

L'interception des pluies par différents types de couverts forestiers*

par F. PETIT et KALOMBO KAMUTANDA

Laboratoire de Géographie Physique
de l'Université de Liège

MOTS CLES.— *Evaporation directe, écoulement le long des troncs, milieu forestier, bilan hydrique.*

RESUME. — *L'interception des pluies par le couvert forestier et l'écoulement le long des troncs ont été mesurés dans trois types de peuplement forestier (une hêtraie et deux pessières d'âge différent). Dans le cas de la hêtraie, l'évaporation des lames d'eau interceptées représente, en phénophase feuillée, 31,5 % des pluies recueillies en site dégagé, contre 23 % lors de la phénophase défeuillée. Les pessières interceptent, selon l'âge, entre 33 % et 42 % des pluies; les différences saisonnières de l'interception y sont peu marquées. Ainsi, en période automnale et hivernale, l'évaporation des lames d'eau interceptées par les résineux dépasse non seulement l'évapotranspiration potentielle mais également l'énergie disponible.*

INTRODUCTION

Parmi les influences majeures que des peuplements forestiers peuvent avoir sur le bilan des eaux d'infiltration, l'interception des pluies par des couverts forestiers de différents types joue un rôle prépondérant. En effet, les lames d'eau interceptées sont évaporées ultérieurement et ne parviennent donc pas au sol; toutefois, une partie des lames d'eau interceptées s'écoule le long des troncs et de la sorte gagne le sol sans être évaporée. Ainsi, la mesure de l'interception - dont on aura déduit l'écoulement le long des troncs - représente une estimation fiable de l'évaporation directe.

(*) Recherche effectuée dans le cadre des études intégrées des problèmes hydrologiques et forestiers sur le versant septentrional des Hautes Fagnes. Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements au Professeur J. Alexandre qui a dirigé cette recherche.

Dans cette étude, nous présentons les principaux résultats obtenus lors de campagnes menées de 1980 à 1982. Ces observations ont été effectuées afin d'élaborer le bilan hydrique de petits bassins versants forestiers échelonnés sur le rebord septentrional du plateau des Hautes-Fagnes. Nous avons mesuré l'interception et l'écoulement le long des troncs de trois types de peuplement forestier - une hêtraie et deux pessières d'âge différent - ces peuplements couvrant en proportion variable les bassins versants étudiés.

I.- LA MESURE DE L'INTERCEPTION ET DE L'ÉCOULEMENT LE LONG DES TRONCS

De façon générale, l'interception des pluies par le couvert forestier est estimée par différence entre les précipitations recueillies en site découvert et les précipitations qui parviennent effectivement au sol sous couvert forestier. Toutefois, les précipitations qui atteignent les cimes des arbres peuvent être légèrement supérieures à celles qui sont mesurées au sol, en site dégagé. En effet, pendant leur chute, les gouttes de pluie subissent une légère évaporation du fait que les couches d'air qu'elles traversent ne sont pas à saturation complète.

L'évaporation des pluies lors de leur chute a été estimée entre autres par M. Erpicum (1974) grâce à une étude comparative, faite dans l'agglomération liégeoise, entre les précipitations recueillies sur la plate-forme d'un bâtiment haut de 30 m et celles qui atteignaient le pied de ce bâtiment; cette évaporation peut atteindre 20 % des précipitations recueillies au sommet du bâtiment. Toutefois, il semble bien que les conditions microclimatiques dans lesquelles ces mesures ont été faites - l'îlot de chaleur en milieu urbain - soient particulièrement favorables à cette évaporation, beaucoup plus que ne peut l'être le milieu forestier. Précisons que dans la pratique, si même l'interception était légèrement sous-estimée (ce qui résulterait uniquement du fait que ce sont les précipitations à la cime qui sont sous-estimées) aucune erreur ne serait cependant commise dans l'élaboration de bilans hydriques; en effet, la lame d'eau précipitée sur les bassins versants est estimée à partir de mesures faites en site dégagé et non à la cime des arbres, alors que ces bassins versants sont de fait entièrement boisés.

Les précipitations non interceptées sont mesurées grâce à un *réseau de pluviomètres* installé sous le couvert forestier. Toutefois, étant donné la forte variabilité spatiale des précipitations non interceptées (variabilité due notamment au recouvrement non uniforme du feuillage, à la présence de branches maîtresses), il se pose le problème du nombre de pluviomètres à installer dans chacun des réseaux ainsi que l'organisation de ces derniers. Implanter un réseau en suivant un procédé aléatoire, notamment par tirage au sort de cases dans une grille matérialisée sur le terrain, présente certes l'avantage de limiter le nombre

de pluviomètres à installer. En revanche, cette façon de procéder ne permet de cerner que de façon imparfaite les facteurs de l'interception, si bien que l'extension de ces résultats à des peuplements de même type, mais se différenciant par certains aspects mineurs, risque alors d'en souffrir.

Il était donc préférable d'installer les réseaux en cherchant à cerner certains phénomènes tels que la position des arbres les uns par rapport aux autres, l'éloignement des troncs, le recouvrement différentiel des cimes, la présence de branches maîtresses. Toutefois, pour éliminer tout risque de biaisage, il était indispensable de multiplier le nombre de pluviomètres à installer dans chaque réseau.

Au total, près de 200 pluviomètres ont été installés dans les trois parcelles étudiées ⁽¹⁾. Comme nous ne disposions pas d'un nombre aussi important de pluviomètres standard, nous en avons fabriqué - en tenant compte des remarques émises par L. Poncelet (1959) - à partir de bouteilles en matière plastique, d'une contenance de 1,5 l, toujours du même type. Les pluviomètres ainsi fabriqués sont logés dans des tuyaux en matière plastique qui sont eux-mêmes partiellement enterrés. La surface réceptrice du pluviomètre se trouve à une hauteur de 25 cm au-dessus du sol, de façon à limiter les effets du splash, tandis que l'eau recueillie dans le pluviomètre se trouve sous la surface du sol, à l'abri du rayonnement. En outre, afin de parfaire la protection vis-à-vis de ce dernier, nous avons peint en blanc la partie supérieure du pluviomètre et l'entonnoir.

Des tests préalables ont été effectués afin de s'assurer de la *validité des mesures faites avec ces pluviomètres*. En effet, comme leur section est plus petite que celle d'un pluviomètre standard et comme l'entonnoir est plus évasé, les gouttes de pluie - spécialement lors de fortes averses - rebondissent sur l'entonnoir et risquent d'en ressortir, si bien qu'une fraction des précipitations pourrait ainsi ne pas être recueillie. Toutefois, la comparaison entre les lames d'eau recueillies par un pluviomètre de notre fabrication et par un pluviomètre standard, a montré qu'il n'en n'était rien; la relation est en effet remarquablement bonne ($r = 0,998$) et la droite de régression se superpose étroitement à la droite pour laquelle les lames d'eau sont équivalentes.

Il était matériellement impossible d'assurer le relevé journalier d'un aussi grand nombre de pluviomètres. Aussi, dans un premier temps avons-nous travaillé sur des périodes hebdomadaires. Toutefois, il convenait de prendre

⁽¹⁾ Nous avons en outre contrôlé la fiabilité de chacun des réseaux, en y installant pour de courtes périodes et à différents endroits, un petit réseau transportable de pluviomètres. Celui-ci se présente sous forme d'un carré de 1 m de côté, constitué par un assemblage de tuyaux en plastique dans lesquels peuvent coulisser des petits pluviomètres: 48 pluviomètres y ont ainsi été disposés selon un maillage régulier.

certaines précautions quant à une éventuelle évaporation de l'eau recueillie dans les pluviomètres. Ainsi, nous avons mis en relation deux séries de pluviomètres : les uns relevés chaque jour, les autres seulement au bout d'une semaine, c'est-à-dire dans les conditions où nous comptons les utiliser. La relation obtenue est ici aussi très bonne ($r = 0,994$) et la droite obtenue par régression coïncide avec la droite pour laquelle les valeurs sont équivalentes, confirmant ainsi qu'il y a très peu d'évaporation dans les pluviomètres mêmes.

En assurant les relevés au cours de périodes hebdomadaires, périodes qui le plus souvent intègrent des pluies d'intensité journalière très différente, on n'obtient qu'un pourcentage moyen d'interception. De ce fait, l'influence de certains facteurs qui conditionnent l'interception risque d'être masquée; de plus, il est impossible de déterminer la lame d'eau maximale qui peut être stockée sur les cimes, ce qui, comme nous le verrons par la suite, joue un rôle quant aux conditions d'humectation vis-à-vis de l'interception elle-même. C'est pourquoi il s'est avéré intéressant d'estimer l'interception journalière des pluies. Pour ce faire, nous avons tout d'abord déterminé au sein de chacun des réseaux installés sous couvert forestier, le pluviomètre représentatif, celui dont l'interception était chaque fois identique (à un facteur constant de correction près) à l'interception obtenue grâce à tous les pluviomètres du réseau; ceci en vue d'y installer un pluviographe.

Toutefois, comme le diamètre du pluviographe est nettement supérieur à celui des pluviomètres et comme la variabilité spatiale des précipitations non interceptées est parfois importante, même sur d'aussi faibles distances, il convenait de s'assurer que les précipitations non interceptées variaient peu aux alentours du pluviomètre représentatif. Nous avons donc installé autour de ce dernier, une couronne de petits pluviomètres, de façon à obtenir une surface réceptrice identique à celle du pluviographe. Les tests se sont révélés positifs, les écarts restant inférieurs à 2 0/0.

Nous avons pu mesurer de la sorte les précipitations journalières non interceptées par le couvert forestier. Par ailleurs, deux autres pluviographes installés à proximité des parcelles étudiées, enregistrent les précipitations tombées en site dégagé. Ainsi par différence, nous avons pu estimer les valeurs d'interception journalière.

Deux hêtres et deux épicéas, situés dans les parcelles où était étudiée l'interception, ont chacun été équipés d'une gouttière, ceci afin de mesurer l'écoulement le long des troncs. Chaque gouttière cerne entièrement le tronc et aboutit à un réservoir d'une contenance de 70 l; les relevés sont effectués toutes les semaines en même temps que le relevé du réseau pluviométrique installé sous couvert forestier. Toutefois, il est vite apparu que, pour les hêtres, la capacité des réservoirs était trop faible, si bien que nous avons équipé un de ces réservoirs d'un limnigraphe couplé à un dispositif d'autosiphonnage. Grâce au limnigraphe

qui enregistre les fluctuations de hauteur d'eau dans le réservoir, il est possible de connaître le nombre de siphonnages qui se sont produits au cours de la semaine et d'estimer ainsi le volume total d'eau qui s'est écoulé le long du tronc de cet arbre.

