

## ACTION DU COUVERT FORESTIER SUR LA DISTRIBUTION AU SOL DES PRÉCIPITATIONS

G. AUSSENAC

avec la collaboration technique de J.-M. DESJEUNES et F. WILLM

*Station de Sylviculture et Production,  
Centre national de Recherches forestières, 54 - Nancy  
Institut national de la Recherche agronomique*

---

### RESUME

La variation des précipitations sous le couvert est étudiée dans trois peuplements résineux et un peuplement feuillu, d'une part en fonction des facteurs climatiques et d'autre part en fonction des caractéristiques des peuplements.

L'analyse de la variation des précipitations au sol permet de bâtir un schéma de leur distribution sous le couvert. Les conséquences de ce phénomène sont examinées.

---

### I. — INTRODUCTION

Les précipitations qui tombent sur un peuplement sont fortement influencées par la nature et la structure du couvert. Non seulement une partie importante en est interceptée mais la redistribution au sol du restant en est très variable. Il s'agit là d'un aspect non négligeable de l'influence de la forêt sur le cycle de l'eau. Cette variation entraîne des différences de profils et de bilans hydriques d'un endroit à un autre, qui ne sont pas sans conséquences pour les arbres et le tapis herbacé et semblent jouer un rôle important dans l'écologie et la sylviculture des peuplements forestiers.

Dans un premier travail (AUSSENAC, 1968) nous avons étudié les différents paramètres : précipitations incidentes, précipitations arrivant directement au sol, écoulement le long des troncs, interception nette du bilan des pluies pour quatre peuplements de l'est de la France. Ici, nous abordons le problème de la variation de l'alimentation en eau des sols forestiers et ses implications possibles pour les peuplements.

## II. — DISPOSITIF EXPERIMENTAL

## 2.1. — Généralités

L'expérimentation a été réalisée à 15 km à l'est de Nancy à l'Arboretum d'Amance (altitude de 250 m, latitude 48°44'N, longitude 06°14'E) où existent des peuplements feuillus et résineux. Les peuplements étudiés (tabl. 1) ont une structure homogène, futaie à un seul étage équiennne, sans strate arbustive.

TABLEAU 1 — TABLE 1

*Caractéristiques des peuplements étudiés*  
*Characteristics of four studied stands*

Essence	Nombre de tiges/ha	Hauteur totale moyenne (m)	Diamètre (cm) moyen à 1,30 m	Age (ans)
<i>Picea abies</i> L. (Karstem) .....	2.160	12,5	12,0	24
<i>Pinus silvestris</i> L. ....	1.520	13,0	17,0	29
<i>Abies grandis</i> (Dougl. Lindt). (Sapin de Vancouver) .....	620	23,0	30,3	33
Peuplement feuillu <i>Fagus sylvatica</i> L. ....	1.300	12,5	8,7	24
<i>Carpinus betulus</i> L.				

## 2.2. — Techniques de mesures

Nous nous limiterons à une description brève du dispositif expérimental et des techniques utilisées et demanderons au lecteur intéressé de bien vouloir se reporter à notre précédente publication.

Les précipitations <sup>(1)</sup> incidentes ( $P_i$ ) arrivant sur les peuplements ont été évaluées à l'aide de deux pluviomètres placés au-dessus des houppiers. En ce qui concerne les précipitations arrivant au sol ( $P_s$ ), l'évaluation a été faite selon deux modalités :

- une série de pluviomètres était installée à poste fixe sur des emplacements tirés au hasard ;
- une autre série était constituée de pluviomètres « mobiles » qui étaient déplacés périodiquement sur des emplacements choisis au hasard.

Les précipitations arrivant au sol sont évaluées en faisant la moyenne des hauteurs d'eau (mm) recueillies dans chaque pluviomètre.

L'eau qui s'écoule le long des troncs (S) peut représenter une fraction non négligeable des précipitations incidentes. Pour l'évaluer, nous avons conçu un système original de colliers en matière plastique formant gouttière et ceinturant entièrement le tronc à une hauteur de 80 cm. Un système spécial permet de le desserrer au fur et à mesure de la croissance de l'arbre de manière à conserver l'appareillage plusieurs années. L'eau ainsi recueillie est collectée dans des récipients placés au pied des troncs. Le choix des arbres échantillons a été fait à partir de leur distribution dans les différentes classes de diamètre. Le volume d'eau arrivant au sol est calculé en faisant le produit du volume recueilli sur les arbres échantillonnés par le rapport du nombre total d'arbres au nombre échantillon. Ce volume est ensuite transformé en hauteur d'eau (mm). L'interception nette  $I_n$  est calculée à partir de  $I_n = P_i - (P_s + S)$ .

