

731

Acta Oecologica
Oecol. Plant., 1988, Vol. 9, n° 3, p. 311-329.

Fonds Documentaire IRD

Cote : B*23826 Ex : 1

Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes

J. Nizinski et B. Saugier

Laboratoire d'Écologie Végétale, Bâtiment 362,
 Université de Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex

RÉSUMÉ

Dans une futaie de chênes de 120 ans (*Quercus petraea*), précipitations incidentes, les précipitations au sol et l'écoulement le long des troncs ont été mesurés toutes les semaines de 1981 à 1983; l'interception a été calculée en soustrayant la somme (précipitations au sol+écoulement le long des troncs) des précipitations incidentes.

L'écoulement est toujours faible, représentant moins de 1% des précipitations incidentes. L'interception moyenne pour les trois années représente 28,8% des précipitations incidentes, avec 22,4% pendant la phase sans feuilles et 34,4% pendant la phase feuillée.

Un modèle simple de l'interception sur une base journalière simule correctement les mesures effectuées.

MOTS CLÉS : forêt, précipitations au sol, interception, écoulement, *Quercus petraea*, modélisation.

ABSTRACT

In a mature 120 year-old oak forest (*Quercus petraea*) gross precipitation, throughfall and stemflow have been measured each week, from 1981 through 1983; interception loss was derived by subtracting the sum of throughfall and stemflow from gross precipitation.

Throughfall, interception and stemflow for tree years were 70.6, 28.8 and 0.6% of gross precipitation respectively, while those in non-foliated conditions: 76.6-22.4-1.0% of P_i and in foliated conditions: 65.5-34.4-0.1% of P_i .

A simple model of interception losses with one day time resolution has been developed. It correctly simulates the measurements.

KEY WORDS: forest, throughfall, interception, stemflow, *Quercus petraea*, modelling.

1. INTRODUCTION

Sous des climats à pluies fines, l'interception est un phénomène quantitativement important puisqu'elle peut atteindre 30 à 40% des précipitations incidentes annuelles dans des forêts feuillues (AUSSENAC, 1977). Elle est contrôlée par les facteurs climatiques et par les caractéristiques des peuplements végétaux. Nous avons calculé l'interception par la méthode du bilan hydrique employée par de nombreux auteurs (RUTTER, 1963; RAPP & ROMANE, 1968; RAPP & IBRAHIM, 1978;

Acta Oecologica/Oecologia Plantarum, 0243-7651/88/03/311/19/\$ 3.90/ © Gauthier-Villars

Fonds Documentaire IRD



010023826

AUSSENAC, 1968, 1970, 1975; SCHNOCK, 1970; AUSSENAC & BOULANGEAT, 1980; LEMEE & FARDJAH, 1980; WEIHE, 1984; ANDERSON & PYATT, 1986); cette approche est empirique et propre au milieu observé. Nous avons ensuite modélisé le phénomène d'interception : il existe de nombreux modèles mathématiques du processus d'interception conçus à partir de peuplements de résineux (RUTTER *et al.*, 1971, 1975, 1977; CALDER, 1977; STEWART, 1977; GASH, 1979; GASH *et al.*, 1980; HALLDIN *et al.*, 1979; MULDER, 1983), mais les recherches relatives aux forêts feuillues restent rares, récentes (HALLDIN *et al.*, 1985; DOLMAN, 1986; CHASSAGNEUX & CHOISNEL, 1986) et encore partielles en France, relativement à la surface occupée par ces forêts, qui représente 65% des 13 500 000 ha de la surface boisée. Les mesures et la modélisation ont porté sur une futaie de chênes (*Quercus petraea*) appartenant au massif forestier de Fontainebleau. La mise au point du modèle a nécessité de réanalyser la notion de rétention en eau du couvert, en tenant compte de l'écorce épaisse et relativement spongieuse du chêne sessile. La confrontation du modèle avec les mesures nous amènera à ajuster ce paramètre et donc à discuter les phénomènes dont l'étude mérite d'être approfondie.

2. STATION D'ÉTUDES

Le travail s'est déroulé dans la parcelle n° 267, adjacente à la réserve du Gros-Fouteau, sur le plateau dans la partie centrale du domaine forestier de Fontainebleau (lat. 48°26'N, long. 2°41'E, alt. 136 m). Le substrat géologique du plateau est constitué par le « calcaire d'Etampes » (fin Oligocène) en continuité avec le « calcaire de Beauce », recouverts par des sables siliceux quaternaires d'origine éolienne. En fonction de l'épaisseur de la couche sableuse, les sols de cette parcelle sont soit des sols lessivés, soit des sols podzoliques. Les précipitations annuelles moyennes (de 1883 à 1983) sont de 720 mm; la répartition des pluies au cours de l'année est très régulière : 361 mm d'octobre à mars et 359 mm d'avril à septembre, avec des maxima en janvier et en décembre (72 mm), et des minima en mars (48 mm) et en avril (46 mm); la température moyenne de l'air pour la même période est de 10,2°C (moyenne mensuelle maximale en juillet : 18,2°C, minimale en janvier : 2,2°C). Le peuplement de la placette est une futaie qui, en raison de son âge (120 ans) peut être considérée comme relativement stable; le chêne *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. en représente l'espèce dominante avec une hauteur moyenne de 30 m, une densité de 182 arbres * ha⁻¹ et une surface terrière de 33,8 m² * ha⁻¹; la strate arbustive, très peu dense, est essentiellement constituée de hêtres.

3. MÉTHODES EMPLOYÉES ET RÉSULTATS OBTENUS

L'interception (I_n) a été calculée en soustrayant la somme des précipitations au sol (P_s) et de l'écoulement le long des troncs (E_c) des précipitation incidentes (P_i) (méthode du bilan hydrique) :

$$I_n = P_i - (P_s + E_c) \quad (\text{mm} * \text{j}^{-1}). \quad (1)$$

Nous avons mesuré P_i , P_s et E_c du 29 janvier 1981 au 21 décembre 1983. Pour les phases sans feuilles, les mesures sont faites tous les 20 ou 30 jours, pour les phases avec feuilles, toutes les semaines. La mise au point du modèle a nécessité d'estimer la rétention en eau du couvert végétal que nous évalué de deux façons : (a) par mesures directes en décomposant le compartiment « couvert végétal » en deux compartiments : « couronnes » et « troncs »; (b) indirectement, en déduisant cette rétention de la corrélation entre les précipitations incidentes et les précipitations au sol. Ce sont les résultats issus des mesures directes qui ont été utilisés dans le modèle de l'interception. Parallèlement, les deux approches, directes et indirectes, ont été confrontées.

(a) *mesures directes de la rétention en eau du couvert.* La rétention en eau du couvert végétal a été décomposée en somme des rétentions en eau des troncs et des couronnes d'arbres, elles mêmes constituées de celles des branches et des feuilles. La rétention en eau de chacune des trois unités, troncs, branches, feuilles sera calculée comme suit : (rétention en eau d'une surface unitaire de troncs, branches, feuilles) \times (surface totale de troncs, branches, feuilles susceptible de retenir l'eau, dite surface évaporante des troncs, branches, feuilles). Alors que la rétention en eau d'une surface unitaire est mesurable directement à partir d'échantillons d'écorce de troncs, d'écorce de branches, de feuilles, la surface totale de troncs, branches, feuilles susceptible de retenir l'eau ne peut être appréciée que par calcul théorique nécessitant diverses hypothèses. Pour chacune des trois unités, nous définirons une rétention en eau maximale et minimale; de la différence entre ces deux rétentions, nous obtiendrons « la réserve utile » (par analogie avec la terminologie employée pour le sol) des troncs, des branches, des feuilles, représentant la quantité d'eau effectivement « utilisable dans l'interception ».