II.— L'INTERCEPTION DE LA HÊTRAIE ET L'ÉCOULEMENT LE LONG DES TRONCS

La hêtraie étudiée se situe 600 m à l'ouest du pavillon de Alt-Hattlich (bassin de la Helle) à une altitude de 555 m. Le peuplement très âgé (plus de 150 ans), compte environ 200 arbres à l'hectare; la surface terrière est de 30 m²/ha et la hauteur moyenne des dominants est de 21 m⁽²⁾. La strate herbacée est quasi inexistante. La parcelle expérimentale s'étend sur un peu plus de 3,5 ares; elle est en légère pente orientée vers le nord-ouest.

Le dispositif de mesure sous couvert forestier est constitué de 81 pluviomètres; ils sont implantés à intervalle régulier suivant les droites qui joignent la base des arbres situés dans la parcelle ou juste à la limite de cette dernière. D'autres pluviomètres sont localisés transversalement aux axes ainsi définis, de façon à constituer un maillage relativement régulier. Ajoutons que la batterie mobile de pluviomètres a également été installée en différents endroits de ce réseau, afin d'en tester la fiabilité.

L'implantation précise des pluviomètres a été reportée sur plan ainsi que la projection au sol des couronnes des différents arbres et la localisation des principales branches maîtresses. Des mesures faites avec un luxmètre ont permis de se faire une idée assez correcte de l'importance de l'écran végétal en différents points de ce réseau.

A.— INTERCEPTION MOYENNE

Des relevés hebdomadaires ont été effectués de mars 1980 à novembre 1982. Comme il fallait s'y attendre, il existe une variation saisonnière de l'interception : en phénophase feuillée (de mai à octobre), l'interception moyenne de la hêtraie représente 34,5 % des pluies recueillies en site dégagé, un peu moins de 30 % en phénophase non feuillée⁽³⁾. Les lames d'eau interceptées par la hêtraie sont

⁽²⁾ Renseignements aimablement communiqués par P. Buldgen (Laboratoire d'Ecologie microbienne de l'Université de Liège) et R. Lapage (Chaire de Sylviculture des Facultés Agronomiques de Gembloux).

⁽³⁾ Nous avons exclu de ces pourcentages moyens les périodes où il y avait eu des chutes de neige, car l'interception des précipitations neigeuses est évaluée par d'autres méthodes, pour des raisons de précision des mesures; une note reprenant ces résultats est actuellement en préparation.

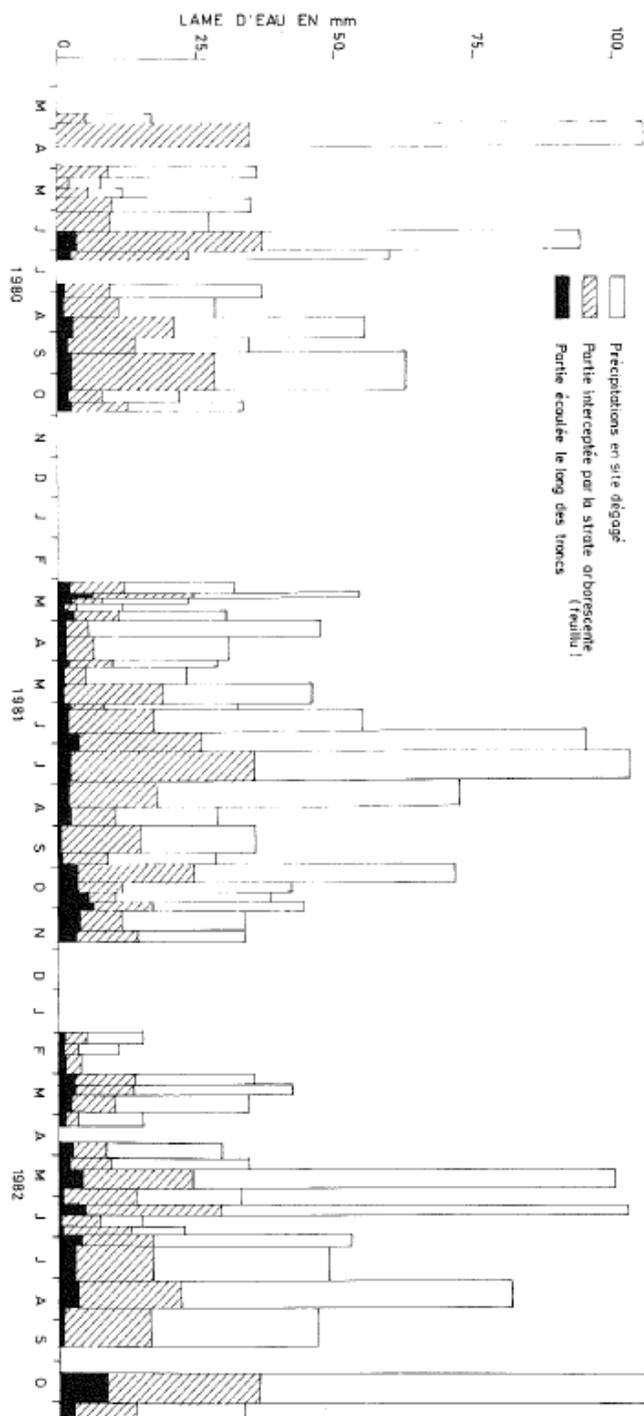


FIG. 1. — Interception des pluies par une hêtraie et écoulement le long des troncs. — Hêtraie âgée de plus de 150 ans.

donc importantes, spécialement en phénophase feuillée; elles dépassent largement les valeurs avancées par A. Noirfalise (1959) et par F. Bultot, G.L. Dupriez et A. Bodeux (1972), alors que dans ce dernier cas la hêtraie semble pourtant être plus dense, vu le nombre de pieds à l'hectare. Toutefois, des valeurs aussi élevées que les nôtres, ont été proposées par H.M. Eidmann (1959 *in* G. Schnock et A. Galoux, 1967) et H.M. Brechtel (1976), ceci tant en phénophase feuillée qu'en phénophase non feuillée (Tableau I).

TABLEAU I. — Interception par les hêtres
(en % des pluies recueillies en site dégagé).

<i>Auteurs</i>	<i>Phénophase feuillée</i>	<i>Phénophase non feuillée</i>	<i>Age et caractéristiques</i>
F. Bultot <i>et al.</i> (1972)	20-25	< 10	haut. 20 m 120-150 ans 281 arb/ha
A. Noirfalise (1959)	25	-	haut. 20 m
Eidmann (1959)	33	27	95 ans
H.M. Brechtel (1976)	37	32.5	âgés (?)

Précisons que les pourcentages repris au tableau I, tout comme ceux que nous avons proposés, concernent l'interception brute, dont il faudra encore retirer la fraction des pluies qui s'écoule le long des troncs afin de connaître la seule évaporation des lames d'eau interceptées.

D'autre part, les pourcentages d'interception que nous avons proposés sont des moyennes qui intègrent des périodes où les précipitations sont différentes, soit en intensité soit en quantité, ce qui influence l'importance de la lame d'eau interceptée (fig. 1). Ainsi, l'interception peut dépasser 50 % lors de périodes où les précipitations ont été très faibles (de l'ordre de 15 mm en une semaine, par exemple), mais elle peut être inférieure à 25 % au cours de périodes où les précipitations ont été très abondantes (plus de 100 mm en une semaine). Ceci se conçoit, car il existe en quelque sorte un seuil d'intercep-

tion (lame d'eau maximale qui peut se maintenir sur le feuillage) et une fois cette quantité atteinte, il ne peut plus y avoir interception si ce n'est dans la mesure où il y a simultanément évaporation et/ou évacuation par écoulement le long des troncs.

Parallèlement à cet aspect, la succession des épisodes pluvieux joue également un rôle dans la quantité d'eau qui peut être interceptée. En effet, lorsque les précipitations sont entrecoupées de moments non pluvieux, il peut y avoir une plus forte évaporation et éventuellement un assèchement complet du feuillage; de ce fait, la précipitation suivante se trouvera en présence d'un feuillage sec et une partie plus importante de cette précipitation pourra être à nouveau interceptée. Par contre, lors de pluies continues, le feuillage reste mouillé en permanence et l'interception risque ainsi d'être moindre.

De plus, indépendamment de la quantité totale des précipitations, l'intensité de ces dernières joue également un rôle dans la quantité interceptée. Ainsi, des pluies de faible intensité permettent un mouillage progressif du feuillage en une lame d'eau continue. Par contre, lors de pluies de forte intensité, l'impact des gouttes sur les feuilles risque de provoquer l'égouttement d'une fraction déjà interceptée précédemment. D'autant plus que les pluies de forte intensité sont le plus souvent accompagnées de vents forts - que ce soit des pluies d'orage ou des pluies associées à des fronts - qui, en agitant les feuilles, provoquent un égouttement.

B. — INTERCEPTION JOURNALIERE

Pour les raisons exposées au paragraphe précédent, nous avons cherché à estimer l'interception journalière. Selon la méthodologie présentée en I, nous avons mis en station un pluviographe pendant une année complète, de sorte qu'il a été possible de calculer l'interception journalière sur un nombre assez élevé de cas (près d'une centaine), suivant qu'il y avait ou non des feuilles sur les arbres. Les lames d'eau interceptées ont été mises en relation avec les précipitations journalières recueillies en site dégagé ⁽⁴⁾.

En période estivale (Fig. 2 A), il se vérifie que l'interception est importante lorsque les précipitations sont faibles (près de 50 0/o pour des pluies journa-

⁽⁴⁾ Un pluviographe est installé à la maison forestière de Neu-Hattlich à moins de 2 km de la parcelle étudiée, à une altitude très proche de celle-ci. Nous nous sommes assurés au préalable qu'il n'y avait pas de différences entre les précipitations tombées à cette station et celles recueillies dans le site dégagé situé à proximité de la hêtraie, grâce à une étude comparative des pluies journalières recueillies dans l'un et l'autre site.

De nombreuses données nous ont été aimablement communiquées par le Service des Barrages à Eupen et, à cet égard, nous tenons à remercier son Directeur, M. Vanbellingen, Ingénieur en Chef, ainsi que M. Reinertz, Vérificateur principal.

