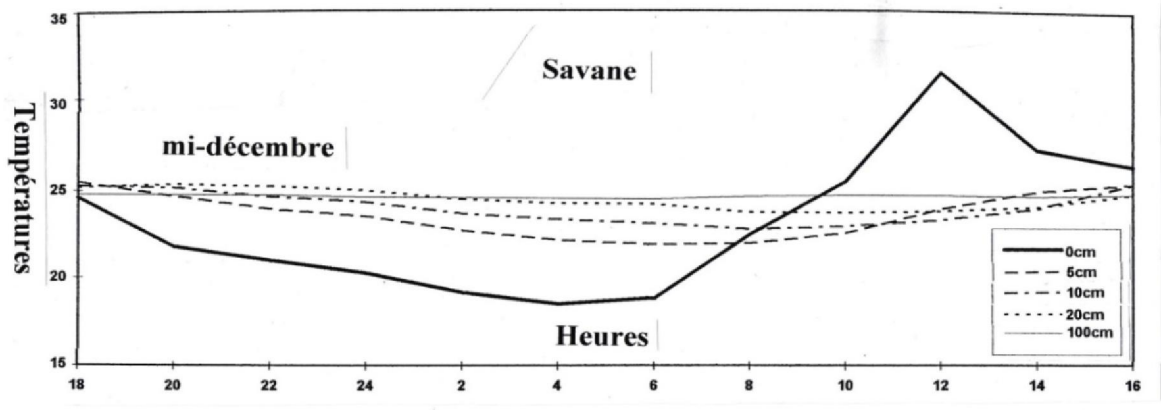


Fig. 9 : Températures journalières en mi-décembre, de 18 heures à 16 heures, en savane.

A – 100 cm, à cette profondeur, les températures dans les trois formations, forêt dense sèche, forêt claire et savane, sont proches et comparables. En se référant à ce qui précède, elles se succèdent de la manière suivante : de 17,9 ; 18,9 ; 22,4°C en mi-juillet, de 17,8 ; 20,6 ; 26,5°C en mi-septembre et enfin de 20,3 ; 21,9 ; 24,7°C en mi-décembre.

On en conclut que, quelle que soit la profondeur, les températures journalières s'élèvent avec la hauteur du soleil. Le maximum diurne se situe, soit à 12 heures en saison des pluies, soit à 14 heures en saison sèche froide ; la saison sèche chaude se rattachant tantôt à l'une, tantôt à l'autre de ces saisons. Les températures augmentent en allant des milieux fermés aux milieux ouverts. Les moyennes mensuelles sont de 18,5°C en forêt dense sèche, de 20,7°C en forêt claire et de 23,9°C en savane.

Les écarts thermiques saisonniers (Tableau 1), à l'exception de la forêt dense sèche et la période de mi-décembre qui présentent des écarts totalement différents en chaque saison, sont pareils en mi-juillet et mi-septembre pour la forêt claire et la savane. Ce qui permet une fois encore de mettre en évidence les particularités de la forêt dense sèche.

Tableau 1 : Écarts thermiques saisonniers en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane

Saisons	Forêt dense sèche	Forêt claire	Savane
Mi-juillet	12.3	13.5	35.1
Mi-septembre	09.9	14.0	35.9
Mi-décembre	05.5	10.2	12.7

Températures mensuelles

Au cours d'un cycle annuel, en se rapportant sur les quatre niveaux de référence, les courbes respectives de fluctuation des températures mensuelles (Fig. 10 à 12) ou moyennes mensuelles (Fig. 13) passent par trois inflexions. En surface, la première qui indique le minimum s'est situé en juin-juillet en forêt dense sèche, en août en forêt claire et en mai en savane, pour les températures mensuelles. Ce minimum est en juin, pour les trois écosystèmes et pour toutes les profondeurs, en ce qui concerne les températures moyennes mensuelles. La deuxième inflexion, celle qui signale le premier maximum, s'est placée en septembre pour les trois biotopes pour les températures mensuelles. Elle est en octobre pour la savane, en décembre pour la forêt claire et la forêt dense sèche, en octobre exceptionnellement en surface et à -10 cm pour cette dernière formation, pour les températures moyennes mensuelles (Fig. 13). La troisième inflexion est en mars pour les deux périodes d'observations et signale le second maximum, moins apparent que le premier. Il atteint de manière simultanée les trois écosystèmes et les profondeurs de référence.

Il y a donc un maximum plus apparent en septembre ou octobre en saison sèche chaude, un maximum moins apparent en mars, en saison sèche froide et le minimum en juin-juillet ou juin en saison des pluies.