(b) *appréciation indirecte de la rétention en eau du couvert.* La rétention en eau du couvert peut être appréciée globalement (sans dissocier les troncs des couronnes d'arbres) à partir de la relation entre les précipitations au sol (P_s) et les précipitations incidentes (P_i). Cette relation est linéaire (fig. 1), et dépend de la phénophase (avec ou sans feuilles), soit pour la phénophase :

— sans feuilles

$$P_s = 0,81 * P_i - 2,61 \quad (N=17, r=0,983) \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

— avec feuilles

$$P_s = 0,73 * P_i - 2,62 \quad (N=36, r=0,978) \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

Cette rétention en eau du couvert correspondra à la valeur de P_i suffisante pour « emplir » la « réserve utile » du couvert mais néanmoins insuffisante pour qu'il y ait des précipitations au sol ($P_s=0$), soit pour la phénophase sans feuilles une « réserve utile » du couvert correspondant à $P_i=3,22$ mm, et pour la phénophase avec feuilles à $P_i=3,59$ mm.

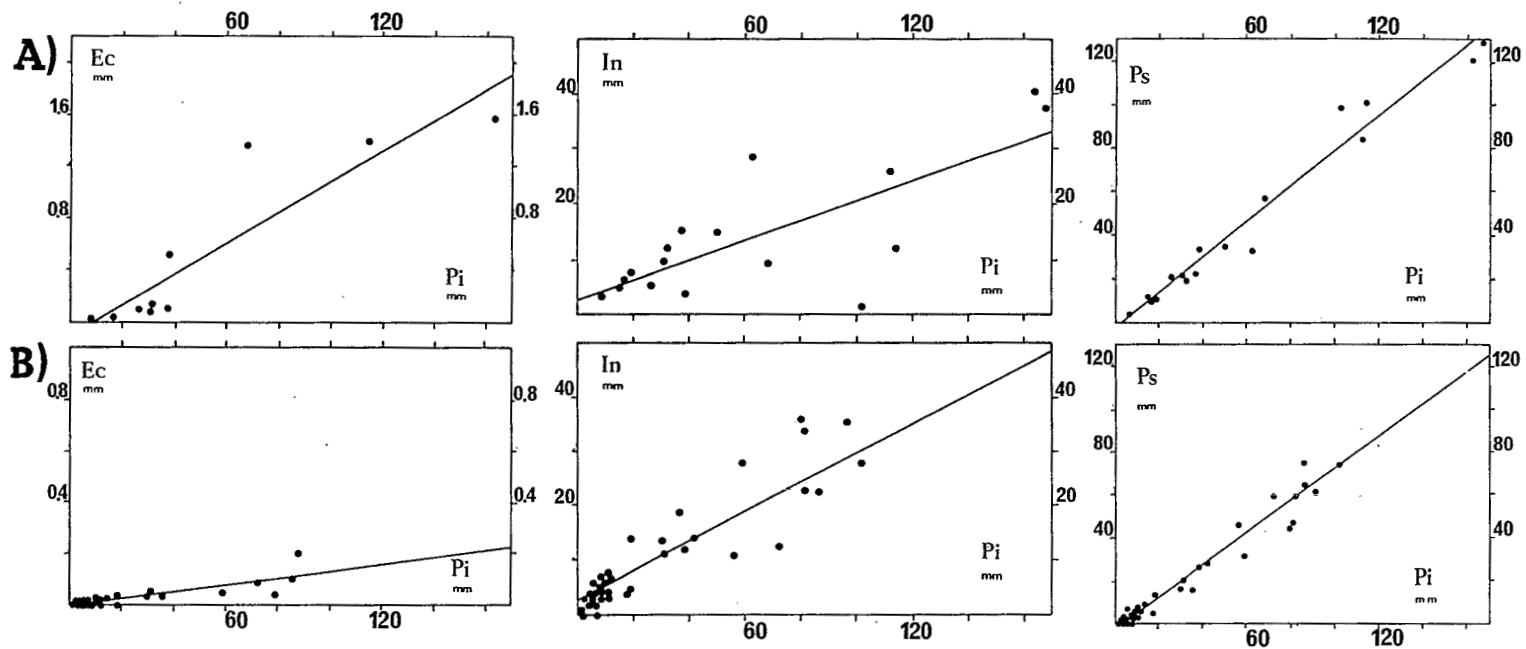


FIG. 1. — Relation entre l'écoulement le long des troncs (Ec), l'interception (In), les précipitations au sol (Ps) cumulées dans le peuplement de *Quercus petraea*. Valeurs cumulées sur 20 à 30 jours en phase sans feuilles; hebdomadaires en phase avec feuilles. (A) Phase sans feuilles : $Ec = 0,012 * Pi - 0,103$ ($N = 10$, $r = 0,903$); $In = 0,181 * Pi + 2,672$ ($N = 17$, $r = 0,763$); $Ps = 0,81 * Pi - 2,61$ ($N = 17$, $t = 0,983$); (B) Phase avec feuilles : $Ec = 0,001 * Pi - 0,004$ ($N = 26$, $r = 0,821$); $In = 0,27 * Pi + 2,619$ ($N = 36$, $r = 0,865$); $Ps = 0,73 * Pi - 2,62$ ($N = 36$, $r = 0,978$).

3. 1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Précipitations incidentes (P_i)

Les relevés journaliers de P_i proviennent de la station météorologique de Fontainebleau-Ville, à 2 km de la station d'études, ils ont été obtenus à l'aide d'un pluviomètre de type « association » (la surface réceptrice est de 400 cm², le pluviomètre est placé à 1,50 m de la surface du sol).

Précipitations au sol (P_s)

Les précipitations au sol ont été recueillies à l'aide de 64 pluviomètres fixes (16 groupes de 4) disposés régulièrement sur la placette d'étude afin que le facteur de variabilité de P_s qu'est la position du point de mesure à l'intérieur de la forêt soit minimisé par le nombre de pluviomètres employés (la surface totale de réception est de 3607 cm²) et par leur disposition régulière au sol. Comme valeur représentative de l'ensemble du peuplement, nous avons utilisé la moyenne arithmétique des hauteurs d'eau des 64 pluviomètres.

Écoulement le long des troncs (E_c)

Nous avons entouré le tronc d'une gouttière en matière plastique étanche en forme d'hélice débutant à 1,30 m du sol et s'en arrêtant à 0,50 m, hauteur à laquelle le volume d'eau qui s'écoule par la gouttière est recueilli. Nous avons mesuré cet écoulement sur deux arbres différant par leur circonférence à 1,30 m (1,58 et 1,08 m) et par la surface de la projection verticale au sol de leur couronne (61,50 et 12,50 m²). E_c , exprimé en hauteur d'eau, est rapporté à la surface des projections verticales des couronnes des deux arbres.

La rétention en eau des couronnes d'arbres (RE)

L'appréciation de RE exige que nous estimions la rétention en eau d'une surface unitaire de branches à partir d'un échantillon de l'écorce des branches et celle d'une surface unitaire de feuilles à partir d'un échantillon de feuilles; puis les surfaces évaporantes des branches et des feuilles.

Les rétentions en eau unitaires

(a) *Les branches.* Nous avons récolté dans le peuplement une surface d'écorce de branches de 4022 cm². Cette surface a été saturée en eau et pesée (poids à saturation), puis séchée à l'air à 20°C jusqu'à stabilisation du poids (poids à 20°C) et enfin séchée à 80°C (poids sec). La rétention en eau minimale (CCb_{\min}) de l'écorce des branches est égale à la différence entre le poids à 20°C et le poids sec, divisée par la surface de l'échantillon et exprimée en hauteur d'eau. De même, la rétention en eau maximale (CCb_{\max}) de l'écorce des branches est calculée à partir de la différence entre le poids à saturation et le poids sec, soit :

$$CCb_{\min} = 1,08 \pm 1,01 \text{ mm}, N=5 \quad (4)$$

$$CCb_{\max} = 4,70 \pm 0,53 \text{ mm}, N=5 \quad (5)$$

$$CCb_{RU} = CCb_{\max} - CCb_{\min} = 3,62 \text{ mm}. \quad (6)$$

(b) *Les feuilles.* Au moment où $LAI = LAI_{\max}$, nous avons récolté une branche avec ses feuilles en immergeant immédiatement la coupe dans l'eau. Pour apprécier la quantité d'eau maximale susceptible d'être retenue à la surface d'une feuille, nous avons pesé chaque feuille de l'échantillon sec et après immersion sous l'eau. Nous avons ainsi estimé le volume d'eau maximum moyen retenu à la surface d'une feuille qui, divisé par la surface moyenne, nous a donné la rétention en eau maximale (CCf_{\max}) d'une surface unitaire de feuille :

$$CCf_{\max} = 0,47 \pm 0,23 \text{ mm}; \quad N=29. \quad (7)$$

La rétention en eau minimale (CCf_{\min}) d'une feuille sera considérée comme nulle, contrairement donc à celle de l'écorce des branches, ceci rendant compte de la différence du type de surface, ainsi :

$$CCf_{\min} = 0 \text{ mm}.$$

Les surfaces évaporantes.