(1) Par précipitations, nous entendons les pluies considérées de façon individuelle à l'échelle de la journée.

## III. — RESULTATS

Les données relatives aux différents paramètres  $P_i$ ,  $P_s$ ,  $S$  et  $I_n$  ont été publiées en 1968. Nous rapporterons ici les résultats concernant la variation des précipitations au sol et de l'écoulement le long des troncs dans les peuplements étudiés.

3.1. — *Variations des précipitations atteignant directement le sol*3.11. *En fonction des facteurs du climat dans le courant de l'année.*

La redistribution des précipitations au sol est conditionnée par plusieurs facteurs qui interviennent au niveau des précipitations incidentes comme à celui du peuplement considéré. La connaissance de l'influence de ces facteurs peut permettre une meilleure compréhension des variations des précipitations au sol ( $P_s$ ) observées dans le courant de l'année. Dans ce but nous avons essayé d'expliquer les précipitations sous le couvert ( $P_s$ ) en fonction des variables correspondantes suivantes :

- les précipitations incidentes ( $P_i$ ) journalières ;
- l'intensité des précipitations incidentes ( $i$ ) ;
- la vitesse moyenne du vent pendant les précipitations ( $v$ ) ;
- la température moyenne de la journée considérée ( $T_m$ ) ;
- le pouvoir évaporant de l'air ( $E$ ) mesuré à l'évaporomètre Piche, pour la journée considérée ;
- la variation de biomasse ( $B$ ) évaluée par la chute de litière (feuilles, branches).

En effet, après la feuillaison, les arbres vont présenter toute l'année jusqu'au débourrement suivant, une diminution continue de leur biomasse (feuillage) qui peut se traduire par une variation du pouvoir d'interception de précipitation. Cette diminution correspond à la quantité de litière qui tombe sous le peuplement. Les chutes de litière ont été évaluées semaine par semaine (AUSSENAC, 1969). Pour l'ensemble de l'année, elles correspondent à 6 t/ha (poids sec) pour les Pins sylvestres, 2,5 t/ha pour les Epicéas, 3 t/ha pour les Sapins de Vancouver et à 3,5 t/ha pour le peuplement feuillu.

Les calculs de régression progressive ont permis de mettre en évidence les facteurs qui interviennent de façon significative dans l'explication de la variation des précipitations au sol. En dehors des précipitations incidentes ( $P_i$ ) qui, bien sûr, interviennent en premier lieu, le vent apparaît comme le facteur le plus important. Bien que dans la matrice des coefficients de corrélation, la liaison soit positive, dans l'expression de la régression multiple, il apparaît que plus le vent est fort, moins  $P_s$  est important. Ceci traduirait une liaison non linéaire entre  $P_s$  et vent ou bien le fait que lorsque la force du vent augmente, la trajectoire des gouttes d'eau est modifiée et l'écoulement le long des troncs ( $S$ ) augmente,  $P_s$  diminuant alors. A la suite du vent, l'intensité des précipitations ( $i$ ) joue un rôle non négligeable, plus elle est élevée, plus les précipitations au sol sont importantes. La variation de biomasse n'intervient de façon significative que dans le cas de l'Epicéa et uniquement pendant deux périodes. Pour les feuillus, la biomasse n'apparaît pas dans cette analyse. Il est possible que le caractère rapide de la chute des feuilles (octobre-novembre) explique ce fait.

3.12. *En fonction des essences forestières.*

La variabilité des précipitations sous le couvert dépend de l'essence considérée et du type de peuplement. En effet, la morphologie de la ramification et du feuillage, l'importance de la biomasse, agissent directement sur la redistribution de l'eau au sol. Les tableaux 2 et 3 donnent pour les peuplements étudiés les précipitations au sol ( $P_s$ ) et le coefficient de variation correspondant. Il est facile de constater que le peuplement d'Epicéa présente d'une façon générale le coefficient de variation le plus élevé. Ensuite, arrivent les Sapins de Vancouver, puis les Pins sylvestres et les feuillus. Ceci tient à la structure du couvert comme nous le disions précédemment. La répartition des précipitations au sol ( $P_s$ ) est donc la moins uniforme dans les Epicéas. Ce qui revient à dire que, dans ce peuplement sous le couvert, on peut s'attendre, d'un emplacement à un autre, à une variabilité plus grande des précipitations au sol que dans les autres essences considérées. En ce qui concerne les feuillus, il est remarquable que cette variabilité augmente au moment de la chute des feuilles (voir tableau 2 et 3 - septembre, octobre et novembre).