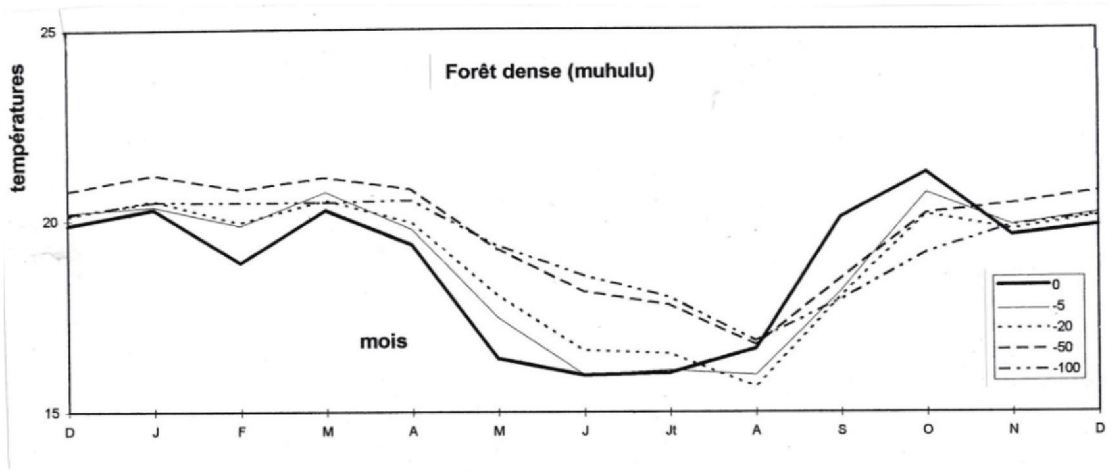


Fig. 10 : Températures mensuelles du sol en forêt dense sèche (1971-1972)

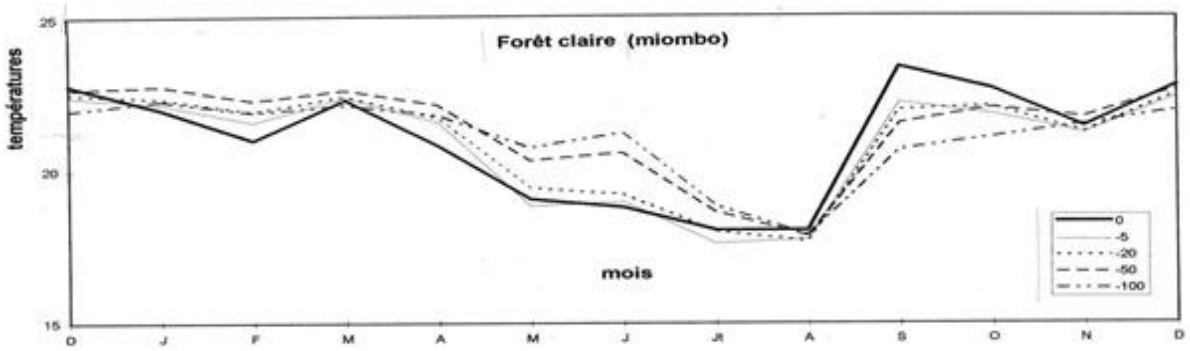


Fig. 11 : Températures mensuelles du sol en forêt claire (1971-1972)

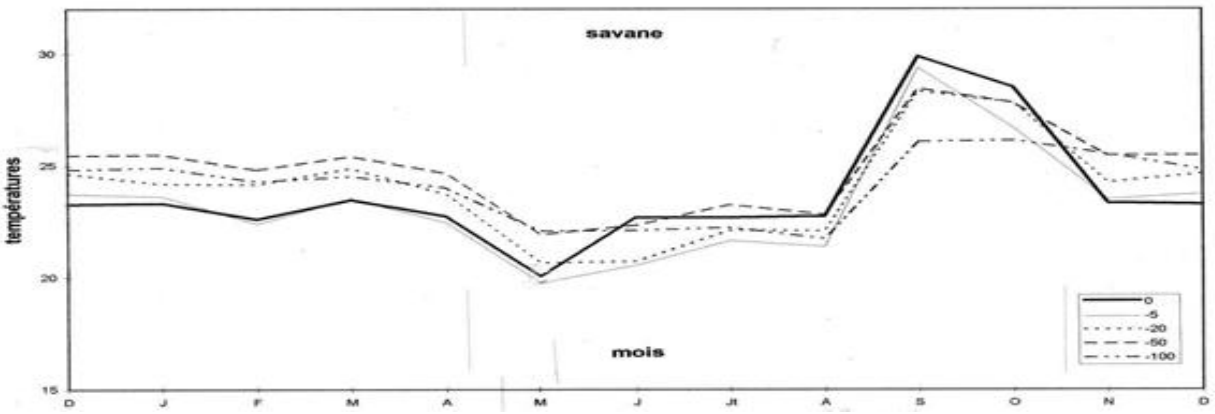


Fig. 12 : Températures mensuelles du sol en savane (1971-1972)