(a) *Les branches.* Nous avons supposé que la surface évaporante des branches correspondait à leur projection verticale au sol (ou degré de recouvrement du sol par les branches $- b$), que nous avons estimé à partir de photographies hémisphériques (ANDERSON, 1966) : nous faisons l'hypothèse que la superposition des branches dans une couronne est telle que seule la fraction équivalente à la projection verticale de ces branches est effectivement exposée à la pluie et que cette fraction protège de la pluie la fraction restante.

(b) *Les feuilles.* Nous avons supposé que la surface évaporante des feuilles correspondait au produit indice foliaire \times projection verticale au sol des feuilles (estimée à partir de l'analyse de photographies hémisphériques); le raisonnement est le même que pour les branches à la différence près qu'il existe LAI couches de feuilles susceptibles de retenir l'eau.

Les photographies hémisphériques ont été prises au-dessus de chacun des neuf tubes d'humidimétrie neutronique à des moments remarquables, lors de la phase sans feuilles et lors de la phase avec feuilles au maximum d'indice foliaire. Nous avons mesuré la surface relative occupée par la végétation grâce à un analyseur d'images au Laboratoire de Télédétection de Bioclimatologie de l'I.N.R.A. à Versailles. Ainsi a été calculé le pourcentage de recouvrement du sol par les branches ($b=0,34$, phase sans feuilles) et le pourcentage de recouvrement du sol par les branches et les feuilles lorsque $LAI=LAI_{max}=4,26$ ($bf=0,76$, phase avec feuilles); par différence, nous obtenons le pourcentage de recouvrement du sol par les feuilles (f) lorsque l'indice foliaire est maximal, soit :

$$f = bf - b = 0,42. \quad (8)$$

Les rétentions en eau des couronnes d'arbres (RE).

(a) *La phase sans feuilles.* Les rétentions en eau maximale (rb_{max}) et minimale (rb_{min}) des branches ont été calculées d'après les formules suivantes :

$$rb_{max} = CCb_{max} * b = 1,61 \text{ mm} \quad (9)$$

$$rb_{min} = CCb_{min} * b = 0,37 \text{ mm}. \quad (10)$$

(b) *La phase avec feuilles.* Les rétentions en eau maximale (rf_{max}) et minimale (rf_{min}) de l'ensemble des feuilles s'écrivent (pour $LAI_{max}=4,26$) :

$$rf_{max} = CCf_{max} * LAI * f = 0,84 \text{ mm} \quad (11)$$

$$rf_{min} = CCf_{min} * LAI * f = 0,00 \text{ mm}. \quad (12)$$

Ainsi, les rétentions en eau maximale (RE_{max}) et minimale (RE_{min}) des couronnes d'arbres lors de la phase avec feuilles représentent la somme de deux rétentions, celle des branches et celle des feuilles, soit :

$$RE_{max} = rb_{max} + rf_{max} = 2,45 \text{ mm} \quad (13)$$

$$RE_{min} = rb_{min} + rf_{min} = 0,37 \text{ mm}. \quad (14)$$

En ce qui concerne les phases intermédiaires par rapport aux deux phénophases remarquables, sans feuilles et avec feuilles au maximum d'indice foliaire, RE_{max} et RE_{min} pour toutes les phases sont calculées à partir des formules suivantes :

$$\left. \begin{aligned} RE_{max} &= b * CCb_{max} + (bf - b) * CCf_{max} * (LAI^2 / LAI_{max}) & (\text{mm}) \\ RE_{min} &= 0,37 & (\text{mm}) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

telles que : (1) l'indice foliaire est calculé pour chaque jour suivant la méthode proposée par NIZINSKI et SAUGIER (1988); (2) le degré de recouvrement du sol par les couronnes d'arbres est une fonction linéaire du LAI, entre b et bf ; RE_{max} est linéairement dépendante de LAI et varie entre 1,61 et 2,45 mm; RE_{min} (0,37 mm) est constante puisque $CCf_{min}=0$ mm.

La rétention en eau par la surface des troncs d'arbres (RT)

Nous avons estimé les rétentions en eau maximale et minimale par l'écorce des troncs d'arbres de la même façon que celle de l'écorce des branches ($CCb_{\max} = 4,70$ mm; $CCb_{\min} = 1,08$ mm). Nous avons ensuite évalué la surface évaporante des troncs d'arbres par unité de surface du peuplement en supposant que toute la surface d'un tronc est susceptible de retenir l'eau : pour cela, nous avons comptabilisé sur une surface de 1 ha (station des expériences comprise) le nombre d'individus par classes de 10 cm de circonférence à 1,30 m. La surface évaporante d'un tronc a été calculée en assimilant le tronc d'arbre à un cône tronqué dont nous avons mesuré deux circonférences particulières, la 1^{re} au niveau du houppier à l'aide du relascope de Bitterlich, la 2^e à 1,30 m du sol à l'aide d'un mètre. Après avoir établi une relation empirique entre la circonférence du tronc à 1,30 m et la surface du tronc, nous avons pu apprécier la surface de tout tronc connaissant sa circonférence à 1,30 m. Disposant de la surface évaporante des troncs d'arbres du peuplement (ST) par unité de surface du sol (SS) ($ST/SS = 0,2635 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) et des rétentions maximale (CCb_{\max}) et minimale (CCb_{\min}) en eau de l'écorce des troncs d'arbres, nous obtenons :

$$RT_{\max} = ST/SS * CCb_{\max} = 1,24 \text{ mm} \quad (16)$$

$$RT_{\min} = ST/SS * CCb_{\min} = 0,28 \text{ mm} \quad (17)$$

$$RT_{RU} = RT_{\max} - RT_{\min} = 0,96 \text{ mm.} \quad (18)$$

La rétention en eau de la litière (RL)

Nous avons effectué deux séries de mesures (26 avril et 26 mai 1982) pour établir « la réserve utile » de la litière. Pour obtenir sa rétention en eau maximale (RL_{\max}), des échantillons de litière (cinq grilles, surface totale 2000 cm²) ont été prélevés immédiatement après une forte pluie et pesés. Pour obtenir la rétention en eau minimale (RL_{\min}), à savoir le volume d'eau toujours retenu dans la litière quelles que soient les conditions climatiques, nous avons fait sécher ces échantillons à température ambiante (environ +18°C) durant 23 jours et les avons pesés. Nous obtenons :

$$RL_{\min} = 0,93 \pm 0,34 \text{ mm,} \quad N=5 \quad (19)$$

$$RL_{\max} = 3,82 \pm 1,17 \text{ mm,} \quad N=5 \quad (20)$$

$$RL_{RU} = 2,89 \pm 1,05 \text{ mm,} \quad N=5. \quad (21)$$

3. 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Précipitation au sol

Les précipitations au sol obtenues pour l'ensemble du peuplement pendant les trois années d'études (tableau I) s'élèvent à 70,6% des précipitations incidentes (Pi); elles sont sensiblement plus importantes lors de la phase sans feuilles (76,6% de Pi) que lors de la phase feuillée (65,5% de Pi), soit 11,1% de différence qui s'explique par le changement de recouvrement du sol (b ou bf) par les feuilles, de $b = 0,34$ (hiver) à $bf = 0,76$ (été); cette évolution du recouvrement est parallèle à l'augmentation de la rétention en eau du couvert, $RE_{RU} + RT_{RU} = 2,20$ mm (hiver) à 3,04 mm (été) (fig. 1). Nous enregistrons une variabilité interannuelle du pourcentage de Pi que représente Ps pour une même phénophase, par exemple pour la phase avec feuilles, en 1983, avec $Pi = 297,3$ mm, $Ps = 58,7\%$ de Pi ; en 1982, avec $Pi = 321,5$ mm, $Ps = 69,5\%$ de Pi . Nous retrouvons le fait que le rapport Ps/Pi augmente avec Pi , déjà mentionné par RAPP et IBRAHIM (1978). Nous pouvons par ailleurs supposer une influence de l'intensité de chaque Pi sur Ps ; cette supposition n'est pas ici vérifiable puisque nous ne disposons que de mesures de P accumulée (semaine, mois). L'étude de l'influence des divers facteurs météorologiques sur Ps