TABLEAU 2 — TABLE 2

*Estimation des précipitations au sol ( $P_s$ ) et du coefficient de variation ( $V$ ) pour les peuplements résineux pendant la période de mai 1965 à avril 1966*

*Throughfall ( $P_s$ ) and coefficient of variation ( $V$ ) for three coniferous stands*

Mois	Pluie incidente	Pins sylvestres		Epicéas		Sapins de Vancouver	
	Pi mm	$P_s$ mm	V %	$P_s$ mm	V %	$P_s$ mm	V %
Mai 1965 .	77,8	54,3	7,8	44,1	19,9	51,6	19,9
Juin . . . . .	77,0	56,1	9,2	57,7	15,0	53,2	9,3
Juillet . . . . .	50,3	32,2	11,7	29,5	17,9	19,1	18,6
Août . . . . .	27,8	16,2	12,5	11,2	30,9	10,7	16,4
Septembre . .	107,3	74,2	9,0	81,4	12,1	60,9	13,0
Octobre . . .	6,2	2,7	37,2	2,5	44,0	1,2	43,4
Novembre . .	108,6	76,1	5,0	73,4	8,0	62,9	8,4
Décembre . .	145,7	105,1	8,8	97,2	8,4	88,0	8,5
Janvier 1966	78,1	54,6	7,1	49,6	20,3	43,4	7,6
Février . . .	63,3	41,8	7,0	45,9	16,1	32,5	13,0
Mars . . . . .	53,1	23,3	9,8	21,2	15,9	16,5	13,8
Avril . . . . .	87,2	55,9	8,8	47,8	16,6	52,1	22,0
Année . . . . .	882,4	592,7	2,7	561,5	4,4	492,1	4,3

3.13. *Suivant l'importance des précipitations.*

La variabilité des précipitations au sol est fonction de leur importance. L'écart-type augmente avec l'importance des précipitations arrivant au sol, mais si l'on étudie le phénomène en pourcentage : coefficient de variation ( $V$ ), on voit que ce dernier varie de façon hyperbolique et qu'il est maximal pour les faibles précipitations (figures 1 à 5).

TABLEAU 3 — TABLE 3

*Estimation des précipitations au sol (Ps) et du coefficient de variation pour les quatre peuplements étudiés pendant la période de mai 1966 à juin 1967*

*Throughfall (Ps) and coefficient of variation (V) for four stands*

Mois	Pins sylvestres			Epicéas		Sapins Vancouver		Feuillus	
	Pi mm	Ps mm	V %	Ps mm	V %	Ps mm	V %	Ps mm	V %
Mai 1966 .....	56,7	39,4	9,0	32,1	14,5	34,2	10,7		
Juin .....	60,8	44,2	10,2	50,6	6,0	29,9	19,8		
Juillet .....	50,2	32,3	9,6	24,0	24,6	29,0	6,7	17,7	7,2
Août .....	94,6	68,1	7,7	75,0	15,8	62,6	11,2	72,6	8,4
Septembre .....	42,7	29,1	13,4	29,7	15,3	28,0	20,9	30,4	15,1
Octobre .....	77,3	55,2	8,8	45,2	22,6	53,2	14,7	60,0	16,1
Novembre .....	58,0	39,8	11,8	39,0	12,6	25,3	14,6	46,1	6,8
Décembre .....	158,0	118,5	7,6	107,3	10,7	107,4	9,3	118,1	2,6
Janvier 1967 ...	33,7	23,1	7,3	25,7	26,9	18,3	29,1	29,1	7,6
Février .....	41,6	18,9	8,2	15,4	15,5	10,9	13,7	31,9	3,4
Mars .....	45,8	24,0	8,3	20,8	14,4	17,4	10,0	35,1	2,0
Avril .....	31,1	17,7	10,3	15,1	25,1	17,4	22,2	23,8	5,2
Mai .....	75,8							53,2	9,7
Juin .....	41,4							32,4	9,0
Année (résineux)	750,5	510,2	2,9	479,9	5,0	433,6	4,4		
Année (feuillus)	724,2							550,4	2,6

Pour des précipitations au sol du même ordre, l'écart-type est le plus élevé dans le cas de l'Epicéa et le plus faible dans le peuplement feuillu. Pour ces derniers, la variabilité est considérablement plus faible en hiver qu'en été (figures 4 et 5). Dans le cas des résineux, nous n'avons pas trouvé de différences avec les saisons.