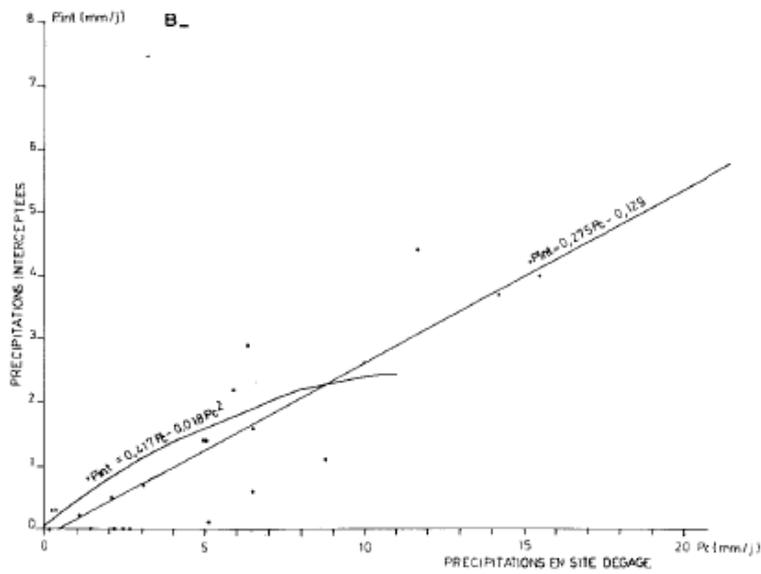
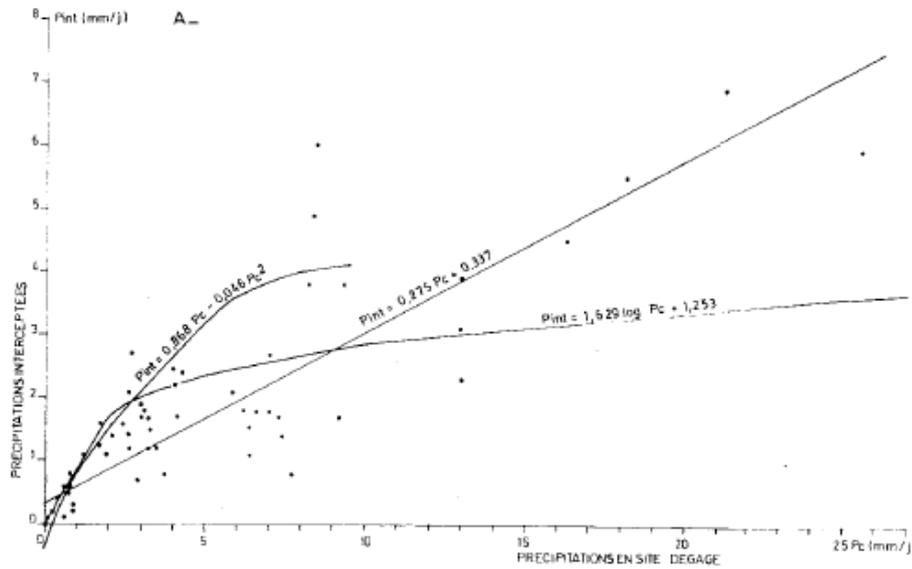


FIG. 2. — Relation entre les lames d'eau journalières interceptées par la strate arbustive (P_{int}) et les précipitations journalières en site dégagé (P_c). — Hêtraie âgée de plus de 150 ans.

A. Phénophase feuillée ; B. Phénophase non feuillée.

lières de moins de 5 mm); l'importance relative de l'interception diminue lorsque les pluies sont plus importantes (de l'ordre de 30 % pour une pluie de 10 mm). Toutefois, dans de tels cas, la dispersion des points est grande et de ce fait les ajustements ne sont guère satisfaisants. Ainsi parmi les différents essais d'ajustement (semi-logarithmique, logarithmique, parabolique), seule une régression linéaire donne une bonne corrélation ($r = 0,891$). Quant à la dispersion des points, en plus du rôle que jouent certains épiphénomènes déjà invoqués, il faut également y voir l'influence de l'intensité même des précipitations, de l'évaporation concomitante et de l'état d'assèchement préalable du feuillage.

La comparaison de ces résultats avec une étude similaire faite par F. Bultot, G.L. Dupriez et A. Bodeux (1972) dans une hêtraie du plateau des Tailles (Ardenne belge), montre que l'interception journalière est ici plus importante que celle proposée par ces auteurs. Ainsi, pour une pluie journalière de 10 mm par exemple, ils trouvaient une interception de 2,4 mm, contre 3,1 mm dans notre cas.

D'autre part, dans la relation établie par F. Bultot *et al.* (1972), il s'individualise un seuil à partir duquel la lame d'eau interceptée ne s'accroît plus, même en présence de précipitations plus importantes. Ce seuil, qui correspond à l'interception maximale, est de 2,6 mm pour une précipitation de 13 mm. Par contre, dans les relations que nous avons mises en évidence, il ne s'individualise pas de seuil (puisque le meilleur ajustement est une régression linéaire). Toutefois, si on appliquait une relation parabolique (ajustement relativement proche de celui de F. Bultot *et al.*), tout en se rappelant que ce n'est pas le meilleur ajustement qui convienne à la distribution des points ($r = 0,635$), nous trouvons alors une interception maximale de 4 mm pour une précipitation de 9 mm en site dégagé.

En *phénophase non feuillée* (Fig. 2 B), l'interception journalière reste importante. Ainsi 2,4 mm sont interceptés lors d'une pluie de 10 mm; ces valeurs sont proches de celles mises en évidence par F. Bultot *et al.*, dans une hêtraie qui, elle, était en *phénophase feuillée*.

Les diagrammes de dispersion des points présentés à la figure 2 ne permettent pas d'établir un seuil d'interception maximale, ceci tant en *phénophase feuillée* qu'en *phénophase non feuillée*. Toutefois, lorsque afin d'évaluer la lame d'eau évaporée, nous déduisons des lames d'eau interceptées, les lames d'eau écoulées le long des troncs, nous verrons alors que, étant donné la forme des relations qui lient ces dernières aux pluies, un seuil s'individualise de façon implicite.

C.— CONTROLE DES RELATIONS PROPOSEES

Nous avons contrôlé la validité des relations obtenues par régression linéaire et déterminé l'erreur commise en les utilisant. Nous avons procédé de la

façon suivante :

- Grâce au réseau dense de pluviomètres installé sous couvert forestier, nous avons effectivement mesuré la lame d'eau interceptée au cours des périodes hebdomadaires ⁽⁵⁾.

- En appliquant les deux relations linéaires que nous souhaitions tester (l'une pour la phénophase feuillée, l'autre pour la phénophase non feuillée), nous avons déduit des précipitations journalières en site dégagé, les lames d'eau journalières interceptées par la hêtraie;

- En sommant celles-ci pour chacune des périodes hebdomadaires, nous avons obtenu une interception calculée, qui a ainsi pu être comparée à l'interception mesurée grâce au réseau pluviométrique installé sous couvert forestier (Tabl. II).

Il ressort de ces tests que l'interception calculée par régression est proche de l'interception observée; les écarts entre ces deux dernières sont - à l'exception d'une seule période (cf. ci-dessous) - compris entre ± 5 % des précipitations à

TABLEAU II. - Comparaison entre interceptions observées et calculées (hêtraie, phénophase feuillée et non feuillée).

<i>Périodes</i>	<i>Précipitation en site dégagé (Pc) en mm</i>	<i>Interception observée en mm</i>	<i>Interception calculée en mm</i>	<i>Ecart en mm</i>	<i>Ecart en % de Pc</i>
1. 3.82 - 29. 3.82	106.2	30.9	26.9	- 4.0	- 3.8
29. 3.82 - 3. 5.82	44.1	11.0	10.3	- 0.7	- 1.6
3. 5.82 - 10. 5.82	32.9	9.0	8.5	- 0.5	- 0.5
10. 5.82 - 7. 6.82	132.8	38.3	43.4	+ 5.1	+ 3.8
7. 6.82 - 5. 7.82	193.8	64.0	59.5	- 4.5	- 2.3
5. 7.82 - 2. 8.82	49.2	16.9	17.1	+ 0.2	+ 0.4
2. 8.82 - 23. 8.82	81.9	22.0	25.6	+ 3.6	+ 4.4
23. 8.82 - 20. 9.82	45.1	16.6	18.2	+ 1.6	+ 3.5
20. 9.82 - 11.10.82	206.1	77.7	63.0	- 14.7	- 7.1
11.10.82 - 2.11.82	106.4	36.8	35.5	- 1.3	- 1.2
2.11.82 - 15.11.82	34.1	13.8	12.0	- 1.8	- 5.3

⁽⁵⁾ Tests effectués lors de périodes qui n'ont évidemment pas servi au calcul de la relation testée (au niveau de la recherche du pluviomètre représentatif et du facteur de correction qu'il faut appliquer à ce dernier pour connaître l'interception du réseau).

la cime. De plus, l'interception calculée ne sous-estime ni ne surestime pas systématiquement l'interception observée.

Remarquons d'autre part, que lors de la période du 20 septembre au 11 octobre - période où une pluie d'intensité exceptionnelle a été mesurée - l'interception calculée par régression linéaire (donc sans qu'il y ait un seuil maximal d'interception) reste cependant inférieure à l'interception observée. Or si une relation de type parabolique ou semi-logarithmique, relations où il s'individualise un seuil d'interception, avait été utilisée, cet écart aurait évidemment été plus important. Ceci démontre donc le bien-fondé de l'utilisation des régressions linéaires, du moins dans le cas des hêtres, car, comme nous le verrons ultérieurement, il n'en n'est pas de même pour les épicéas.

D.— ECOULEMENT LE LONG DES TRONCS

Les deux hêtres équipés en vue d'estimer l'écoulement le long des troncs se différencient par leur silhouette et par l'ampleur de leur couronne. Le premier a une silhouette fuselée avec des branches maîtresses sans grand développement latéral, de sorte que la projection au sol de sa couronne ne dépasse pas 57 m². Par contre, la silhouette du second hêtre est plus massive : d'imposantes branches maîtresses sont disposées presque perpendiculairement au tronc, si bien que sa couronne projetée au sol occupe une surface de 125 m². Ces différences morphologiques se marquent dans l'importance de l'écoulement le long des troncs. Le premier tend en effet à canaliser les précipitations vers le fût principal, si bien que l'écoulement atteint en phénophase feuillée 4 0/0 en moyenne des précipitations recueillies en site dégagé et près de 10 0/0 en phénophase non feuillée. Par contre, l'écoulement le long du second hêtre, plus massif, est moins important vu la disposition des branches maîtresses : 2 0/0 en moyenne lors de la phénophase feuillée, 4 0/0 en phénophase non feuillée.