(la nature des pluies, leur fréquence, leur direction, les dimensions des gouttes d'eau, la vitesse du vent, etc.) supposerait de suivre chaque pluie individuellement. En ce qui concerne l'influence de la structure du peuplement sur P_s (voir AUSSENAC (1975) pour une discussion à ce sujet), nous avons supposé que la structure du couvert restait la même d'une année à l'autre. Nos valeurs des précipitations au sol sont du même ordre de grandeur que celles obtenues sous châenaie à l'Est de la France par AUSSENAC (1968, 1970, 1975, 1977); AUSSENAC et BOULANGEAT, (1980) ($P_s=70$ à 80% de P_i — phase sans feuilles; $P_s=65$ à 70% de P_i — phase avec feuilles), et en Belgique par SCHNOCK (1970) ($P_s=73$ à 81% — phase sans feuilles; $P_s=66$ à 77% de P_i — phase avec feuilles pour une forêt mélangée où *Quercus robur* est l'espèce dominante).

TABLEAU I. — Précipitations au sol (P_s): valeurs cumulées durant les phénophases sans feuilles et avec feuilles du 29 janvier 1981 au 16 décembre 1983.

Période	Précipitations incidentes (P_i), (mm)	P_s	
		(mm)	(% de P_i)
1	2	3	4
29.01.1981 - 23.04.1981	188,70	129,37	68,56
06.11.1981 - 25.04.1982	395,20	307,87	77,90
18.11.1982 - 19.04.1983	439,80	342,77	77,94
18.11.1983 - 16.12.1983	37,90	33,72	88,97
Phases sans feuilles	1 061,60	813,73	76,65
14.05.1981 - 19.10.1981	513,30	343,65	66,95
25.05.1982 - 13.10.1982	321,50	223,30	69,46
18.05.1983 - 20.10.1983	297,30	174,44	58,67
Phases avec feuilles	1 132,10	741,39	65,49
29.01.1981 - 16.12.1983	2 514,30	1 776,22	70,62

* Moyenne arithmétique des hauteurs d'eau des 64 pluviomètres posés au sol.

Écoulement le long des troncs

L'écoulement le long des troncs mesuré pendant 2 années (du 11 mars 1982 au 16 décembre 1983) (tableau II) représente seulement 0,62% des précipitations incidentes. Comme pour les précipitations au sol, l'écoulement le long des troncs est plus important lors de la phase sans feuilles ($E_c=1\%$ P_i) que lors de la phase feuillée ($E_c=0,12\%$ P_i), différence qui s'explique toujours par la présence de l'écran végétal (fig. 1). De même que pour les précipitations au sol, l'écoulement le long des troncs dépend de l'intensité des précipitations incidentes, phénomène que nous n'avons pas quantifié; nous constatons seulement (phase sans feuilles), que pour $P_i=37,9$ mm avec averses abondantes, $E_c=1,4\%$ P_i (1983); alors que pour $P_i=56,2$ mm avec averses peu abondantes $E_c=0,33\%$ P_i (1982). La dynamique de l'écoulement le long des troncs dépend aussi des « réserves utiles » des branches, $RE_{RU}=2,08$ mm (été) et 1,24 (hiver) et des troncs, $RT_{RU}=0,96$ mm; d'après SCHNOCK (1970) il faut une pluie d'environ 2,5 mm pour que l'on observe un début d'écoulement le long des troncs et au-delà le rapport E_c/P_i augmente avec P_i jusqu'à sa valeur maximale correspondant à 10-20% P_i ; cette valeur maximale de

Ec/Pi est atteinte pour Pi supérieure à 10 mm d'après cet auteur et AUSSENAC (1975). Nous n'avons pas mesuré ces valeurs remarquables de Pi , valeurs dont nous avons par ailleurs besoin dans notre modèle. La « réserve utile » des couronnes d'arbres et de l'écorce des troncs de notre peuplement étant proches des 2,5 mm mentionnés par SCHNOCK (1970) [3,04 mm (été) et 2,20 mm (hiver)], et nos valeurs cumulées du pourcentage de Pi que représente Ec étant similaires à celles de cet auteur, nous avons utilisé pour notre modélisation de l'interception sur un pas de temps d'une journée, les valeurs limites de Pi mesurées par SCHNOCK, 2,5 et 10 mm.

TABLEAU II. — Écoulement le long des troncs (Ec) : valeurs cumulées durant les phénophases sans feuilles et avec feuilles du 11 mars 1982 au 16 décembre 1983.

Période	Précipitations incidentes (Pi), (mm)	Ec	
		(mm)	(% de Pi)
1	2	3	4
11.03.1982 - 25.04.1982	56,20	0,185 3	0,329 7
18.11.1982 - 19.04.1983	439,80	4,625 4	1,051 7
18.11.1983 - 16.12.1983	37,90	0,534 6	1,410 5
Phases sans feuilles	533,90	5,345 3	1,001 2
25.05.1982 - 19.09.1982	163,90	0,202 2	0,123 7
18.05.1983 - 20.10.1983	297,30	0,349 1	0,117 4
Phases avec feuilles	461,20	0,551 3	0,119 5
11.03.1982 - 16.12.1983°	1 221,60	7,583 2	0,620 8

° à l'exception de la période du 20 septembre 1982 au 13 octobre 1982.

Interception

La moyenne de l'interception pour les années 1981, 1982, 1983, années à régime pluviométriques très différent, s'élève à 28,7% de Pi (tableau III), elle est du même ordre que celles observées par AUSSENAC (1968, 1970, 1975, 1977); AUSSENAC et BOULANGEAT (1980) (dans des chênaies à l'Est de la France) et SCHNOCK (1970) (dans des chênaies mélangées en Belgique). Nous retrouvons pour l'interception l'incidence de l'absence ou de la présence des feuilles constatée pour les précipitations au sol et l'écoulement le long des troncs (fig. 1) : In représente en moyenne 22% de Pi en phase défeuillée et 34% en phase feuillée. Nous relevons par ailleurs une grande variabilité interannuelle pour une même phénophase, par exemple pour la phase feuillée : en 1982, avec $Pi=321,5$ mm, $In=30,4\%$ Pi ; en 1983, avec $Pi=297,3$ mm, $In=41,2\%$ Pi . L'analyse des régimes des pluies des années 1982 (averses abondantes) et 1983 (averses peu abondantes) fait apparaître une corrélation négative entre le pourcentage de pluie interceptée et l'intensité de ces pluies.

4. MODÉLISATION DE L'INTERCEPTION

Notre modèle de l'interception est inspiré du modèle de RUTTER *et al.* (1971, 1975 et 1977) qui utilise la notion de rétention en eau du couvert végétal (couronnes

TABLEAU III. — Interception (*In*) : valeurs cumulées durant les phénomènes sans feuilles et avec feuilles du 29 janvier 1981 au 16 décembre 1983.