S'agissant des amplitudes thermiques saisonnières moyennes mensuelles (Tableau 2), la subdivision de l'année en trois saisons se réduit à faire apparaître seulement la saison des pluies et la saison sèche chaude. On a des amplitudes thermiques journalières élevées en saison sèche chaude et faibles en saison des pluies et en saison sèche froide. En savane et en saison sèche, la surface du sol étant dégagée, les amplitudes thermiques entre la saison sèche froide et la saison sèche chaude deviennent encore plus élevées que celles établies dans les deux autres milieux. Elles sont presque nulles en forêt claire.

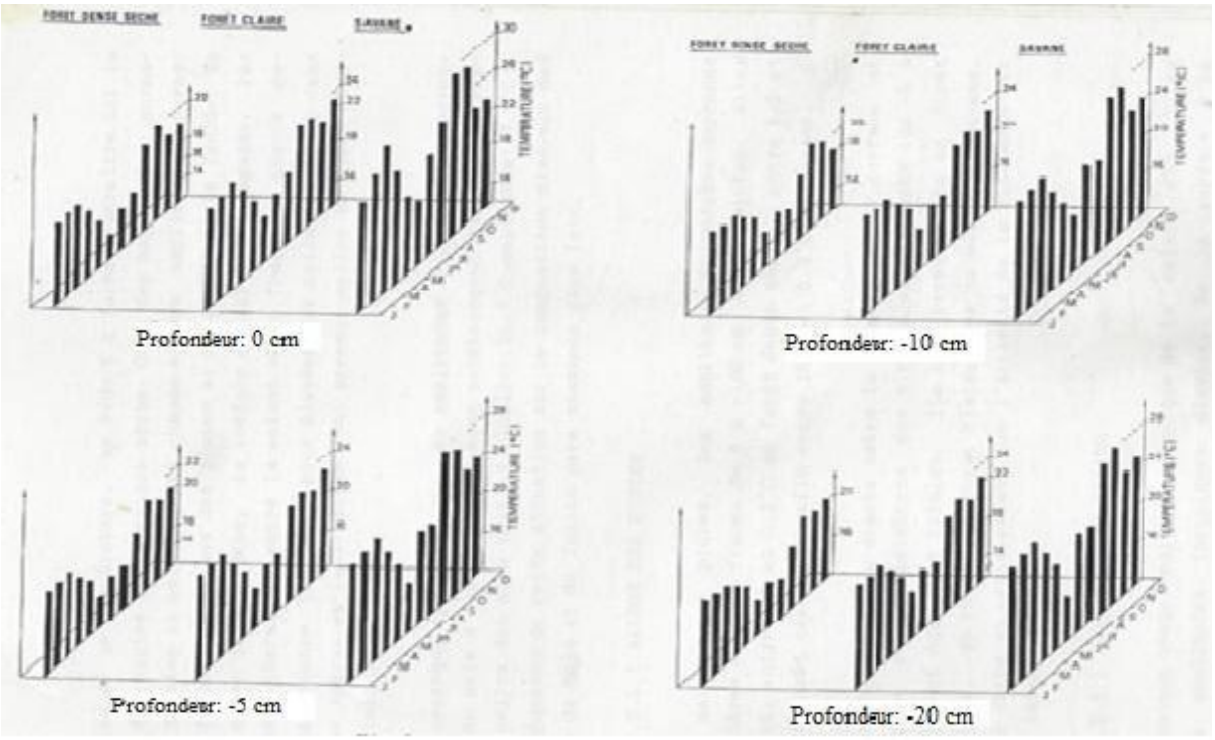


Fig. 13 : Températures moyennes mensuelles du sol (DIKUMBWA, 1991)

Tableau 2 : Amplitudes thermiques saisonnières moyennes mensuelles au sol (DIKUMBWA, 1991)

Saisons	Forêt dense sèche	Forêt claire	Savane
Saison des pluies	5,6	9,2	17,6
Saison sèche	11,8	13,5	32,0
Saison sèche froide	10,7	13,1	27,5
Saison sèche chaude	12,1	13,0	34,3
Moyenne	8,2	11,0	23,6

On remarque également (Fig. 13) que les amplitudes thermiques du mois d'août (30,9° C) sont relativement faibles par rapport à celles des mois voisins (juillet : 34,7° C, septembre 37,6° C). Cette situation particulière ne paraît cependant pas fortuite, car elle a eu un impact au niveau de la composition minérale des apports à la litière de bois et des fruits (DIKUMBWA, 1991).