Les pourcentages d'écoulement le long des troncs varient énormément, pour un même arbre et au cours d'une même phénophase, ceci principalement en fonction de l'intensité des précipitations. Les écoulements les plus faibles ont été mesurés à la suite des pluies faibles, du fait que l'interception est alors progressive et qu'il peut y avoir une évaporation simultanée. Par contre, les valeurs les plus importantes s'observent lorsqu'il y a eu d'abondantes précipitations d'intensité soutenues mais non exceptionnelle. En effet, lorsque l'intensité est très forte (lors d'orage de courte durée, p.ex.), l'égouttement est généralement important et la lame d'eau interceptée - la seule qui alimente l'écoulement le long des troncs - est relativement faible.

Ces différents phénomènes ressortent par ailleurs des relations entre lames d'eau journalières écoulées le long des troncs et pluies à la cime, relations mises en évidence grâce à une analyse effectuée pour le plus petit des deux hêtres, en phénophase feuillée d'une part, en phénophase non feuillée d'autre part

(Fig. 3). La lame d'eau écoulée le long des troncs est proportionnellement plus faible lorsque les pluies à la cime sont faibles, mais cette proportion augmente au fur et à mesure que les pluies sont plus fortes. La forme exponentielle des relations (relations les mieux adaptées avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,99 dans les deux cas) traduit bien cette tendance à l'augmentation des pourcentages.

E.— L'ÉVAPORATION DES LAMES D'EAU INTERCEPTÉES

Du fait de cette importance de l'écoulement le long des troncs, l'évaporation des lames d'eau interceptées (qui, pour rappel, s'obtient en retranchant l'écoulement le long des troncs de l'interception), ne représente plus, en phénophase feuillée, que 31,5 % des pluies en site dégagé, et moins de 23 % en phénophase non feuillée (⁶).

En procédant de la même façon avec les relations qui lient l'interception et l'écoulement le long des troncs aux pluies journalières, on peut déterminer l'évaporation (journalière) des lames d'eau interceptées. Etant donné l'allure respective de ces deux relations, l'évaporation diminue en proportion lorsque les pluies journalières augmentent d'intensité (Fig. 4). Si l'interception paraissait aussi importante, c'est donc uniquement parce que conjointement, il y a évacuation par écoulement le long des troncs, de sorte que le feuillage se trouve de façon incessante apte à réemmagasiner une certaine quantité de pluie qui sera elle-même aussitôt évacuée.

Toutefois, même en tenant compte de cet écoulement le long des troncs, il arrive que les lames d'eau interceptées soient trop importantes pour être évaporées en une seule journée. Ainsi, pour une pluie de 40 mm/j par exemple, la lame d'eau stockée sur le feuillage représente 7 mm (⁷); or rappelons que 60 calories sont nécessaires pour évaporer 1 mm d'eau et que, lors d'une belle journée d'été, 360 calories au maximum parviennent au sol. Même si toute cette énergie était consommée pour l'évaporation, elle ne suffirait donc pas à assurer l'évaporation de la totalité de la lame d'eau qui se trouve sur le feuillage. Toutefois, une partie de cette lame d'eau peut se maintenir sur les cimes, au moins jusqu'au

(⁶) Dans cette hêtraie, les deux types de silhouette de hêtres se trouvent à part presque égale. Ainsi, pour estimer l'écoulement le long des troncs dans l'ensemble de la parcelle, nous avons retenu la moyenne des pourcentages mis en évidence pour les deux hêtres que nous avons étudiés.

(⁷) Une lame d'eau de cette épaisseur ne peut représenter un film continu qui se trouverait à un moment précis sur le feuillage; elle représente en fait une quantité totale pour une journée, ce qui implique que les épisodes pluvieux soient entrecoupés d'épisodes secs qui permettent une évaporation, ou qu'il y ait une évaporation simultanément à la pluie.

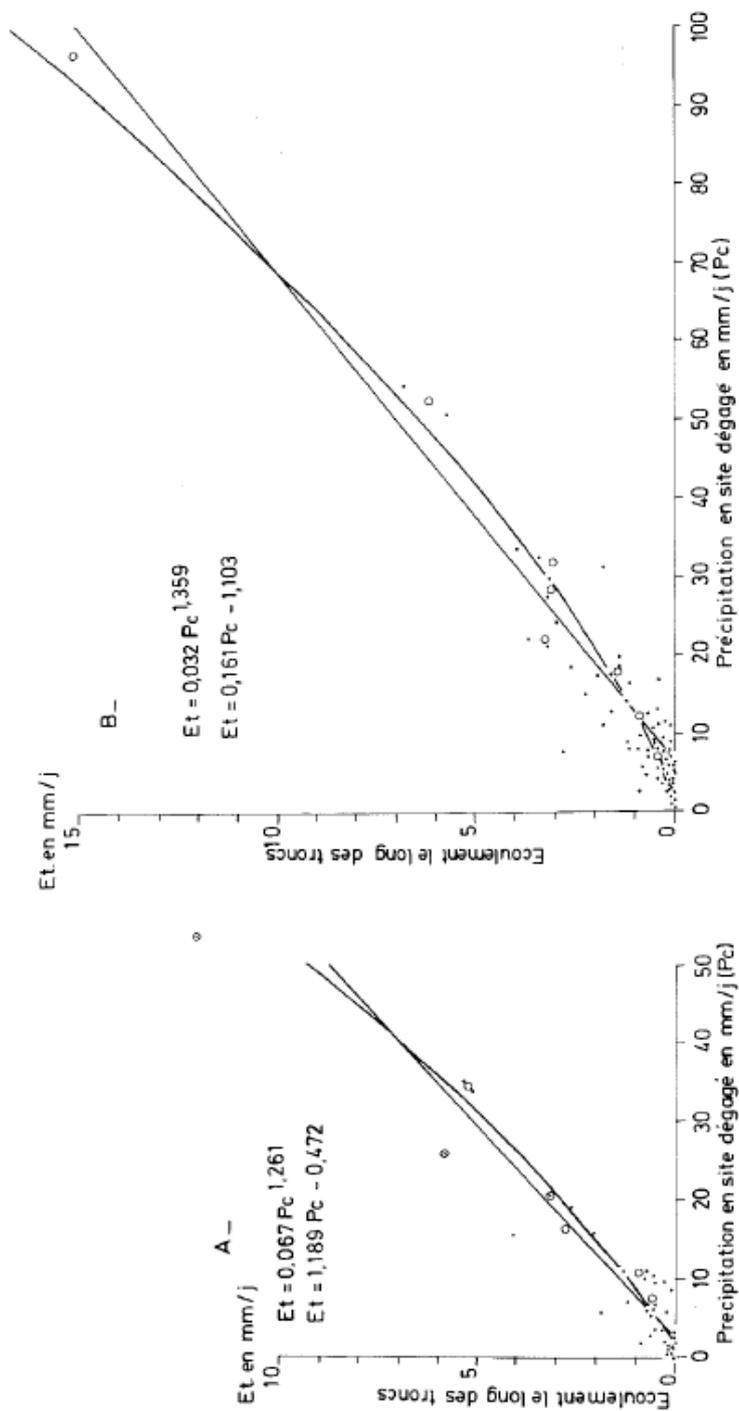


FIG. 3. — Relations entre les lames d'eau journalières écoulées le long du tronc d'un hêtre (Et) et les précipitations journalières en site dégagé (Pc). — Hêtre à silhouette fuselée dans une hêtraie âgée de plus de 150 ans.

A. Phénopase non feuillée; B. Phénopase feuillée.

lendemain, avant d'être entièrement évaporée. Par ailleurs, comme nous le verrons par la suite, d'autres processus interviennent également qui peuvent accélérer et accroître l'évaporation des lames d'eau qui se trouvent sur les cimes.

III.— L'INTERCEPTION DE LA PESSIERE AGEE ET L'ECOULEMENT LE LONG DES TRONCS

Cette pessière plantée fin du siècle dernier (1889) est située à Alt-Hattlich, à proximité de la hêtraie étudiée ci-dessus. Cette plantation comptait en 1981, 300 tiges à l'hectare, pour une surface terrière de 48 m²/ha; les cimes des arbres ne sont pas jointives et on note la présence d'une strate herbacée subcontinue. La parcelle expérimentale couvre un peu moins de 3 ares; 79 pluviomètres y ont été installés, suivant une méthodologie identique à celle appliquée dans la hêtraie. Les précipitations en site dégagé sont mesurées grâce aux pluviomètres installés dans la clairière qui sépare la hêtraie de la pessière.

A.— INTERCEPTION MOYENNE

Les relevés hebdomadaires des pluviomètres installés sous pessière ont été effectués de mars 1980 à octobre 1981. La moyenne des pourcentages interceptés lors de toutes les périodes est de 33,5 % des pluies mesurées en site dégagé (Fig. 5). Les différences entre les pourcentages interceptés en période hivernale et en période estivale sont peu importantes : respectivement 32 % et 34 %. Certes, contrairement aux hêtres, il y a peu de modifications saisonnières quant à l'importance de l'écran végétal. Toutefois, comme l'énergie disponible est peu importante en période hivernale, le temps nécessaire à l'évaporation d'une lame d'eau interceptée est plus long. De ce fait, la précipitation suivante risque alors de se trouver en présence d'une cime encore humectée, si bien que l'interception de cette pluie par le couvert végétal sera alors plus faible; ce qui doit nécessairement transparaître dans un total hebdomadaire. Toutefois, l'énergie fournie par rayonnement solaire n'est pas la seule source d'énergie disponible pour l'évaporation et, comme nous le verrons par la suite, il arrive très fréquemment que l'évaporation des lames d'eau interceptées dépasse largement l'énergie reçue par rayonnement.

L'interception de la pessière étudiée ici se rapproche des valeurs trouvées par Eidmann (in A. Noirfalise, 1962), du moins en période estivale (31 %), car, en période hivernale, cet auteur observe une interception de 23 % seulement. Par ailleurs, l'interception que nous avons mesurée dans cette pessière s'intègre dans les valeurs proposées par A. Noirfalise (1959) : 23 % pour une pessière de densité moyenne (soumise à une éclaircie), haute de 22 m en moyenne; 38 % pour une pessière dense, également haute de 22 m; ces deux pourcentages couvrant uniquement les périodes estivales.