Les valeurs élevées du coefficient de variation pour les faibles précipitations peuvent être attribuées au fait que, dans ce cas, l'interception est considérable et que, d'un point à un autre, elle peut varier de 0 à 100 % alors que pour des précipitations importantes, elle diminue (en %).

### 3.14. *Suivant l'importance du couvert et la position par rapport au tronc des arbres.*

Dans une étude précédente, nous avons pu montrer que, d'un point à un autre, les précipitations sous le couvert étaient liées à « l'opacité optique » <sup>(1)</sup> du feuillage (AUSSENAC, 1968) qui rend compte de sa capacité de stockage en eau. Cette dernière est bien sûr une fonction des surfaces foliaires et varie selon les essences.

(2) Par « opacité optique », nous entendons le rapport en % de l'éclairement sous le couvert à l'éclairement incident. La mesure de ces deux paramètres, est effectuée à l'aide d'un dispositif spécial permettant d'avoir un angle de mesure réduit (2° 51'), ce qui permet de calculer « l'opacité optique » correspondant à chaque pluviomètre.

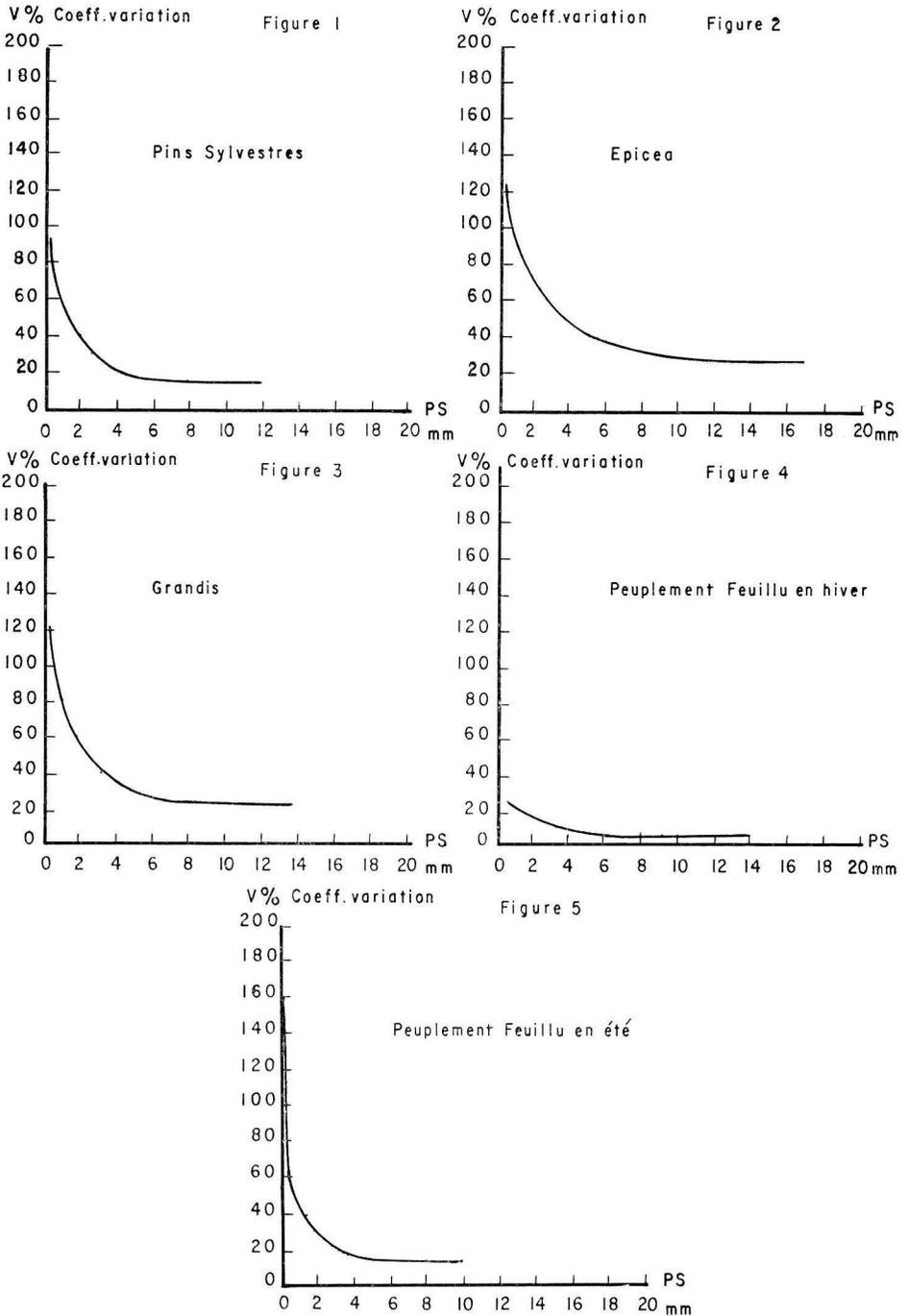


FIG. 1-5. — Distribution du coefficient de variation (V %) des précipitations au sol (Ps) en fonction de leur importance

FIG. 1-5. — The relationship between coefficient of variation and throughfall

Logiquement, à la suite des résultats précédents (chapitre 3.12), on doit s'attendre à ce que la variation de « l'opacité optique » soit plus déterminante pour  $P_s$  dans le peuplement d'Epicéa que dans les autres peuplements. C'est effectivement ce qui ressort des graphiques n° 6 et 7 qui donnent la variation des précipitations au sol en fonction de « l'opacité optique » ( $of$ ) et des précipitations incidentes ( $P_i$ ). Les précipitations au sol sont représentées par une famille de courbes dont la pente diminue des faibles précipitations vers les fortes. Pour une même précipitation incidente ( $P_i$ ), la même variation  $\Delta of$  entraîne une plus grande variation de la pluie au sol ( $P_s$ ), ceci bien sûr est dû à la pente des courbes considérées. Si, à la limite, ces dernières devenaient des droites perpendiculaires à l'axe des abscisses, l'opacité optique n'interviendrait plus. C'est-à-dire, que l'hétérogénéité du couvert forestier ne pourrait pas être mise en évidence et que seul