En saison des pluies, les amplitudes thermiques moyennes mensuelles dans la tranche de 0 à -100 cm sont faibles. Elles fluctuent entre + 4,6 et + 0,2° C en forêt dense sèche, entre + 8,3 et + 0,3 en forêt claire et enfin entre + 15,4 et + 0,6° C en savane.

Par ailleurs les écarts entre la température de surface et la moyenne des températures des niveaux subjacents (de -5 à -100 cm) sont également faibles. Ils sont presque nuls en forêt dense sèche, de + 0,3° C en forêt claire, et de -0,2° C en savane. C'est du reste en cette saison que l'activité de la biocénose, en particulier la décomposition de la litière, est la plus intense.

La saison sèche froide se dissocie de la saison des pluies par des amplitudes thermiques moyennes mensuelles élevées. De la surface à la profondeur de référence de -100 cm, elles varient de + 10,5 à + 0,3, de + 12,5 à + 0,3 et de + 26,6 à + 0,6° C respectivement en forêt dense sèche, en forêt claire et en savane.

Par rapport à la saison sèche chaude, il se produit une inversion thermique entre la surface et les horizons subjacents. En effet, bien que faible, la différence des températures devient négative. Elle est de l'ordre

de -2,4° C en forêt dense sèche, de – 0,5° C en forêt claire et de -0,2° C en savane. La forêt dense sèche est donc un milieu tempéré en ce qui concerne notamment l'espace compris entre la surface et le niveau référé de -100 cm.

La saison sèche chaude se distingue de la saison sèche froide par l'augmentation des amplitudes thermiques qui sont donc les plus élevées de l'année. Leurs valeurs extrêmes en fonction de la profondeur (au niveau de 0 et -100 cm) sont en moyenne de + 11,5 à + 0,3° C en forêt dense sèche, de + 13,3 à + 0,4° C en forêt claire et de + 33,2 à + 0,6° C en savane.

Les différences thermiques entre la surface et les couches subjacentes sont également élevées par rapport à la saison des pluies et la saison sèche froide. Elles sont respectivement de l'ordre de + 1,3, de + 1,5 et de + 2,1° C en forêt dense sèche, forêt claire et en savane. C'est en cette période par ailleurs que la défoliation et la déhiscence des fruits deviennent plus spectaculaires.

On en conclut donc que, malgré le refroidissement des horizons superficiels en saison sèche froide, la forêt dense sèche est le milieu où la déperdition de la chaleur est la plus faible ; alors qu'elle est la plus forte en savane aussi bien en surface qu'en profondeur, la forêt claire occupant une position intermédiaire entre les deux autres formations végétales.

DISCUSSION

Jadis, de nombreux travaux sur le climat du Katanga avaient été réalisés en particulier par GASTHUYS (1911), VANDENPLAS (1943), BULTOT (1957). Récemment, HARJOABA & MALAISSE (1978), MALAISSE (1978), NTOMBI (1982, 1990), KALOMBO (2015), se sont penchés plus spécialement sur le climat de la ville de Lubumbashi et ses environs immédiats. Ils ont visé en fait la compréhension du macroclimat ou du mésoclimat. Dans les milieux plus restreints de voisinage de Lubumbashi, comme le site de la Luiswishi, il fallait descendre à une échelle plus petite encore.

Quel est en fait le rôle de la température du sol dans le fonctionnement d'un écosystème forestier ? Les phénomènes tels que la décomposition de la litière, la chute des feuilles, l'inféodation d'une faune à un biotope donné, tels les cas de *Cryptomys hottentotus, Elaphrodes lactea,* etc., ne peuvent être compris sans recours au microclimat du lieu notamment. Ainsi, la défoliation massive des arbres en saison sèche dépend-t-elle de la température de l'air ou du sol ?

Certains auteurs qui ont travaillé en forêts équatoriales et tropicales, surtout MADGE (1965) au Ghana, BERNARD (1970) en Côte-d'Ivoire, FÖLSTER & DE LAS SALAS (1976) en forêt amazonienne, ont développé l'idée du rôle majeur de la température sur la défoliation.

En effet, BERNARD-REVERSAT et al. (1972) ont montré que la chute des feuilles et l'insolation mensuelle étaient corrélées positivement (r = 0,79) et ont exclu les influences des précipitations. Il en est de même de NJOKU (1963) en forêt dense humide du Nigéria.