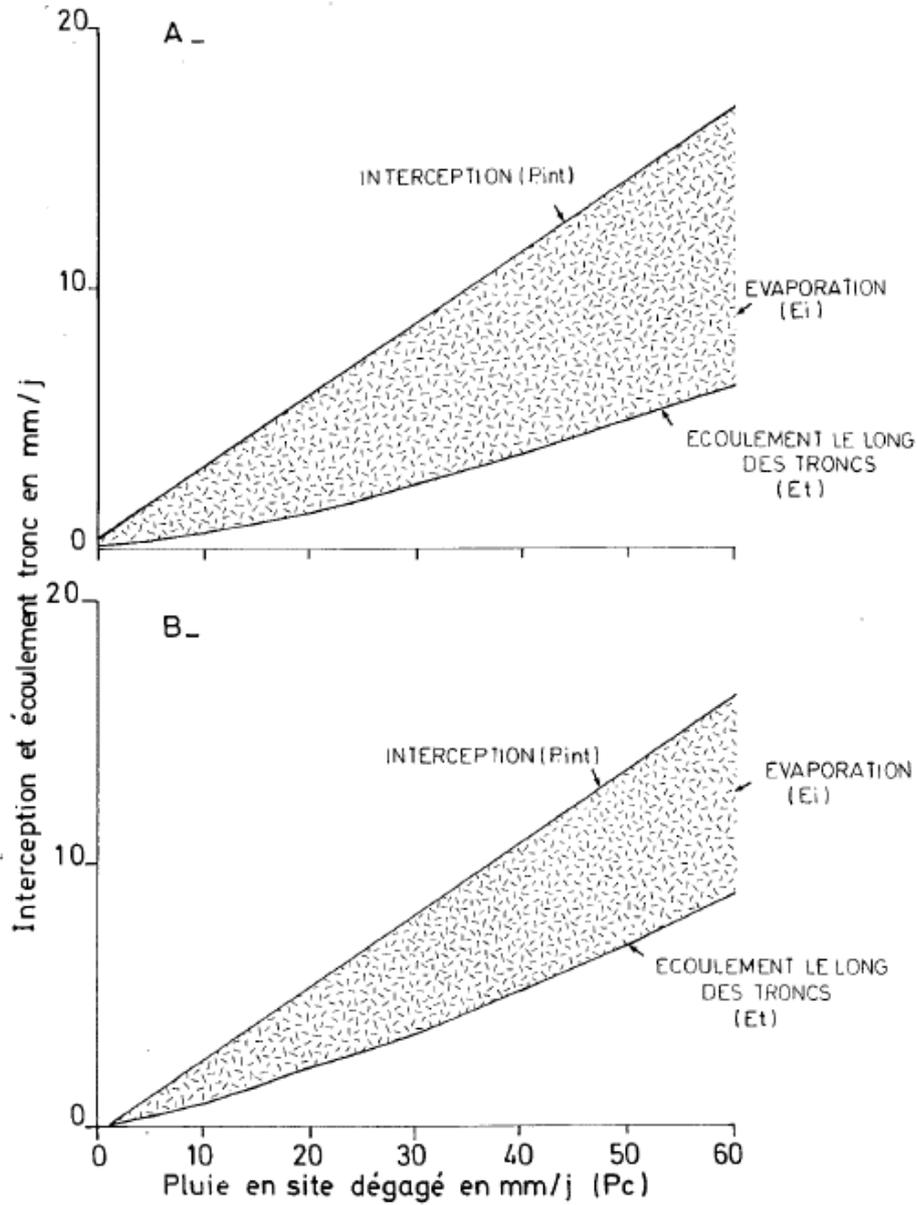


FIG. 4. — Relations entre les lames d'eau journalières interceptées par la strate arbustive (P_{int}), les lames d'eau journalières écoulées le long des troncs (E_t), les lames d'eau journalières évaporées (E_i) et les précipitations journalières en site dégagé (P_c). — Hêtre âgé de plus de 150 ans.

A. Phénopase feuillée; B. Phénopase non feuillée.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence une relation entre l'interception et les pluies journalières, car en octobre 1981, moment à partir duquel il était possible d'individualiser le pluviomètre représentatif à partir des relevés hebdomadaires faits jusqu'alors, cette pessière a été soumise à une éclaircie importante (plusieurs épicéas qui se trouvaient dans la parcelle expérimentale ont été abattus), de sorte que les conditions d'études initiales ont été complètement modifiées.

B.— ECOULEMENT LE LONG DES TRONCS

Dans la parcelle de Alt-Hattlich, deux épicéas ont été équipés de façon à mesurer l'écoulement le long des troncs; la projection au sol de chacune des cimes occupe respectivement une surface de 32 m² et de 8,5 m². La lame d'eau écoulee le long des troncs est peu importante, tant en période estivale qu'hivernale. Ainsi pour le plus grand des deux épicéas, cet écoulement ne représente, en période estivale, que 0,6 ‰ des précipitations qui tombent en site dégagé, à peine 0,8 ‰ en période hivernale. Pour le plus petit des épicéas, ces pourcentages sont respectivement de 1,2 ‰ et de 1,4 ‰.

L'écoulement le long des troncs des épicéas est donc nettement inférieur à celui des hêtres. Ceci est lié non seulement à la silhouette des arbres, mais également à la structure de leur écorce et à la présence de lichens et épiphytes, qui, chez les essences à écorce lisse telles que le hêtre, sont peu nombreux (G. Schnock, 1972).

IV.— L'INTERCEPTION DE LA JEUNE PESSIERE

Cette pessière est située à proximité du Pazai des Vaches (bassin de la Soor) à une altitude de 535 m. Le peuplement, âgé d'une trentaine d'années, haut de 12 m en moyenne, compte plus de 1 200 arbres à l'ha. Les cimes des arbres sont jointives, formant souvent un enchevêtrement, et la strate herbacée est absente. 18 pluviomètres ont été installés dans une parcelle qui couvre un peu moins de 1 are.

Le dispositif de mesures en site dégagé est constitué de deux pluviomètres et d'un pluviographe, situé à 300 m de la parcelle expérimentale (au carrefour entre l'Allée des deux Séries et la route de Porfays).

A.— L'INTERCEPTION MOYENNE

L'interception moyenne, mesurée à partir des relevés hebdomadaires effectués de juillet 1981 à novembre 1982, dépasse 42 ‰ des précipitations tombées en site dégagé. Ce pourcentage d'interception est supérieur aux valeurs proposées par F. Bultot *et al.* (1972) dans une pessière du plateau des Tailles (Ardenne

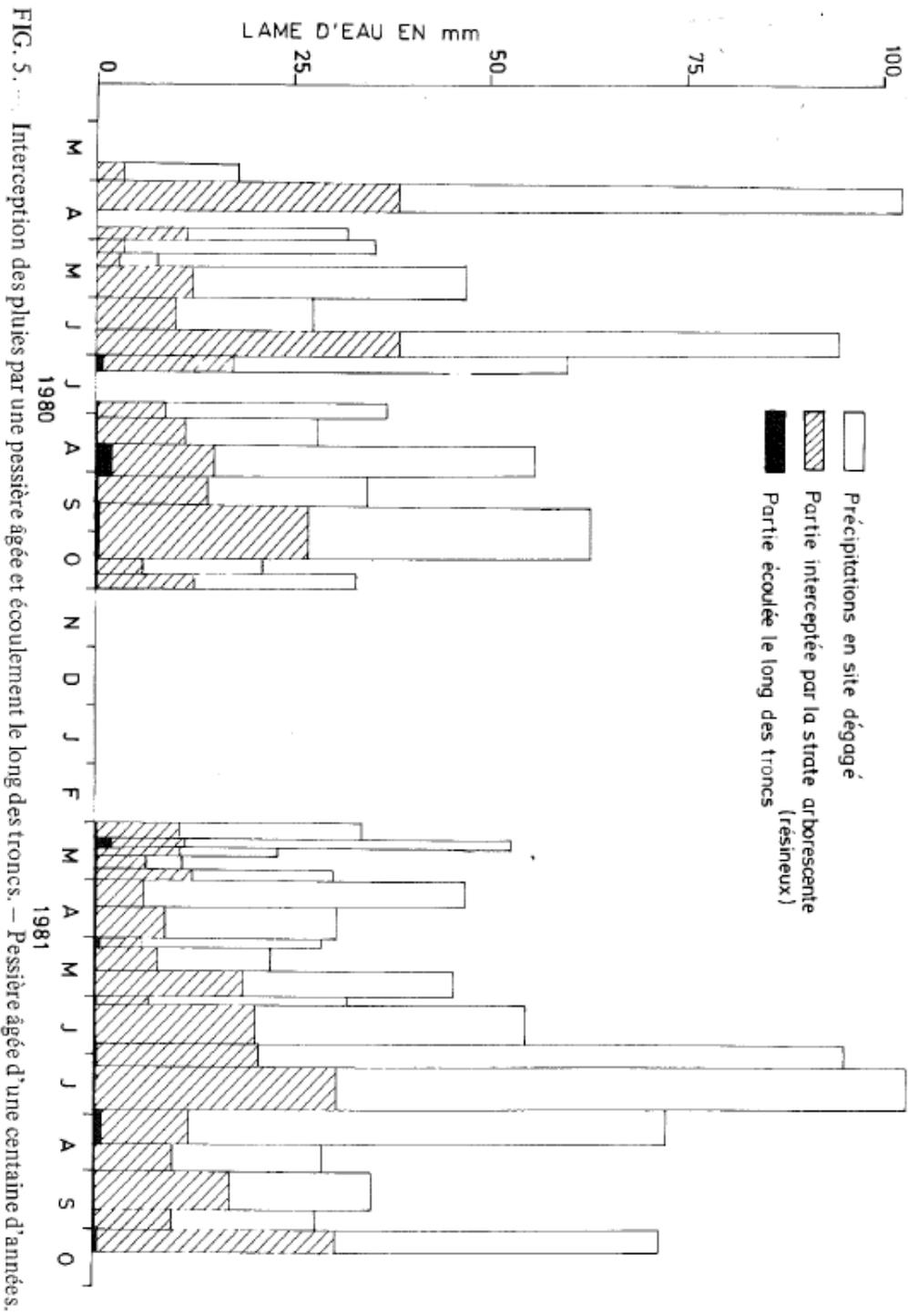


FIG. 5. — Interception des pluies par une pessière âgée et écoulement le long des troncs. — Pessière âgée d'une centaine d'années.