un effet d'interception d'ensemble apparaîtrait. C'est d'ailleurs ce que tendrait à montrer la figure 7 pour les Sapins de Vancouver. En effet, la capacité maximale de rétention en eau est plus élevée pour ce peuplement que pour les Epicéas. Or, il est possible de voir sur la figure que la variation « d'opacité optique » est plus déterminante pour les seconds que pour les premiers. Ceci peut être expliqué en remarquant que les Sapins de Vancouver observés sont plus grands que les Epicéas et qu'il est possible que le vent homogénéise les précipitations sous le couvert. Les couronnes étant situées plus haut, le profil de vent dans les deux peuplements est différent.

Les caractéristiques de forme et de structure des arbres influent beaucoup sur la répartition des précipitations en raison d'une part de la variation d'épaisseur des houppiers et d'autre part, du type d'insertion des branches. Pour analyser ce phénomène, nous avons étudié la relation qui liait la distance au tronc aux précipitations au sol (évaluées en % des précipitations incidentes) en utilisant des régressions linéaires qui se sont avérées significatives au seuil de  $P \leq 0,05$ . L'introduction comme variable explicative de la dimension du tronc (circonférence au carré) ne s'est pas avérée significative et bien sûr, elle n'a pas été retenue. La figure 8 donne ces droites, leur équation et le coefficient de corrélation. Les précipitations au sol augmentent quand on s'éloigne du tronc et quand on s'approche du bord des couronnes. Cette augmentation est due à une diminution de l'épaisseur des houppiers ; en effet, « l'opacité optique » augmente également du tronc vers la périphérie des couronnes (voir figure 9).

### 3.2. — Variations de l'écoulement le long des troncs

#### 3.21. En fonction des précipitations et de la grosseur des troncs.

L'écoulement de l'eau le long des troncs est un paramètre important de la variabilité de l'alimentation en eau des sols forestiers. Nous l'avons étudié en fonction de l'importance des précipitations incidentes ( $P_i$ ) et de la circonférence des troncs. La régression multiple qui a été essayée est de la forme :

$$LN(S) = a_0 + a_1(X)^2 + a_2LN(P_i) + a_3LN(P_i)^2$$

avec : S : écoulement le long des troncs,

X : circonférence du tronc,

$P_i$  : précipitation incidente.