En forêt dense sèche de la Luiswishi, le maximum de chute des feuilles et des fruits se situe en septembre, précédant d'un mois le maximum des températures. La correspondance entre le mois des maxima des amplitudes thermiques du sol et celui des maximas de la chute des feuilles et des fruits pourrait indiquer que c'est le stress thermique qui expliquerait mieux la chute des feuilles et des fruits.

Par ailleurs, DIKUMBWA (1991) a montré que l'hydratation minimale moyenne du mètre supérieur des sols de la forêt dense sèche (16,8 ± 4,2) se situe en septembre mais en dessous du point de flétrissement permanent (pF 4,2 = 13,5 % à -5 cm, 7,5 % dans les horizons subjacentes (GOFFINET, 1973). Étant donné le rôle combien important de l'eau dans le développement des plantes, on peut penser que le rythme d'alimentation de l'écosystème en eau contrôle beaucoup mieux que d'autres facteurs le cycle des apports à la litière.

En corrélant la chute mensuelle des feuilles à la température moyenne mensuelle du sol, au seuil de 0,05, le coefficient de corrélation obtenu, $r_{.}$ = 0,82, est très élevé. La corrélation avec la teneur en eau du sol donne un coefficient, tout aussi élevé, mais négatif ($r_{.}$ = -0,75) ; en recourant à l'amplitude thermique moyenne journalière du sol en savane, on a abouti à un coefficient plus faible que celui obtenu avec la température moyenne mensuelle ($r_{.}$ = 0,56). Si l'on considère les corrélations partielles toujours au seuil de 0,05, la température moyenne mensuelle intervient pour une part importante de 70 % dans la défoliation.

D'autre part, alors que la forêt dense sèche et la forêt claire se distancent de moins de 300 mètres, la décomposition de la litière en forêt claire est l'œuvre des termites (ALONI et al., 1983), pendant que ceux-ci sont quasi-absents en forêt dense sèche. De fait, il est connu qu'au-delà d'un certain seuil d'humidité, donc de température, les termites ne construisent pas des tumulus. En outre, les travaux de GOFFINET (1973) et NOTI & LEBRUN (1987) ont montré que malgré la contiguïté de trois milieux (forêt dense sèche, forêt claire et savane), la faune édaphique qui leur est inféodée est différentielle.

En conséquence, la variabilité de la température du sol, due non seulement à l'alternance des saisons mais aussi liée au type de couvert végétal est un facteur important dans le contrôle de certains phénomènes, comme la chute des feuilles, le spectacle de déhiscence des fruits en saison sèche, la décomposition de la litière

ou la colonisation des horizons des sols. Toutefois, la température, aussi bien du sol que l'air, ne doivent pas être considérées de manière isolée. Elle agit de connivence avec d'autres facteurs comme l'hydratation du sol.

On en conclut donc que les paramètres du microclimat édaphique d'un écosystème forestier, parmi lesquels la température du sol et la teneur en eau du sol, en sont des facteurs limitants comme la température de l'air et les précipitations. Ils agissent en association et la part de chacun d'eux peut être évaluée.

BIBLIOGRAPHIE

ALONI K., MALAISSE F. & KAPINGA L. (1983). Rôle des termites dans la décomposition du bois et le transfert de terre dans la forêt claire zambézienne (Shaba, Zaïre). *New Trends in Soil Biology*, 600-602.

BERNARD F. (1970). Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire. *Oecol. Plant.*, 5: 247-266.

BERNARD-REVERSAT F., HUTTEL C. & LEMEE G. (1982). Quelques aspects de la périodicité écologique de l'activité saisonnière en forêt ombrophile sempervirente de Côte-d'Ivoire. *Tropical Ecology*, *Symp. New Delhi*, 1971, 217-234.

BERRUEX M. (1958). Contribution à la connaissance de l'atmosphère équatoriale : une année de radiosondages à Léopoldville. *Acad. Roy. Sc. Col. Mém.*, **5**(5): 79 p.

BULTOT F. (1957). Risques d'années sèches et pluvieuses au Congo belge et au Ruanda-Urundi. *Publ. I.N.E.A.C., Bur. Clim.*, **13**, 22 p.

BULTOT F. (1974). *Les progrès de la connaissance climatologique générale et tropicale*. Document de l'Institut Royal Météorologique, Bruxelles, 45 p.

CRABBE M. (1986). *La nébulosité et la visibilité au Zaïre*. Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 92 p.

DIKUMBWA N. (1990). Facteurs écoclimatiques et cycles biogéochimiques en forêt dense sèche zambézienne (Muhulu) du Shaba-Méridional. *Geo-Eco-Trop*, **14**(1-4): 1-159.