Période	Précipitations incidentes (<i>Pi</i>) (mm)	<i>In</i>	
		(mm)	(% de <i>Pi</i>)
1	2	3	4
29.01.1981 - 23.04.1981	188,70	57,44	30,44
06.11.1981 - 25.04.1982	395,20	83,38	21,10
18.11.1982 - 19.04.1983	439,80	92,63	21,06
18.11.1983 - 16.12.1983	37,90	3,80	10,03
Phases sans feuilles	1 061,60	237,25	22,35
14.05.1981 - 19.10.1981	513,30	169,03	32,93
25.05.1982 - 13.10.1982	321,50	97,81	30,42
18.05.1983 - 20.10.1983	297,30	122,50	41,21
Phases avec feuilles	1 132,10	389,35	34,39
29.01.1981 - 16.12.1983	2 514,30	722,49	28,74

d'arbres) et de la litière. Dans le modèle de RUTTER *et al.* (*Pseudotsuga menziesii*) les surfaces des couronnes d'arbres et la litière fonctionnent comme deux réservoirs en parallèle qui se vident au-dessus d'un seuil qui correspond à la rétention maximale. L'estimation de ces valeurs seuils constitue donc le facteur limitant de la prédiction du flux d'eau intercepté. Par rapport à ce modèle nous avons été amenés à introduire deux nouveaux termes, la rétention en eau par les surfaces des troncs d'arbres et l'évolution saisonnière de la rétention en eau par les couronnes d'arbres en fonction de l'indice foliaire. Ainsi, le modèle ici présenté comprend trois compartiments (fig. 2), à savoir les surfaces des couronnes (*RE*), les surfaces des troncs d'arbres (*RT*) et la litière (*RL*), compartiments fonctionnant comme trois réservoirs en parallèle qui se vident au-delà de leur rétention en eau maximale; RT_{max} et RL_{max} sont constantes durant toute la période des calculs alors que RE_{max} est une fonction de l'indice foliaire (*LAI*), calculé pour chaque jour suivant la méthode proposée par NIZINSKI et SAUGIER (1988). Le modèle comporte six paramètres principaux : rétention en eau maximale et minimale des couronnes d'arbres (branches, ou branches et feuilles, RE_{max} , RE_{min}), de la surface des troncs d'arbres (RT_{max} , RT_{min}), de la litière (RL_{max} , RL_{min}). Le modèle utilise comme variables d'entrée : le rayonnement net, la température de l'air, la température de rosée, la vitesse du vent et les précipitations incidentes.

4. 1. CALCULS DES FLUX D'EAU

Evaporation de l'eau interceptée

Dès que les surfaces sont saturées en eau (« réserves utiles » des couronnes, des troncs d'arbres et de la litière remplies), l'évaporation de l'eau à partir des surfaces végétales est similaire au processus d'évaporation d'une surface d'eau libre (RUTTER *et al.*, 1971). Nous avons appliqué l'équation de PENMAN (1948), soit :

$$ETP = (\Delta * R_n + \rho c_p * \delta e / r_a) / L * (\Delta + \gamma) \quad (\text{mm} * \text{j}^{-1}) \quad (22)$$

avec : Δ , dérivée de la fonction reliant la pression de vapeur d'eau saturante de l'air et la température; R_n , rayonnement net, en $W * m^{-2}$; ρc_p , capacité calorifique de l'air à pression constante, en $J * m^{-3} * ^\circ C^{-1}$; δe , déficit de saturation de l'air en vapeur d'eau, en mb ; L , chaleur latente de vaporisation de l'eau, en $J * g^{-1}$; γ , constante psychrométrique (fonction des propriétés de l'air), en $mb * ^\circ C^{-1}$; r_a , résistance aérodynamique du couvert forestier, en $s * cm^{-1}$ — la résistance aérodynamique gère l'efficacité de déplacement de vapeur d'eau de la surface évaporante, cette résistance dépend de la vitesse moyenne du vent et de la rugosité du couvert; et en l'absence de stratification thermique, s'exprime ainsi (MONTEITH, 1965) :

$$r_a = (1 / (k^2 * u)) * (\ln(z - d) / z_0)^2 \quad (s * cm^{-1}) \quad (23)$$

avec : k , constante de Karman ($k=0,39$); u , vitesse du vent, en $m * s^{-1}$; z , niveau considéré; d , hauteur de déplacement; z_0 , longueur de rugosité. L'absence d'une instrumentation nécessaire à l'établissement du profil de la vitesse moyenne du vent et du profil thermique nous a conduits à appliquer les simplifications proposées par THOM (1972); il suggère, pour une vitesse du vent modérée, de déduire la hauteur de déplacement (d) et la longueur de rugosité (z_0) du couvert végétal de la hauteur du peuplement (h) selon les formules suivantes :

$$d = 0,75 * h \quad (24)$$

$$z_0 = 0,10 * h \quad (25)$$

où la hauteur de déplacement (d) rend compte d'un déplacement du profil du vent vers le haut d'une distance d , et où la longueur de rugosité (z_0) est obtenue à partir d'une régression linéaire entre $\ln(z - d)$ et u .

Bilan d'eau des couronnes d'arbres (fig. 2)

Lorsque les précipitations incidentes (Pi) arrivent au niveau des couronnes d'arbres, en fonction du degré de recouvrement du sol par la végétation (b ou bf), elles tombent directement au sol ($Pd = (1 - b) * Pi$, hiver; $Pd = (1 - bf) * Pi$, été) ou elles rencontrent l'écran végétal ($Pc = b * Pi$, hiver; $Pc = bf * Pi$, été). Cette partie de la pluie (Pc) réhumecte la surface des feuilles et des branches (RE). Si elle dépasse leur rétention en eau maximale (RE_{max}), il y a égouttement de l'eau des feuilles et des branches (EGB) vers la surface du sol et écoulement, l'eau qui ruisselle le long des branches (ECB) arrivant au tronc; il existe d'autre part une fraction de Pc qui s'évapore vers l'atmosphère (EB); ainsi le bilan des couronnes peut s'exprimer sous la forme suivante :

$$(Pc + RE_{(j-1)}) - (EB + ECB + EGB + RE_{(j)}) \quad (mm * j^{-1}). \quad (26)$$

En comparant l'équation (26) avec les valeurs limites de la rétention en eau des couronnes d'arbres ($\leq RE_{min}$, $\leq RE_{max}$ et $> RE_{max}$) nous avons déduit les valeurs de EB , EGB et $RE_{(j)}$. La valeur de ECB est calculée du bilan des troncs d'arbres.

Bilan d'eau des troncs d'arbres (fig. 2)

Dans ce bilan des troncs d'arbres, l'écoulement le long des branches (ECB) constitue l'entrée d'eau sur les troncs qui sont capables de retenir un stock d'eau donné ($RT_{RU} = 0,96$ mm), et dans ce bilan d'eau des troncs il existe évidemment une évaporation d'eau à partir des troncs (ET). Dans ce cas nous avons supposé

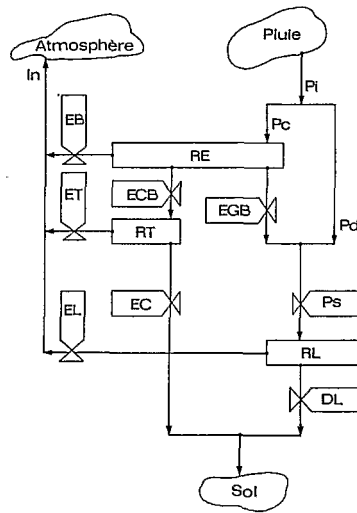


FIG. 2. — Schéma simplifié du modèle de l'interception (*DL* : drainage de l'eau de la litière; *EB* : évaporation de l'eau à partir des couronnes d'arbres; *EC* : écoulement le long des troncs; *ECB* : écoulement le long des branches; *EGB* : égouttement de l'eau des couronnes d'arbres; *EL* : évaporation de l'eau à partir de la litière; *ET* : évaporation de l'eau à partir des surfaces des troncs d'arbres; *In* : interception nette; *Pc* : fraction des précipitations incidentes qui rencontrent l'écran végétal; *Pd* : fraction des précipitations incidentes qui tombent directement sur la litière; *Pi* : précipitations incidentes; *Ps* : précipitations au sol; *RE* : rétention en eau des couronnes d'arbres; *RL* : rétention en eau de la litière; *RT* : rétention en eau de la surface des troncs d'arbres).