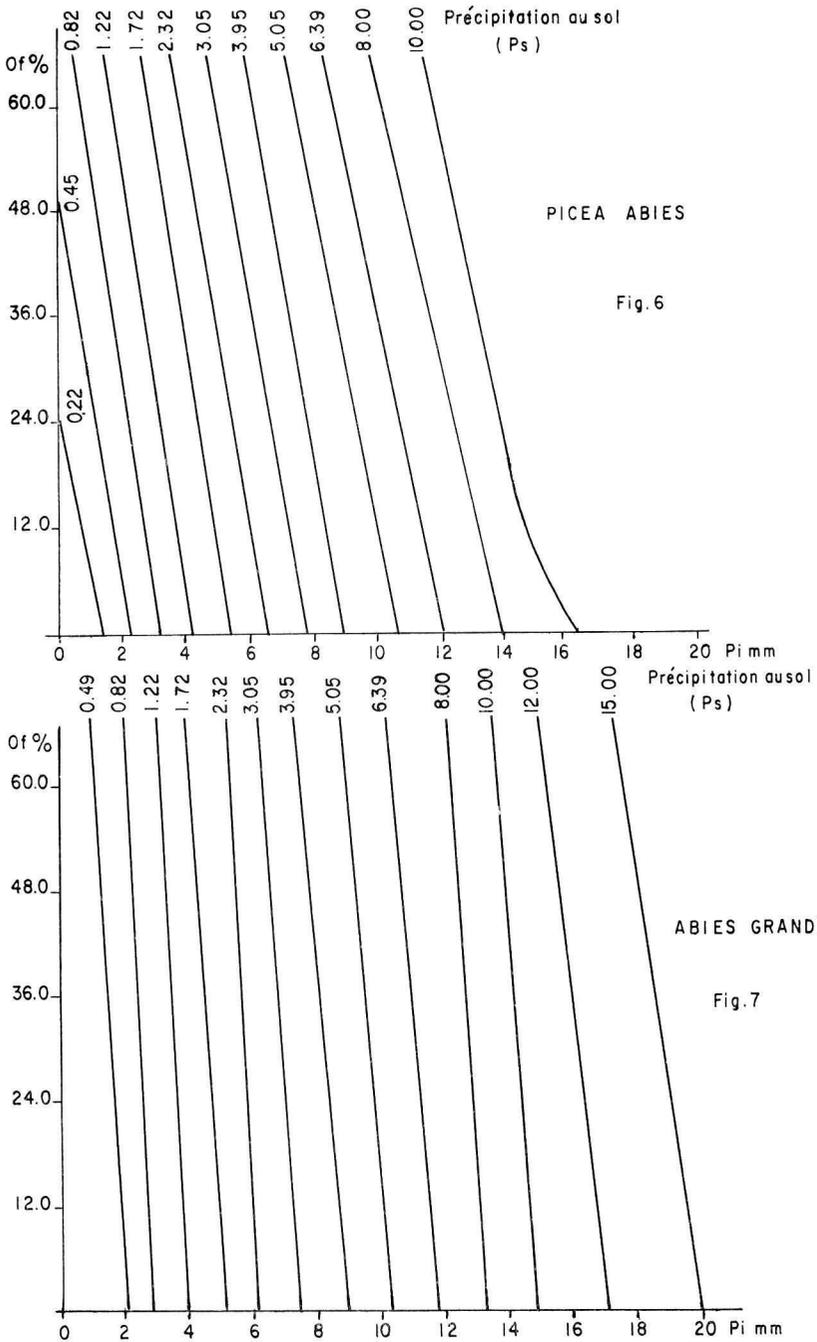


FIG. 6-7. — Graphiques donnant à précipitation au sol constante ( $P_s$ ), l'opacité optique ( $of$ ) et la précipitation incidente ( $P_i$ ) pour *Picea abies* et *Abies grandis*

FIG. 6-7. — From constant throughfall ( $P_s$ ) drawing giving « opic opacity » ( $of$ ) and rainfall ( $P_i$ ) for *Picea abies* and *Abies grandis*