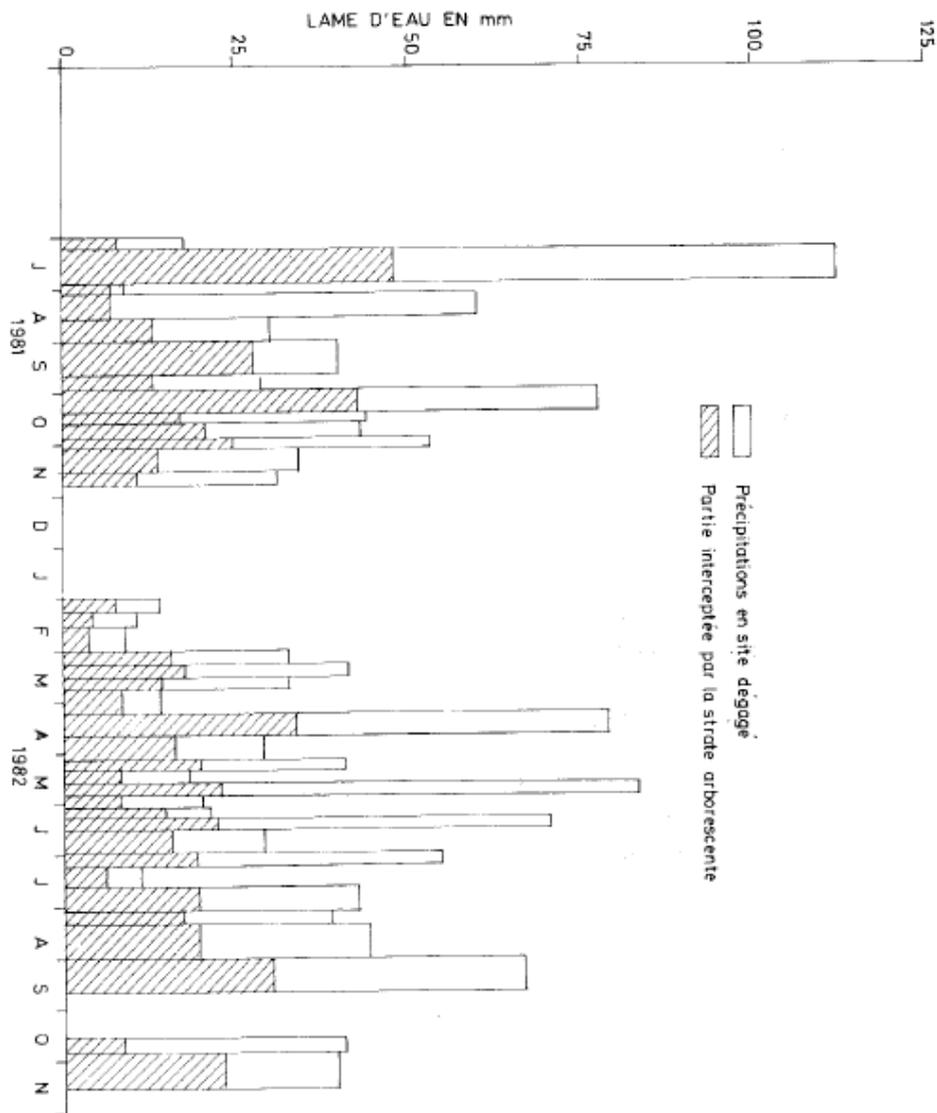


FIG. 6. — Interception des pluies par une pessière âgée d'une trentaine d'années.

belge) qui, pourtant, présente des caractéristiques proches de celles de la pessière étudiée ici. De plus, ces auteurs ont observé de fortes variations saisonnières de l'interception : environ 20 % en mars, entre 30 et 40 % en période estivale, respectivement 25 % et 15 % en septembre et octobre. Dans notre étude, nous n'avons pas observé de variations saisonnières aussi marquées (Fig. 6). Par contre, H.M. Brechtel (1976) a observé que l'interception de jeunes épicéas déjà importante en période estivale (45 %), était encore plus élevée en période hivernale.

B.— L'INTERCEPTION JOURNALIERE

L'interception journalière a été calculée en suivant une méthodologie identique à celle adoptée dans la hêtraie. Un pluviographe a été mis en station à l'endroit le plus représentatif du réseau, de mai 1982 à novembre 1982.

Deux ajustements s'adaptent de façon satisfaisante à la relation qui lie les lames d'eau journalières interceptées aux pluies journalières mesurées en site dégagé (Fig. 7); l'une est de type exponentiel, l'autre de type semi-logarithmique. Ces valeurs d'interception journalière concordent assez bien avec les observations faites par F. Bultot *et al.* (1972), du moins pour des pluies de faible intensité. Tout comme ils l'avaient fait pour la hêtraie, ces auteurs proposent ici aussi une relation de type parabolique tronquée; il s'individualise donc un seuil d'interception maximale qui vaut 5,2 mm et qui est atteint pour une pluie journalière de 17 mm.

Dans le premier ajustement mis en évidence dans notre étude, il ne s'individualise pas de seuil d'interception maximale, ce qui par contre se marque mieux dans le second ajustement : la lame d'eau maximale qui peut être interceptée est légèrement supérieure à 7 mm pour une pluie journalière de 40 mm, cette dernière représentant presque une pluie de récurrence annuelle (P. Degée et F. Petit, 1981).

C.— CONTROLE DES RELATIONS

Les deux relations mises en évidence ci-dessus ont été testées selon une méthode identique à celle adoptée pour la hêtraie, c'est-à-dire, en comparant l'interception journalière calculée pour les périodes hebdomadaires à l'interception effectivement observée lors de ces périodes (Tableau III).

Il ressort de ces tests que l'interception calculée par la relation de type exponentiel est proche de l'interception effectivement observée : les écarts sont en effet compris entre ± 5 % des pluies à la cime et, de plus, ces écarts se répartissent de part et d'autre de l'interception effectivement observée. Par contre, l'interception calculée par la relation de type semi-logarithmique, même si elle reste proche de l'interception effectivement observée (écarts inférieurs à 6 %), est systématiquement supérieure à l'interception observée.

TABLEAU III. — Comparaison entre l'interception calculée (par deux types de relations différentes) et l'interception observée. Pessière du Pazai des Vaches.

Périodes	Pluie à la cime en mm (Pc)	Interc. calc. (1) en mm	Interc. calc. (2) en mm	Interc. obs. en mm	Ecart en mm		Ecart en % de Pc	
					(1)	(2)	(1)	(2)
1. 7.81 - 27. 7.81	131.7	48.5	51.9	49.2	- 0.7	+ 2.7	- 0.5	+ 2.1
28. 7.81 - 31. 8.81	99.9	34.2	34.9	31.4	+ 2.8	+ 3.5	+ 2.8	+ 3.5
1. 9.81 - 28. 9.81	69.4	36.0	41.6	39.6	- 3.6	+ 2.0	- 5.2	+ 2.9
29. 9.81 - 2.11.81	209.8	88.8	101.8	89.7	- 0.9	+12.1	- 0.4	+ 5.8

Légende : (1) Interception calculée par relation de type exponentiel; (2) Interception calculée par relation de type semi-logarithmique.

V. — L'EVAPORATION DES LAMES D'EAU INTERCEPTEES PAR LES PESSIERES. COMPARAISON AVEC LES FEUILLUS

Pour un âge relativement semblable, l'interception (brute) de la pessière est légèrement inférieure à celle de la hêtraie, du moins en période estivale. Toutefois, comme l'écoulement le long des troncs des hêtres est supérieur à celui des épicéas, l'évaporation des lames d'eau interceptées par les hêtres est en fait légèrement inférieure à celle des épicéas (respectivement 31,5 % et 33 %).

En période hivernale, l'interception des épicéas est nettement plus importante que celle des hêtres. Comme l'écoulement le long des troncs de ces derniers est alors beaucoup plus important, ceci renforce encore la différence. Ainsi, l'évaporation des lames d'eau interceptées représente respectivement 31 % et 23 %.

Ainsi, contrairement aux conclusions émises par F. Bultot *et al.* (1972), les différences entre pessière et hêtraie se marquent principalement en période hivernale; c'est donc à ce moment-là que l'eau utile sera plus importante dans la hêtraie, ce qui aura notamment comme effet de permettre une recharge plus rapide des nappes aquifères. Dans un bilan annuel, l'avantage des feuillus représenterait ainsi de l'ordre de 10 % des précipitations, ce qui est nettement