que l'écoulement (mesuré) provient exclusivement des précipitations incidentes supérieures à $10 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ (SCHNOCK, 1970; AUSSENAC, 1975) et que le taux d'écoulement [à savoir le rapport valeur cumulée E_c /valeur cumulée P_i (%)] n'est pas fixe mais varie avec P_i ; plus P_i est grand plus le taux d'écoulement l'est aussi jusqu'à une valeur limite de $P_i = 10 \text{ mm}$, au-delà de laquelle le taux d'écoulement est un pourcentage constant de P_i . Au total, ECB est une fonction des précipitations incidentes, du LAI et de la rétention en eau par les couronnes d'arbres (RE_{\max} et $RE_{(j-1)}$), ces variables étant elles-mêmes dépendantes de l'indice foliaire. Ainsi dans ce modèle, l'écoulement le long des troncs, exprimé en valeur relative (E_c par rapport aux précipitations incidentes, soit E_c exprimé en pourcentage de P_i) est compris entre 0,1 et 1% de P_i , soit pour les phénophases sans feuilles ($LAI=0$) $E_{c_{\max}} = 1\%$ de P_i ; et pour les phénophases avec feuilles ($LAI=LAI_{\max}$) $E_{c_{\min}} = 0,1\%$ de P_i ; ces valeurs correspondent effectivement à nos mesures cumulées pour ces deux phénophases. Pour les phénophases intermédiaires, E_c varie de façon linéaire en fonction de LAI entre $E_{c_{\max}}$ et $E_{c_{\min}}$. Ainsi, le bilan des troncs d'arbres s'écrit :

$$(ECB + RT_{(j-1)}) - (Ec + ET + RT_{(j)}) \quad (\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}). \quad (27)$$

En comparant l'équation (27) avec les valeurs limites ($\leq RT_{\min}$, $\leq RT_{\max}$ et $> RT_{\max}$) nous avons déduit ECB , ET et RT .

Bilan d'eau de la litière (fig. 2)

Les observations de LEMEE et FARDJAH (1980) concernant le processus d'évaporation de l'eau sous forêt laissent supposer que la litière a un rôle de protection vis-à-vis de l'évaporation de l'eau du sol (self-mulching) et donc que seule la litière est soumise au phénomène d'évaporation alors que le sol sous-jacent n'est concerné que par le phénomène d'absorption. D'après les résultats de BIGNAND (1978), le processus d'évaporation de l'eau d'une litière (litière de chênes, Gros-Fouteau) serait similaire à celui des sols nus. L'évaporation de la litière dépend de la quantité d'énergie disponible au niveau de la litière et de l'ETP [équation (22)] au niveau des cimes d'arbres, soit :

$$ETP_{\text{sol}} = (1 - FR) * ETP \quad (\text{mm} * \text{j}^{-1}) \quad (28)$$

où

$$FR = 1 - e^{(-g * LAI)} \quad (29)$$

avec : FR , fraction du rayonnement global intercepté (Ross, 1975); LAI , indice foliaire; g , coefficient d'extinction du rayonnement solaire; $g=0,275$ [RAUNER, 1976 (*Quercus robur*) pour un peuplement de 100 à 120 ans ($LAI_{\max}=4$ à 4,5; $Rn(h)/Rn(0)=0,58$) donne un coefficient d'extinction $g=0,25$ à 0,27]. Le coefficient d'extinction utilisé dans le modèle est déduit des valeurs b et bf mesurées.

Si la litière est suffisamment humide, l'évaporation réelle décroît en fonction de la racine carré du temps (nombre de jours sans pluie, t), soit : $EL = ETP_{\text{sol}} / \sqrt{t}$, en $\text{mm} * \text{j}^{-1}$. Ainsi, le bilan de la litière s'écrit :

$$(EGB + (Pc + RL_{(j-1)}) - (EL + RL_{(j)} + DL)) \quad (\text{mm} * \text{j}^{-1}) \quad (30)$$

avec : DL , drainage de l'eau de la litière. En comparant l'équation (30) avec les valeurs limites de la rétention en eau de la litière ($\leq RL_{\min}$, $\leq RL_{\max}$ et $> RL_{\max}$), nous avons déduit les valeurs de EL , $RT_{(j)}$ et Dl .

4. 2. COMPARAISON DU MODÈLE AVEC LES MESURES. DISCUSSION

Nous comparerons les valeurs simulées et les valeurs mesurées en confrontant les relevés des précipitations au sol mesurées avec les précipitations au sol simulées sur des périodes comparables, soit : (a) de trente à cinquante jours lors de la phase défeuillée et d'une semaine lors de la phase feuillée (comparaison modèle-mesures hebdomadaires); (b) par *phénophases* (comparaison modèle-mesures par *phénophases*).

Comparaison modèle-mesures hebdomadaires (fig. 3)

L'écart entre valeurs simulées et valeurs mesurées est plus faible lors des phases défeuillées que lors des phases feuillées. Ainsi, pour les phases défeuillées, cet écart qui oscille en moyenne entre $-8,3$ et $+8,8\%$ de $P_{\text{mesuré}}$, est nettement plus faible pour les précipitations au sol comprises entre 50 et 130 mm (écart de $-6,0$ à $+3,0\%$ de $P_{\text{mesuré}}$) que pour les précipitations au sol comprises entre 0 et 50 mm

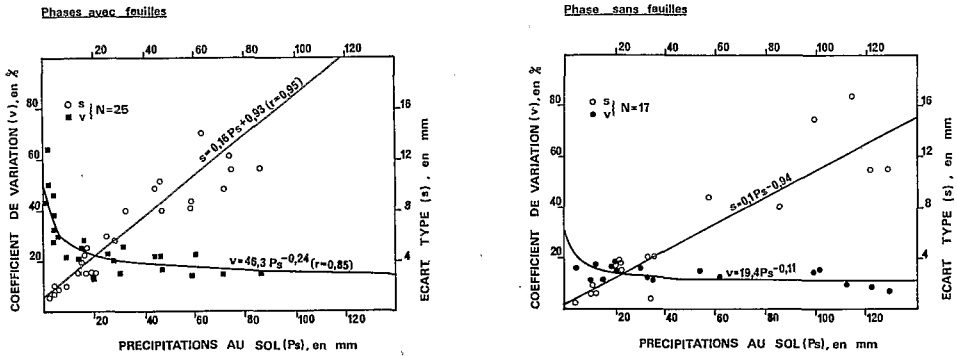


FIG. 3. — Variation de l'écart type (s) et du coefficient de variation (v) des valeurs cumulées moyennes des précipitations au sol (P_s) au cours des trois années d'observation (64 pluviomètres) : (a) : Phase avec feuilles; (b) : Phase sans feuilles.

(écart de $-9,0\%$ à $+13\%$ de $P_{S_{\text{mesuré}}}$). Nous retrouvons la même logique de phénomène lors des phases feuillées, phénomène que nous avons analysé comme suit : à partir de la relation $P_{S_{\text{simulé}}} : f(P_{S_{\text{mesuré}}})$ qui est une fonction linéaire, $Y = X$, nous avons calculé l'écart-type (s) et le coefficient de variation (v) de $P_{S_{\text{simulé}}}$ pour une classe donnée de valeurs de $P_{S_{\text{mesuré}}}$, nous avons pu constater que les coefficients de variation des valeurs des précipitations au sol simulées diminuent lorsque les précipitations au sol mesurées augmentent. Cette évolution du coefficient de variation de $P_{S_{\text{simulé}}}$ rendrait plutôt compte d'un phénomène réel que d'une simulation entachée d'erreur puisque au niveau des mesures on retrouve une évolution similaire entre le coefficient de variation de $P_{S_{\text{mesuré}}}$, et $P_{S_{\text{mesuré}}}$ (fig. 4); soit un coefficient de variation de 40 à 27% pour des précipitations au sol comprises entre 2 et 20 mm; et de 27 à 23% pour P_s compris entre 20 et 60 mm. Nous allons maintenant analyser les phénomènes que recouvrent ces variations du coefficient de variation à partir d'une analyse des précipitations incidentes; pour cela, nous diviserons ces précipitations incidentes en deux classes : de 00 à 10 mm, puis au-delà de 10 mm.