DIKUMBWA N. (1991). *L'impact des facteurs écoclimatiques sur les cycles biogéochimiques en forêt dense à* Entandrophragma delevoyi *De Wild. au Shaba méridional (Zaïre)*. Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Liège, 172 p.

DUPRIEZ G.-L. (1969). *La température du sol en région équatoriale africaine*. ARSOM, Classe des Sciences Techniques N.S., Tome **XVI-XVII**: 59 p.

FÖLSTER H. & DE LAS SALAS G. (1976). Litter fall and mineralisation in three tropical evergreen forest stands, Colombia. *Acta Cient. Venezolana*, **27**: 196-202.

FRESON R., GOFFINET G. & MALAISSE F. (1974). Ecological effects of the regressive succession Muhulu-Miombo-Savannah in Upper-Shaba (Zaire). *Proceedings of the First International Congress of Ecology*. The Hague (The Netherlands). Ed. PUDOC, 365-357.

GASTHUYS P. (1911). Service météorologique. Observations faites à Elisabethville. *Bull. Agr. Congo belge*, **2**(4): 757-760.

GOFFINET G. (1973). *Synécologie comparée des milieux édaphiques de quatre écosystèmes caractéristiques du Haut-Shaba (Zaïre)*. Thèse de Doctorat Etat, Univ. Liège, 332 p.

GOFFINET G. & FRESON R. (1972). Recherches gynécologiques sur la pédofaune de l'écosystème forêt claire (Miombo). *Bull. Soc. Ecol.*, **3**(2): 138-150.

HARJOABA I. & MALAISSE F. (1978). Le régime journalier des précipitations et les types de pluies à Lubumbashi. *Geo-Eco-Trop*, **2**(4): 401-414.

HASE H. & FÖLSTER H. (1982). Bioelement inventory of a tropical (semi-) evergreen seasonal forest on eutrophic alluvial soil, Western Llanos, Venezuela. *Acta Oecologica/Oecol. Pl.*, **3**(17): 331-346.

KALOMBO KAMUTANDA D. (2015). Caractérisation de la répartition temporelle des précipitations à Lubumbashi (Sud-est de la RDC) sur la période 1070-2014. *In* XXVIII$_e$ Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège (Belgique), 531-536.

MADGE D.S. (1965). Leaf fall and litter disappearance in a tropical forest. *Pedobiologia*, **5**: 273-288.

MALAISSE F. (1974). Phenology of the Zambezian woodland area, with emphasis on the miombo ecosystem. *In* H. Lieth (Ed.), *Phenology and seasonality modelling.* New York (U.S.A.), Springer Verlag, *Ecological Studies*, **8**: 269-286.

MALAISSE F. (1978). The Miombo ecosystem. *In Tropical forest ecosystems, a state-of-knowledge report* prepared by UNESCO /UNEP/FAO, Paris, UNESCO, Natural resources research, **XIV**: 589-606.

MALAISSE F., ALEXANDRE J., FRESON R., GOFFINET G. & MALAISSE-MOUSSET M. (1972). The miombo ecosystem: a preliminary study. *In* P. Golley & F. Golley (Eds.), *Tropical Ecology, with an emphasis on organic production*, 363-405.

MALAISSE F., MALAISSE-MOUSSET M. & SCHOROCHOFF G. (1978). Analyse de la pluviosité à Lubumbashi et dans les environs immédiats. Contribution à l'étude de l'écosystème forêt claire. *Geo-Eco-Trop*, **2**(3):301-315.

NJOKU E. (1963). Seasonal periodicity in the growth and development of some forest trees in Nigeria. I. Observations on mature trees. *J. Ecol.*, **51**(3): 617-624.

NOTI M.L. & LEBRUN P. (1987). Acariens édaphiques (Acari, Oribatida) dans trois écosystèmes contigus du Haut-Shaba, Zaïre : Premier inventaire et relations avec les types de végétation. *Revue Zool. afr.*, **101**: 233-242.