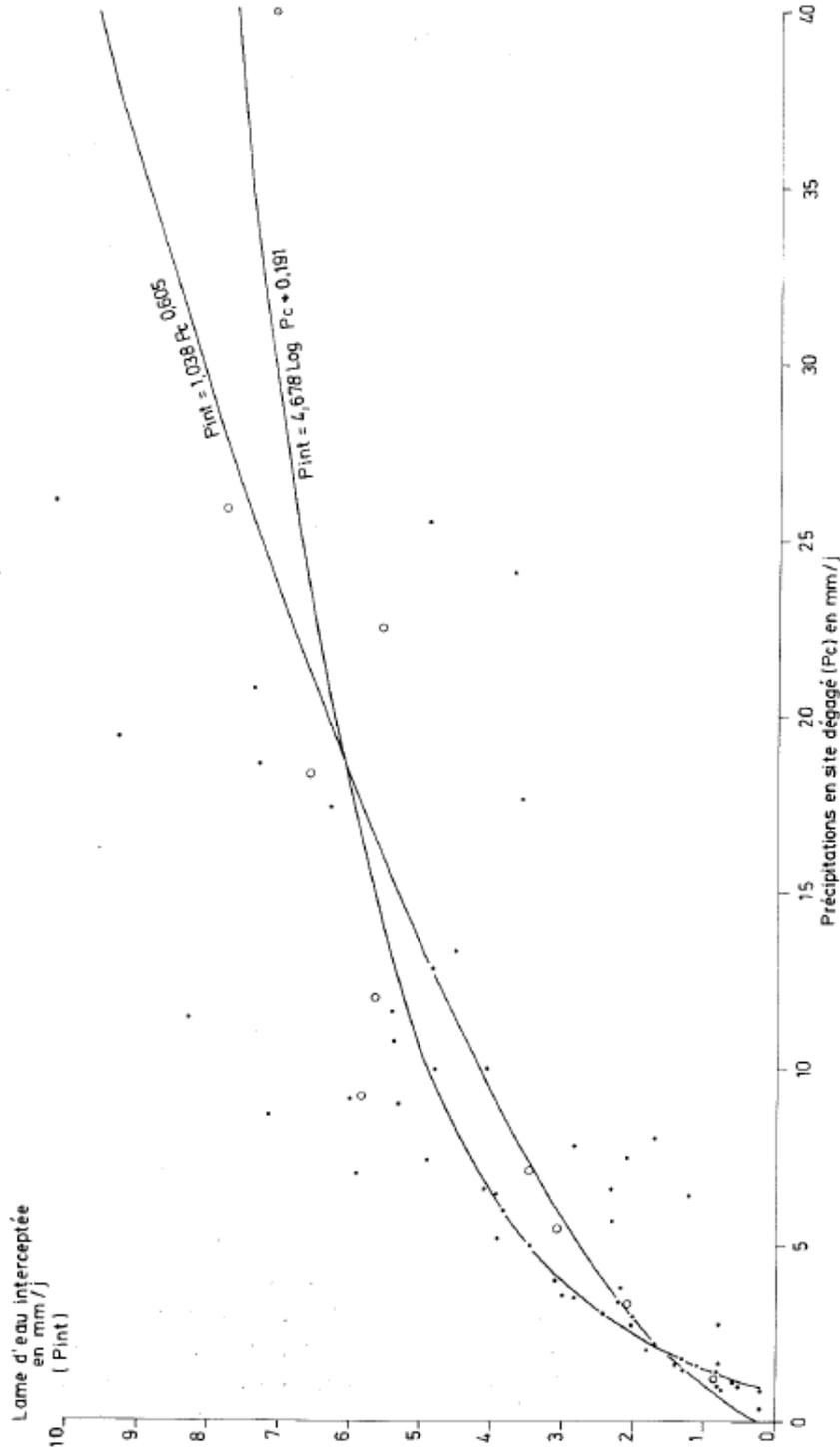


FIG. 7. — Relations entre les lames d'eau journalières interceptées par la strate arbustive (Pint) et les précipitations journalières en site déposé (Pc). — Pessière âgée d'une trentaine d'années.

inférieur aux 15 à 18 ‰ avancés par A. Noirfalise (1962, 1967).

Toutefois, l'interception des pessières moins âgées est nettement plus importante et il ne semble pas qu'il y ait de fortes variations saisonnières. Afin de maintenir la comparaison, précisons cependant que les jeunes hêtraies interceptent beaucoup plus que le peuplement que nous avons étudié. Ainsi selon H.M. Brechtel (1976), les jeunes hêtraies en phénophase feuillée, peuvent, selon l'âge, intercepter entre 36 ‰ et 45 ‰ des précipitations; en phénophase non feuillée, elles pourraient encore intercepter entre 30 ‰ et 38 ‰. Il est cependant très probable que l'écoulement le long des troncs soit fort important dans de tels peuplements - nettement supérieur à celui que nous avons mesuré - du fait qu'ils sont beaucoup plus serrés, ce qui contrecarre le développement latéral de branches maîtresses et tend à conférer à l'arbre une silhouette fuselée, phénomènes qui, comme nous l'avons vu, favorisent l'écoulement le long des troncs.

D'autre part, outre le fait qu'il détourne une fraction des lames d'eau interceptées, on peut s'interroger sur le rôle de l'écoulement le long des troncs dans un bilan hydrique. En effet, cet écoulement dirige une quantité d'eau appréciable vers le collet, c'est-à-dire à proximité du système racinaire. Ceci permettrait une meilleure percolation de l'eau dans le sol, du fait que cette eau pourrait ainsi emprunter les conduits privilégiés que forment les racines. Toutefois, en se trouvant à proximité du système racinaire, cette lame d'eau risque d'être sollicitée plus facilement et plus rapidement par les végétaux afin d'assurer leur transpiration, ne formant ainsi qu'un cycle court (J. Alexandre, 1977). D'ailleurs, il semble bien que le système racinaire s'y développe beaucoup plus, étant donné cette abondance relative en eau (E.D. Ford et J.D. Deans, 1978); si bien que l'effet positif de cet écoulement provoquerait un effet induit, de sens contraire. D'autre part, comme le souligne J. de Ploey (1982), l'écoulement le long de tiges de graminées, en concentrant une lame d'eau importante sur une surface réduite, favorise un ruissellement de surface, ce qui tend évidemment à contrecarrer la percolation. Ceci se marque pour des graminées, mais dans le cas des hêtres, il n'est pas exclu que ce phénomène joue également, d'autant plus que la litière, vu la stratification horizontale des feuilles, semble pouvoir favoriser ce ruissellement de surface.

Ces considérations montrent bien que l'écoulement le long des troncs joue un rôle non négligeable dans les bilans hydriques, même si ce processus n'est pas encore connu en détail. Ajoutons qu'un écoulement important le long des troncs n'est pas le fait exclusif des hêtres; dans le cas de certains résineux, tels les sitkas par exemple, il peut même atteindre des valeurs plus élevées, jusqu'à 25 ‰ des pluies recueillies en site dégagé (E.D. Ford et J.D. Dean, 1978).

VI.— COMPARAISON ENTRE L'EVAPORATION DES LAMES D'EAU INTERCEPTÉES ET L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Rappelons tout d'abord que l'évapotranspiration potentielle (ETP) représente la quantité de vapeur d'eau qui peut être absorbée par l'air - et qui dès lors peut résulter de l'évaporation des lames d'eau interceptées et/ou de la transpiration des végétaux - compte tenu de l'énergie fournie à la surface évaporante d'une part, du déficit de saturation et de la turbulence de l'air d'autre part. Différentes formules permettent de calculer cette évapotranspiration potentielle à partir de données climatiques qui, pour répondre aux normes établies en ce domaine, doivent être mesurées en parcelle météorologique.

Donc, en principe, l'évapotranspiration réelle peut être égale à l'évapotranspiration potentielle, si du moins une quantité d'eau reste disponible pour assurer l'évaporation et la transpiration. Toutefois, J. Alexandre (1977) et F. Petit et M. Erpicum (1983) ont montré que l'évapotranspiration réelle d'un couvert forestier pouvait être supérieure à l'évapotranspiration potentielle, du fait qu'il existe des différences entre le milieu forestier et les conditions de parc météorologique dans lesquelles sont mesurées les données nécessaires au calcul de l'évapotranspiration potentielle (surface évaporante accrue, différence de rugosité vis-à-vis du vent étant donné le découpage des cimes . . .).

Nous avons mis en relation l'évaporation des lames d'eau interceptées lors de certaines périodes avec l'évapotranspiration potentielle. En fin de période automnale et en période hivernale, l'évaporation des lames d'eau interceptées représente en effet l'essentiel sinon la totalité de l'évapotranspiration réelle, car la transpiration des végétaux est négligeable à de tels moments. Ceci se conçoit aisément pour les feuillus, qui sont alors en phénophase non feuillée. Mais, comme nous le verrons ci-dessous, c'est également le cas des résineux, même si, en principe, ils peuvent continuer à transpirer en période hivernale.

Précisons que l'évapotranspiration potentielle a été calculée en valeurs journalières par la formule de Penman; dans cette formule, le bilan de rayonnement a été évalué de façon indirecte, en utilisant notamment l'insolation relative et la radiation solaire au-dessus de l'atmosphère. Pour des raisons topographiques et microclimatiques, il n'a pas été possible d'installer des stations météorologiques complètes à proximité des parcelles où était étudiée l'interception des pluies. Aussi, avons-nous installé une série de postes de mesures échelonnés sur le rebord septentrional des Hautes-Fagnes, de façon à encadrer ces sites et à déterminer ainsi les variations de l'ensoleillement, de la température et de l'humidité de l'air, variations qui, dans le cas présent, sont essentiellement liées à l'altitude (A. Deflandre, 1977; M. Erpicum, 1979; M. Sorée, 1980).

D'autre part, l'énergie disponible - ou bilan radiatif net, c'est-à-dire les rayonnements direct, diffus et infrarouge reçus du soleil moins les rayonnements

réfléchi et infrarouge réémis par la surface réceptrice - est mesurée en continu par un bilanmètre installé à la station scientifique des Hautes-Fagnes (Mont-Rigi).

Enfin, nous avons une estimation correcte de l'évaporation d'une nappe d'eau libre grâce à trois bacs évaporatoires, dont un installé à hauteur des cimes d'une jeune pessière.

TABLEAU IV. — Comparaison entre l'interception, l'évapotranspiration potentielle et l'évaporation mesurée au bac évaporatoire installé à la cime d'une jeune pessière.

<i>Périodes</i>	<i>ETP en mm</i>	<i>Lame d'eau interceptée en mm (a)</i>	<i>Evaporation au bac en mm</i>	<i>Energie reçue en mm</i>
30. 9.81 - 28.10.81	20.7	66.8	30.5	31.6
29.10.81 - 25.11.81	12.2	34.5	15.6	22.3

(a) Pessière du Pasay des Vaches.

Ces différentes données sont reprises au tableau IV. L'évaporation des lames d'eau interceptées est supérieure à l'évapotranspiration potentielle, ce qui confirme les résultats obtenus par J. Alexandre (1977), F. Petit et M. Ericpicum (1983), en utilisant d'autres méthodes. Elle est également supérieure à l'évaporation mesurée au bac installé au-dessus de la pessière, et même parfois à l'énergie disponible, alors que cette dernière devrait constituer le facteur limitant de l'évaporation. Ceci rejoint d'ailleurs les observations faites par A. Galoux (1973) dans une chênaie mélangée (Virelles-Blaimont); le flux de chaleur latente (ETR) y était presque égal au bilan radiatif net en octobre, et le dépassait même au cours de la dernière décade de ce mois ainsi qu'en novembre. Remarquons toutefois que les écarts entre évaporation et énergie disponible trouvés par A. Galoux étaient plus petits que ceux présentés au tableau IV, du fait qu'il s'agissait de feuillus (en phénophase non feuillée) qui interceptent donc moins que les résineux que nous avons étudiés⁽⁸⁾.

Des calories supplémentaires - respectivement 1 700 et 1 100 pour chacune des périodes présentées au tableau IV - doivent donc être fournies par d'autres sources d'énergie.

⁽⁸⁾ Dans la hêtraie et la pessière âgée, nous avons également trouvé des écarts entre évaporation et énergie disponible, mais moins importants que ceux de la jeune pessière, du fait que les lames d'eau interceptées par ces peuplements sont moins importantes.

La rétrocession de calories par la biomasse est cependant peu importante. En effet, connaissant de façon approximative le poids des troncs et aiguilles par unité de surface (de l'ordre de 30 kg/m^2 , P. Birot, 1965), ainsi que leur chaleur spécifique (0,4), nous avons pu estimer que les calories rendues de la sorte étaient de l'ordre de 20 cal/mois. Par ailleurs, J. Grulois (1968) a montré que les flux thermiques dans la biomasse sont très faibles, dépassant à peine 3 cal/jour lors d'une belle journée d'été.