— *cas des précipitations incidentes de 00 à 10 mm.* Le modèle qui fonctionne avec un pas de temps d'une journée néglige la structure journalière des précipitations incidentes, il suppose en effet que la lame d'eau journalière qu'est P_i est distribuée de façon uniforme sur toute la journée. Les précipitations au sol simulées dépendent donc de cette distribution, supposée uniforme, des pluies. En réalité, la structure journalière des pluies inférieures à 10 mm influe de façon décisive sur la fraction des précipitations incidentes qui parviendront au sol. Pour un volume de pluie journalier égal, la fraction des précipitations incidentes qui tombe au sol est d'autant moins importante que la pluie arrive en petites averses entrecoupées de nombreuses périodes de temps clair. Lors de ces périodes sans pluie, l'eau interceptée s'évapore et le « réservoir » que constituent les parties aériennes [d'un volume de 2,20 mm (hiver) à 3,04 mm (été)] est à nouveau disponible pour se recharger en eau, alors que dans le cas d'une durée plus longue des averses, ce phénomène d'évaporation est moindre, à LAI et ETP égaux.

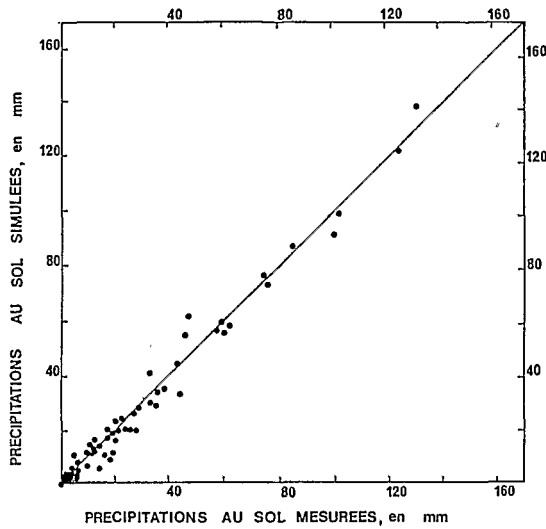


FIG. 4. — Comparaison des valeurs simulées et mesurées des précipitations au sol (P_s) pour la période du 29 janvier 1981 au 16 décembre 1983. Valeurs cumulées sur 20 à 30 jours en phase sans feuille; hebdomadaires en phase avec feuilles.

— *cas des précipitations incidentes supérieures à 10 mm.* Nous avons vu que les précipitations au sol simulées étaient très proches des précipitations au sol mesurées lorsque ces dernières étaient supérieures à 10 mm, ce qui correspond dans l'ensemble à des précipitations incidentes supérieures à $10 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$. Nous pensons que cet accord entre valeurs simulées et mesurées vient du fait qu'en introduisant un bilan d'eau des troncs d'arbres, nous avons « détourné » une partie des précipitations incidentes vers l'interception; en effet, dans le modèle de HALLDIN *et al.* (1985) validé à partir des mêmes données, issues de la même station d'études, l'eau interceptée provenait exclusivement de la surface des couronnes d'arbres et les précipitations au sol furent surestimées.

Comparaison modèle-mesures par phénophases

L'accord entre les valeurs simulées et mesurées pour les différentes phénophases du 29 janvier 1981 au 16 décembre 1983 est dans l'ensemble satisfaisant (tableau IV). Les précipitations au sol pendant cette période sont les suivantes : $P_{S_{\text{simulé}}} = 1728 \text{ mm}$, soit 69% de P_i et $P_{S_{\text{mesuré}}} = 1776 \text{ mm}$, soit 71% de P_i ; il y a donc une sous-estimation des précipitations au sol de 48 mm (2% de P_i). Pour les trois années d'étude, les résultats des calculs sont toujours plus proches des mesures lors des phénophases défeuillées que lors des phénophases feuillées. Pour l'ensemble des phénophases défeuillées, nous obtenons $P_{S_{\text{simulé}}} = 823 \text{ mm}$, soit 78% de P_i ; $P_{S_{\text{mesuré}}} = 814 \text{ mm}$, soit 77% de P_i ; ce qui ne représente qu'une surestimation de 9 mm (1% de P_i). Selon les années, l'écart entre $P_{S_{\text{simulé}}}$ et $P_{S_{\text{mesuré}}}$ varie de -1 mm ($-0,3\%$ P_i , pour la période du 18 novembre 1982 au 19 avril 1983) à $+11 \text{ mm}$ ($+6\%$ P_i pour la période du 29 janvier 1981 au 23 avril 1981). Pour l'ensemble des phénophases feuillées, $P_{S_{\text{simulé}}}$ est sous-estimé de 47 mm (4% P_i) par rapport à

$P_{S_{\text{mesuré}}}$; les valeurs obtenues pour $P_{S_{\text{simulé}}}$ et $P_{S_{\text{mesuré}}}$ étant respectivement de 694 mm (61% P_i) et 741 mm (65% P_i). Selon les années, l'écart entre $P_{S_{\text{simulé}}}$ et $P_{S_{\text{mesuré}}}$ varie de -38 mm (-12% P_i , pour la période du 25 mai au 13 octobre 1982) à +7 mm (+1% de P_i , pour la période du 14 mai au 19 octobre 1981).

TABLEAU IV. — Comparaisons entre les valeurs simulées et mesurées des précipitations au sol (P_s) : valeurs cumulées durant les phases sans feuilles et avec feuilles du 29 janvier 1981 au 16 décembre 1983.

Date	Précipitations incidentes (P_i) (mm)	Précipitations au sol (P_s) (mm)				$\frac{P_{S_{\text{simulées}}}}{P_{S_{\text{mesurées}}}}$	
		Mesurées ($P_{S_{\text{mesurées}}}$)*		Simulées ($P_{S_{\text{simulées}}}$ **)		(mm)	(% de P_i)
		(mm)	(% de P_i)	(mm)	(% de P_i)		
29.01.1981 - 23.04.1981	188,7	129,37	68,56	140,16	74,28	10,79	5,72
06.11.1981 - 25.04.1982	395,2	307,87	77,90	311,46	78,82	3,59	0,92
18.11.1982 - 19.04.1983	439,8	342,77	77,94	341,48	77,64	-1,29	-0,30
18.11.1983 - 16.12.1983	37,9	33,72	88,97	30,01	79,18	-3,71	-9,97
Phase sans feuilles totale	1 061,6	813,73	76,65	823,11	77,53	9,38	0,88
14.05.1981 - 19.10.1981	513,3	343,65	66,95	350,32	68,25	6,67	1,30
25.05.1982 - 13.10.1982	322,5	223,30	69,24	185,75	57,60	-37,55	-11,64
18.05.1983 - 21.10.1983	297,3	174,44	58,67	158,09	53,17	-16,35	-5,50
Phase avec feuilles totale	1 133,1	741,39	65,43	694,16	61,26	-47,23	-4,17
29.01.1981 - 16.12.1983	2 515,3	1 776,22	70,62	1 728,21	68,71	-48,01	-1,91

5. CONCLUSION

Cette étude du devenir des précipitations incidentes dans une futaie de chênes (120 ans) confirme l'importance quantitative de l'interception. Celle-ci s'élève en moyenne sur les trois années étudiées à 29% des précipitations incidentes, représentant 22% de P_i en phase sans feuilles et 34% en phase avec feuilles. Les mesures directes de la rétention en eau du couvert végétal (dissociant la rétention des couronnes et des troncs d'arbres) ont donné les résultats suivants : la « réserve utile » des couronnes d'arbres varie avec les phénophases; pour $LAI=0$, elle s'élève à 1,24 mm, pour LAI_{max} , elle est égale à 2,08 mm. Nos valeurs sont plus élevées que celles de SCHNOCK (1970), respectivement de 0,8 mm et 1,6 mm (forêt de *Quercus robur* de 40 à 60 ans), mais correspondent aux valeurs citées par AUSSENAC (1975) qui a étudié RE_{RU} de plusieurs espèces arborescentes en fonction de multiples facteurs, âge du peuplement, densité des tiges par hectare, recouvrement du sol, etc. : RE_{RU} pour des peuplements feuillus avec un recouvrement du sol de 90% est de 1,9 à 2,5 mm (phase feuillée), en phase défeuillée de 0,8 à 1,5 mm. Le fait d'avoir fait varier RE_{max} de façon linéaire en fonction de l'indice foliaire donne des résultats corrects, mais il s'agirait de vérifier expérimentalement si cette fonction est effectivement linéaire.