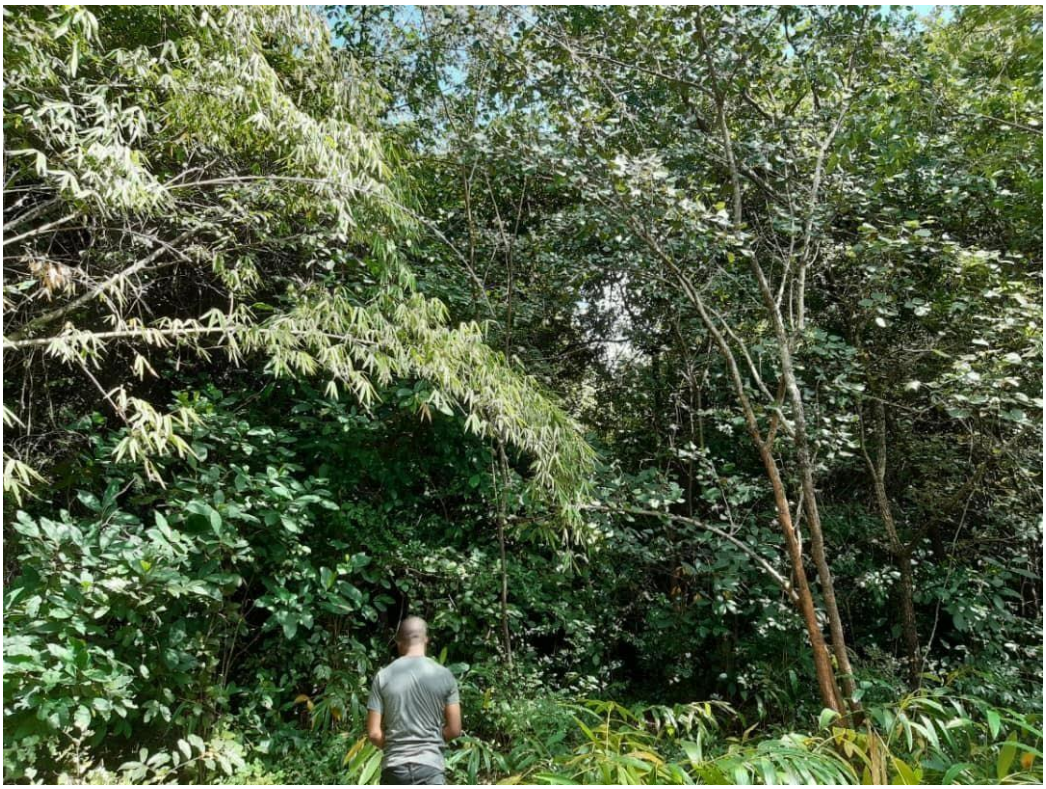
NTOMBI M.K.M.. (1982). La date du début de la saison des pluies à Lubumbashi (Shaba-Zaïre). *Geo-Eco-Trop*, **6**(3): 183-190.

NTOMBI M.K.M.. (1990). Étude des sondages aérologiques et des images satellitaires de méteosat en vue de l'explication du climat de la région de Lubumbashi (Shaba méridional, Zaïre). Thèse de doctorat, Univ. Liège, Fac. Sc., 377 p.

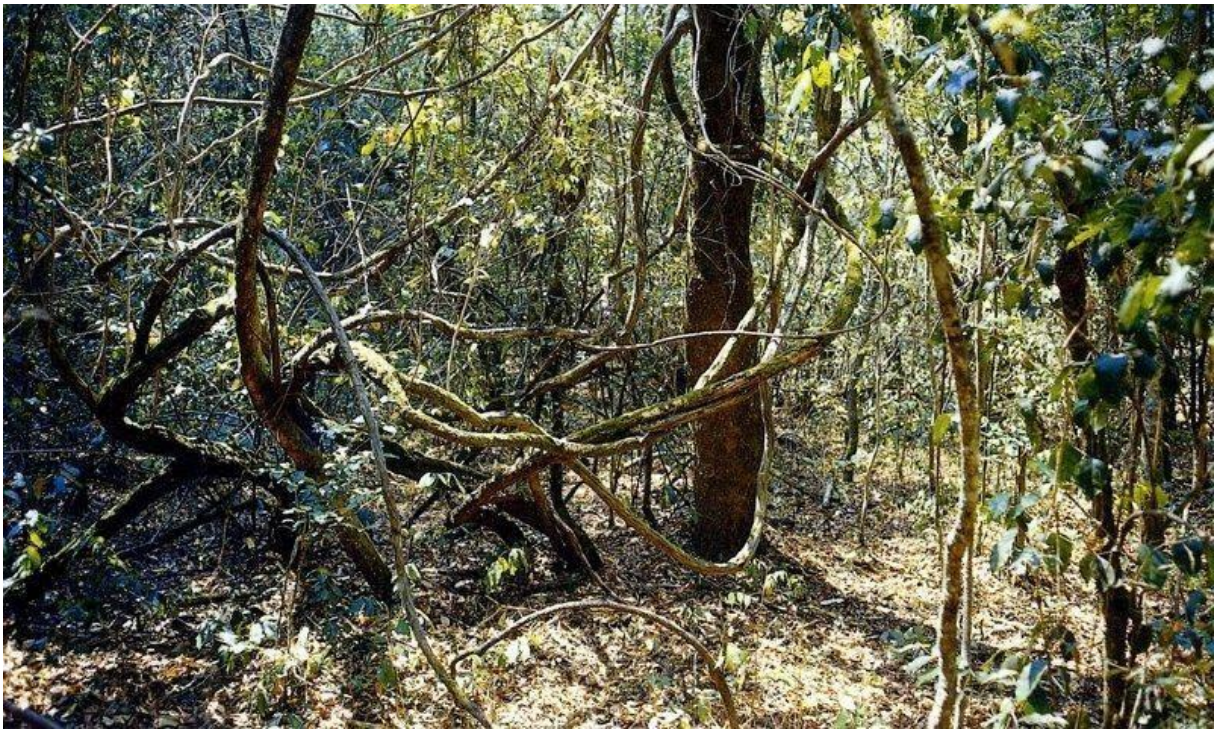
VANDENPLAS A. (1943). La pluie au Congo belge. *Bull. Agr. du Congo belge*, **34**(3-4): 275-396.