L'advection d'air chaud : les situations météorologiques s'y prêtent le mieux lors de ces périodes automnales du fait de la prédominance des masses d'air d'origine océanique (l'océan est encore chaud alors que le continent se refroidit). Nous avons tenté d'évaluer ce flux de chaleur à partir de températures mesurées au-dessus d'une pessière (sondes placées sur un mât, à 22 m et 19 m de hauteur). Dans une telle situation, les gradients de température indiquent certes un flux de chaleur, mais il est évident que le volume d'air affecté est nettement plus grand, ceci notamment en fonction de l'heure et du type de temps. Ainsi, le nombre de calories rétrocedées par l'air est nettement plus élevé que ce qui est évalué en ne prenant en considération que la lame d'air contenue entre 22 m et 19 m (et qui dans les cas les plus favorables atteint seulement 2 cal/jour). D'autre part, il y a aussi un renouvellement incessant de la masse d'air qui est en contact avec la surface évaporante, ce qui accroît la possibilité des échanges et, comme le couvert forestier n'occupe qu'une surface relativement limitée vis-à-vis de celle qui est balayée par la masse d'air, la rétrocession de calories.

Le fait que la lame d'eau interceptée (et donc évaporée) dépasse l'énergie reçue par rayonnement explique que la transpiration des résineux est le plus souvent négligeable en période hivernale. En effet, de façon générale, les végétaux ne peuvent transpirer qu'à partir du moment où leur feuillage est sec; en d'autres termes, il est nécessaire que la lame d'eau interceptée par les feuilles ou les aiguilles soit d'abord évaporée pour qu'il puisse y avoir transpiration des végétaux. Or l'énergie disponible en période hivernale suffit à peine à assurer cette évaporation; il subsiste donc de façon quasi continue une lame d'eau sur les cimes qui empêche la transpiration, du moins lorsque les pluies sont suffisamment abondantes. Ceci est généralement le cas dans les Hautes-Fagnes, l'un des maxima qui caractérise le régime des pluies, se produisant généralement en hiver (H. Lagiewka, 1981).

Par ailleurs, J. Alexandre et F. Petit (1983) ont également constaté qu'en période hivernale, l'énergie fournie par le rayonnement solaire était insuffisante pour permettre l'évaporation (et probablement la sublimation) résultant de l'interception de la neige par le couvert forestier. Tout comme pour l'évaporation des pluies interceptées en période automnale, il semble qu'interviennent ici aussi d'autres sources d'énergie, et notamment un flux de chaleur sensible

lors d'advection d'air chaud. Des études actuellement en cours, basées notamment sur l'analyse de sondages aérologiques, devraient permettre de quantifier les calories ainsi rétrocédées par l'air en vue d'entretenir cette évaporation.

VII.— CONCLUSION

L'évaporation des lames d'eau interceptées par une vieille hêtraie en phénophase feuillée n'est que légèrement inférieure à celle d'une pessière âgée d'une centaine d'années. Lorsque la hêtraie est en phénophase non feuillée, l'évaporation de cette dernière est alors nettement inférieure à celle des résineux, notamment du fait de l'importance de l'écoulement le long des troncs des hêtres. Le surplus des pluies qui peuvent ainsi atteindre le sol sous hêtraie — de l'ordre de 10 % des pluies à la cime — se produit presque exclusivement en période automnale et hivernale.

Dans le cas de pessière jeune (trente ans environ), l'interception est beaucoup plus importante que celle des résineux âgés et donc que celle de la hêtraie; elle atteint en moyenne 42 % des pluies recueillies en site dégagé. Les variations saisonnières de cette interception sont peu marquées, ce qui était également le cas de la pessière âgée.

En période automnale et hivernale, l'évaporation des lames d'eau interceptées par les résineux et, dans une moindre mesure, par les feuillus, est supérieure à l'évapotranspiration potentielle calculée à partir de données climatiques mesurées en parc météorologique. Le fait, déjà mis en évidence dans d'autres études menées en suivant des méthodologies différentes de celle-ci, que l'évapotranspiration réelle (qui dans le cas présent est uniquement représentée par l'évaporation des lames d'eau interceptées du fait que la transpiration des végétaux est alors nulle) puisse dépasser l'évapotranspiration potentielle, rend compte des différences qui existent entre les conditions microclimatiques qui règnent au niveau des cimes des arbres et celles d'un parc météorologique.

Lors de ces périodes automnales et hivernales, il arrive même que l'énergie fournie par rayonnement solaire soit insuffisante pour assurer à elle seule la totalité de l'évaporation des lames d'eau interceptées. Pourtant cette évaporation a été effectivement mesurée, dans trois réseaux de pluviomètres installés sous couvert forestier, réseaux dont la fiabilité (densité et disposition des pluviomètres ainsi que le type d'appareils utilisés) a été démontrée lors de différents tests. Il semble que dans de telles situations interviennent d'autres sources d'énergie, notamment un flux de chaleur sensible lors d'advection d'air chaud.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE J., 1977. — Le bilan de l'eau dans le Miombo, *Bull. Soc. géogr. de Liège*, 13, pp. 107-126.
- ALEXANDRE J. et PETIT F., 1983. — Les processus climatologiques intervenant dans le bilan hydrologique de petits bassins versants boisés, *Compte rendu du Colloque du Groupe Wallon d'Etude des Ecosystèmes forestiers*, Gembloux (Sous presse).
- BIROT P., 1965. — *Les formations végétales du globe*, SEDES, Paris, 508 p.
- BRECHTEL H.M., 1976. — Influence of species and age of forest stands on evapotranspiration and ground water recharge in the Rhine-Main-Valley, *Discussion Paper, presented at the XVI IUFRO World Congress, Oslo 1976, Division 1 "Forest Environment and Silviculture"*, 33 p.
- BULTOT F., DUPRIEZ G.L. et BODEUX A., 1972. — Interception de la pluie par la végétation forestière. Estimation de l'interception à l'aide d'un modèle mathématique, *Journ. of Hydrol.*, 20, pp. 83-95.
- DEFLANDRE A., 1977. — *Climatologie et végétation dans la vallée de la Schwalm moyenne*, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Université de Liège, Inédit, 213 p.
- DEGEE P. et PETIT F., 1981. — Détermination de la période de retour de certains phénomènes hydrologiques, *Notes de Recherches*, Soc. géogr. de Liège, 1, pp. 45-56.
- DE PLOEY J., 1982. — A stemflow equation for grasses and similar vegetation, *Catena*, 9, pp. 139-152.
- DE PLOEY J., 1983. — Runoff and rill generation on sandy and loamy topsoils, *Zeitschr. für Geomorph.*, N.F., 46, pp. 15-23.
- ERPICUM M., 1974. — *Les précipitations dans l'agglomération liégeoise*, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Université de Liège, Inédit, 239 p.
- ERPICUM M., 1977. — Variabilité de la répartition spatiale des précipitations sur l'agglomération de Liège, *Bull. Soc. géogr. de Liège*, 13, pp. 133-145.
- ERPICUM M., 1979. — Le climat de vallée en Haute-Belgique. Analyse en fonction des types de temps, *Bull. Soc. géogr. de Liège*, 15, pp. 143-155.
- FORD E.D. et DEANS J.D., 1978. — The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation, *Journ. of Appl. Ecology*, 15, pp. 905-917.
- GALOUX A., 1973. — *La chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont. Flux d'énergie radiante, conversions et transferts dans l'écosystème*, Station de recherches des Eaux et Forêts, Groenendael, Série A, 14, 124 p.
- GASH J.H.C., 1979. — An analytical model of rainfall interception by forests, *Quart. J.R. Met. Soc.*, 105, pp. 43-45.
- GRULOIS J., 1968. — Flux thermiques et évapotranspiration au cours d'une journée sereine, *Bull. Soc. roy. de Bot. de Belg.*, 102, pp. 27-41.
- LAGIEWKA H., 1981. — Classification des régimes pluviométriques annuels de la Belgique à partir de l'analyse harmonique, *Bull. Soc. géogr. de Liège*, 16-17, pp. 83-100.
- LEE R., 1980. — *Forest hydrology*, Columbia University Press, New York, 349 p.

- MULDER J.P.M., 1983. — *A simulation of rainfall interception in a pine forest*, Proefschrift ter verkrijging van het doctoraat in de Wiskunde en Natuurwetenschappen aan de Rijksuniversiteit Groningen, 109 p.
- NOIRFALISE A., 1959. — Sur l'interception de la pluie par le couvert dans quelques forêts belges, *Bull. Soc. roy. forestière de Belg.*, 66-10, pp. 433-439.
- NOIRFALISE A., 1962. — Influence de quelques types de forêts sur le bilan des eaux d'infiltration, *La Technique de l'eau et de l'assainissement*, pp. 1-12.
- NOIRFALISE A., 1967. — Conséquences écologiques de la monoculture des conifères dans la zone des feuillus de l'Europe tempérée, *Procès verbaux et rapports de la 10e Réunion technique de l'UICN*, Nouvelle Série, n° 9, pp. 61-71.
- PETIT F. et ERPICUM M., 1983. — Evaluation de l'évapotranspiration réelle d'une pesière. Comparaison avec l'évapotranspiration potentielle, *Bull. Soc. géogr. de Liège*, 19, pp. 139-159.
- PONCELET L., 1959. — Sur le comportement des pluviomètres, *Public. de l'Institut roy. météorologique de Belg.*, Série A, n° 10, 57 p.
- SCHNOCK G. et GALOUX A., 1967. — Recherches sur l'écosystème forêt. La chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont. Réception des précipitations et égouttement, *Bull. Inst. roy. des Sciences nat. de Belg.*, 43-33, pp. 1-30.
- SCHNOCK G., 1972. — Evapotranspiration de la végétation épiphytisque de la base des troncs de chêne et d'érable champêtre, *Bull. Soc. roy. Bot. de Belg.*, 105, pp. 143-156.
- SCHULZE R.E., SCOTT-SHAW C.R. et NANNI U.W., 1978. — Interception by *Pinus Patula* in relation to rainfall parameters, *Journ. of Hydrol.*, 36, pp. 393-396.
- SOREE M., 1980. — *Facteurs naturels du débit d'une rivière des Hautes-Fagnes. Essais d'adaptation de modèles*, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Université de Liège, Inédit, 93 p.
- WALES-SMITH B.G., 1980. — Estimates of net radiation for evaporation calculations, *Bull. Sc. Hydrol.*, 23-3, pp. 237-242.
-