La « réserve utile » de la surface des troncs s'élève à 0,96 mm, ce qui représente 46,1 à 77,4% de la « réserve utile » des couronnes, soit une valeur loin d'être

négligeable pour l'espèce étudiée. Il s'agit évidemment d'une caractéristique spécifique propre à *Quercus petraea*, espèce à écorce épaisse et rugueuse pour laquelle l'écoulement mesuré à 1,30 m est faible (de 0,1 à 1,0 % de P_i).

Pour le couvert végétal nous obtenons les rétentions en eau suivantes qui, nous le rappelons, sont issues des mesures directes des rétentions minimales et maximales :

phénophases sans feuilles : $RE_{RU} + RT_{RU} = 1,24 + 0,96 = 2,20$ mm

phénophases avec feuilles : $RE_{RU} + RT_{RU} = 2,08 + 0,96 = 3,04$ mm.

Nous pouvons comparer la valeur de ces résultats à ceux issus de l'établissement de corrélations entre les précipitations au sol et les précipitations incidentes pour lesquelles nous obtenons 3,22 mm comme « réserve utile » du couvert végétal (couronnes et troncs d'arbres) lors des phénophases sans feuilles et 3,59 mm lors des phénophases avec feuilles [équations (2) et (3); (fig. 1)]. Les valeurs issues de ces corrélations sont plus élevées que celles issues des mesures directes, de 0,55 mm en été et de 1,02 mm en hiver, et que celles issues de la littérature. Cette surestimation de RE_{RU} provient du principe de l'ajustement linéaire, du fait que les régressions ont été faites avec proportionnellement plus de points pour les faibles valeurs de P_s et P_i que pour les valeurs plus élevées (dû à notre méthodologie); or ces faibles valeurs tendent à surestimer la pente de la fonction $P_s = n * P_i + m$ [équations (2) et (3); (fig. 1)], et à surestimer le terme m/n , évaluation de RE_{RU} .

L'accord entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées des précipitations au sol et de l'interception laisse supposer que les rétentions en eau des troncs, des branches, des feuilles estimées directement expriment assez bien le phénomène réel de rétention en eau du couvert; ceci permet de généraliser le modèle à d'autres années lorsque l'on connaît les variables météorologiques d'entrée du modèle (rayonnement net, température de l'air, température de rosée, vitesse du vent et précipitations incidentes). Néanmoins, la suite de cette recherche s'orientera vers une décomposition encore plus fine des compartiments troncs, branches, feuilles; et vers l'utilisation d'un pas de temps inférieur à la journée, un pas de temps horaire.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur le Chef du Centre de l'O.N.F. de Fontainebleau de nous avoir permis de travailler en forêt de Fontainebleau. Nous remercions Messieurs Bernard LEGAY et Jean-Yves PONTAILLER de leur aide sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON A. R. & PYATT D. G., 1986. — Interception of precipitation by pole-stage Sitka spruce and lodgepole pine and mature Sitka spruce at Kielder Forest, Northumberland. *Forestry*, **59**, (1), 29-38.
- ANDERSON M. C., 1966. — Stand structure and light penetration. (II) A theoretical analysis. *Journal of Applied Ecology*, **3**, 41-54.
- AÛSSENAC G., 1968. — Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sci. For.*, **25**, (3), 135-156.

- AUSSENAC G., 1970. — Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Ann. Sci. For.*, **27**, (4), 383-399.
- AUSSENAC G., 1975. — Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences écophysologiques chez quelques résineux. *Thèse d'Etat*, Université de Nancy, 234 p.
- AUSSENAC G., 1977. — Le cycle hydrologique en forêt. In : L. PESSON (Ed.), *Actualités d'écologie forestière*. Gauthier-Villars, Paris, 283-307.
- AUSSENAC G. & BOULANGEAT C., 1980. — Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco). *Ann. Sci. For.*, **37**, (2), 91-107.
- BIGNAND C., 1978. — Recherches sur la biodégradation de litière forestière : dynamique annuelle de la minéralisation du carbone. *Thèse 3^e cycle*, Université de Paris-Sud, Orsay, 87 p.
- CALDER I. R., 1977. — A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, Central Wales. *Journal of Hydrology*, **33**, 247-265.
- CHASSAGNEUX P. & CHOISNEL E., 1986. — Modélisation de l'évaporation globale d'un couvert forestier. (I) Principes physiques et description du modèle. *Ann. Sci. For.*, **43**, (4), 505-520.
- DOLMAN A. J., 1985. — *Rainfall interception in oak forest: modelling and measurement during different phenological phases*. Research Reports, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, **10**, 39-47.
- GASH J. H. C., 1979. — An analytical model of rainfall interception by forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **105**, 43-55.
- GASH J. H. C., WRIGHT J. R. & LLOYD C. R., 1980. — Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *Journal of Hydrology*, **48**, 89-105.
- HALLDIN S., GRIP H. & PERTTU K., 1979. — Model for energy exchange of a pine forest canopy. In: HALLDIN S. (Ed.), *Comparison of forest water and energy exchange models*. I.S.E.M., Copenhagen, 59-75.
- HALLDIN S., SAUGIER B. & PONTAILLER J.-Y., 1985. — Evapotranspiration of a deciduous forest: simulation using routine meteorological data. *Journal of Hydrology*, **75**, 323-341.
- LEMEÉ G. & FARDIAH, M., 1980. — Dynamique comparée de l'eau sous hêtre et dans des coupes nues ou à *Calamagrostis epigeios* en forêt de Fontainebleau. *Bulletin d'Ecologie*, **11**, (1), 11-31.
- MONTEITH J. L., 1965. — Evaporation and Environment. In: FOGG G. E. (Ed.), *The State and Movement of Water in Living Organisms*, 19th Symp. Soc. Exp. Biol., The Company of Biologists, Cambridge University Press, 205-234.
- MULDER J. P. M., 1983. — A simulation of rainfall interception in a pine forest. *Ph. D. Thesis*, University of Groningen, 110 p.
- NIZINSKI J. & SAUGIER B., 1988. — *A model of leaf budding and development for a mature Quercus forest* *Journal of Applied Ecology*, **25**, (2), (sous presse).
- PENMAN H. L., 1948. — Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society London A*, **193**, 120-145.
- RAPP M. & ROMANE F., 1968. — Contribution à l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. (I) Egouttement des précipitations sous les peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis* Mill. *Oecol. Plant.*, **3**, 271-284.
- RAPP M. & IBRAHIM M., 1978. — Egouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pinea* L. *Oecol. Plant.*, **13**, (4), 321-330.
- RAUNER J. L., 1976. — Deciduous forests. In: MONTEITH J. L. (éd.), *Vegetation and Atmosphere*, vol. 2, Academic Press, London, 241-264.
- ROSS J., 1975. — Radiative transfer in plant communities. In: MONTEITH J. L. (éd.), *Vegetation and the Atmosphere*, vol. 1, Academic Press, London, 13-52.
- RUTTER A. J., 1963. — Studies in water relation of *Pinus silvestris* in plantation conditions. (I) Measurement of rainfall and interception. *Journal of Ecology*, **51**, 191-203.
- RUTTER A. J., KERSHAW K. A., ROBINS P. C. & MORTON A. J., 1971. — A predictive model of rainfall interception in forest. (I) Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology*, **9**, 367-384.
- RUTTER A. J., MORTON A. J. & ROBINS P. C., 1975. — A predictive model of rainfall interception in forest. (II) Generalisation of the model and comparison with observations in some coniferous and hard-wood stands. *Journal of Applied Ecology*, **12**, 367-380.

- RUTTER A. J. & MORTON A. J., 1977. — A predictive model of rainfall interception in forest. (III) Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. *Journal of Applied Ecology*, **14**, 567-588.
- SCHNOCK G., 1970. — Le bilan d'eau et ses principales composantes dans une chênaie mélangée calcicole de Haute Belgique (Bois de Virelles Blaimont). *Thèse d'Etat*, Université Libre de Bruxelles, 352 p.
- STEWART J. B., 1977. — Evaporation from the wet canopy of a pine forest. *Water Resources Research*, **13**, 915-921.
- THOM A. S., 1972. — Momentum, mass and heat exchange of vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **98**, 124-134.
- WEIHE J., 1984. — Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen (V) Die Verteilung des Regens unter Buchenkronen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, **156**, (5), 81-89.