Annexe 1

Forêt dense sèche en début de saison sèche froide, 30 avril 2020 © Scott Tshibang NAWEJ



Forêt dense sèche en début de saison sèche froide, 30 avril 2020 © Scott Tshibang NAWEJ



Forêt dense sèche en saison sèche froide (mi-juillet 1971). © François MALAISSE

Forêt claire en début de saison sèche froide, 30 avril 2020 © Scott Tshibang NAWEJ

Forêt claire en saison sèche froide (mi-août 1971), après le passage d'un feu © François MALAISSE

Forêt claire en saison humide (mi-décembre 1971) © François MALAISSE

Savane et forêt claire en début de saison sèche froide, 30 avril 2020 © Scott Tshibang NAWEJ.

Annexe 2.

Une première version inachevée de cet article avait été rédigée en 1977, en collaboration avec Madame Sybille ALEXANDRE-PYRE. Elle contenait notamment la figure reprise ci-dessous.

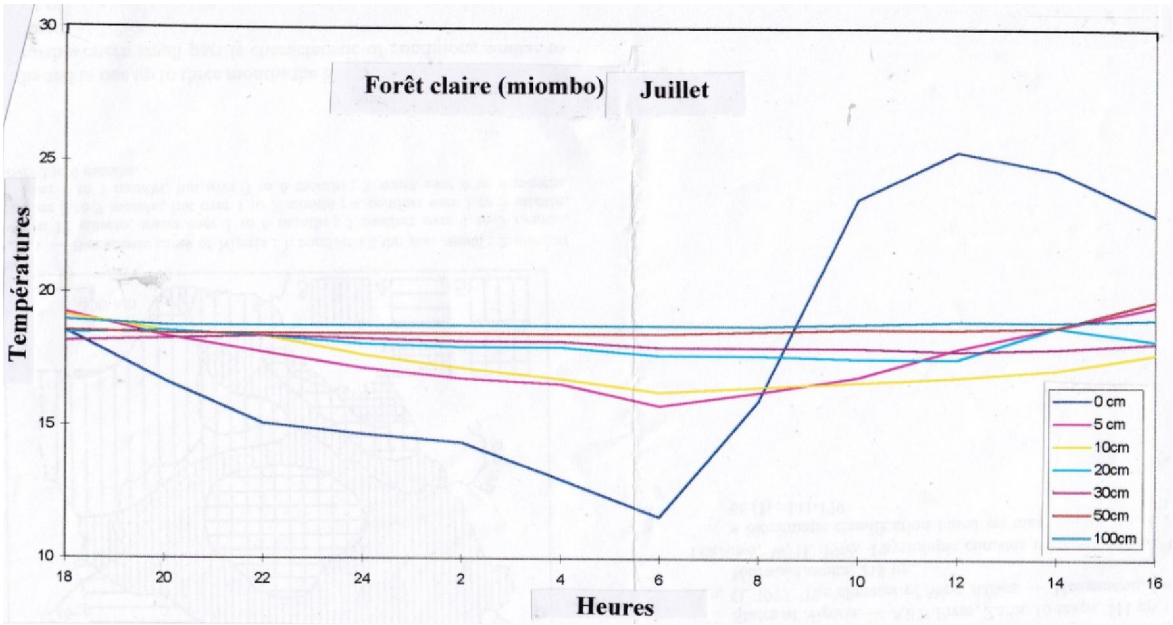


Figure 1.- Observations des mesures de température réalisées pendant 24 heures, en surface et à 6 profondeurs différentes dans le sol, en juillet 1971 dans la forêt claire de la Luiswishi.