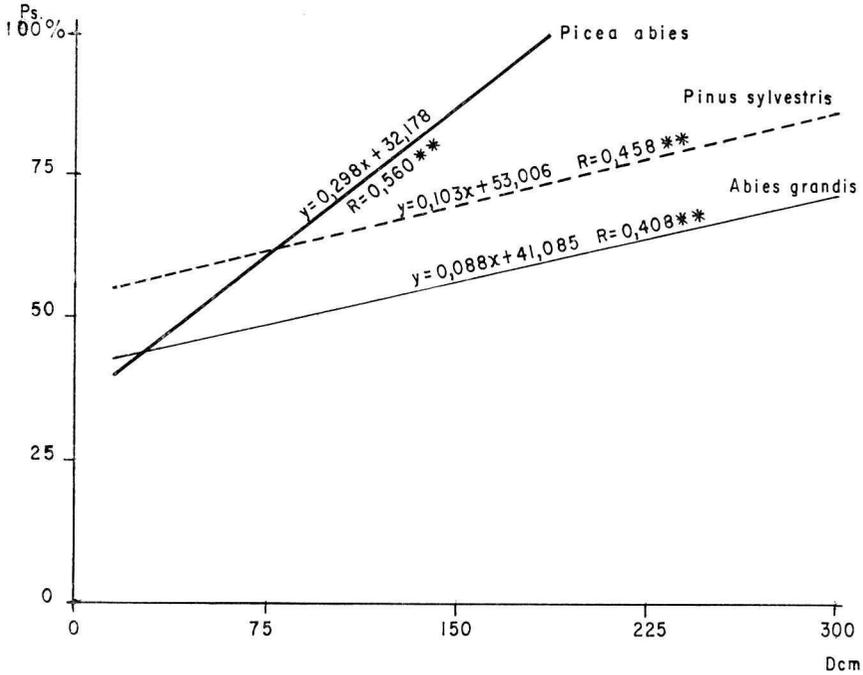


Figure 8

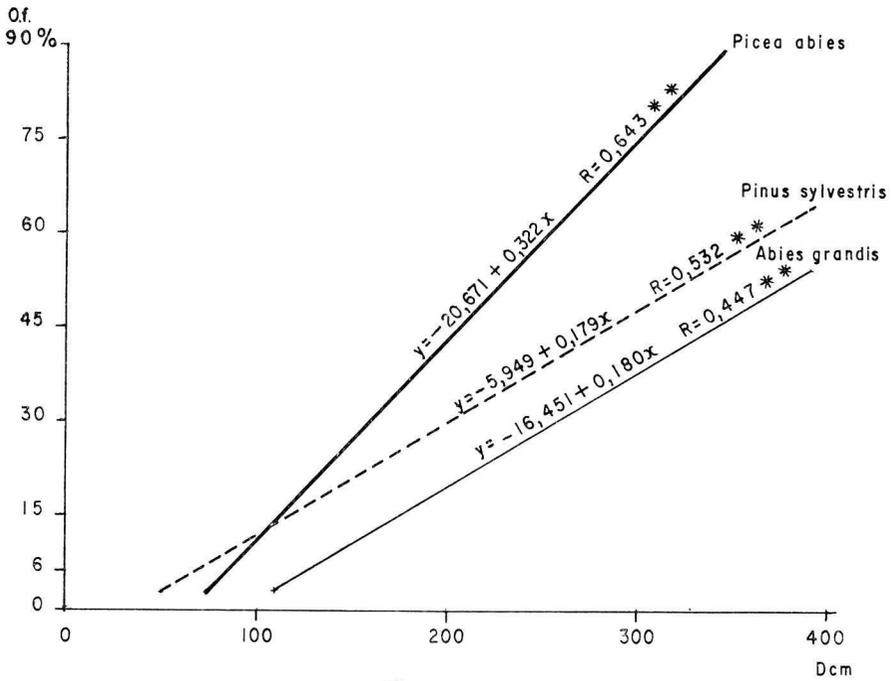


Figure 9

FIG. 8. — Variation des précipitations au sol  $P_s$  (% de  $P_i$ ) en fonction de la distance au tronc le plus proche dans les trois peuplements résineux

FIG. 8. — The relation between the throughfall and the nearest stem distance for the three coniferous stands

FIG. 9. — Variation de l'opacité optique en fonction de la distance au tronc le plus proche

FIG. 9. — « Optic opacity » in relation to the nearest stem distance

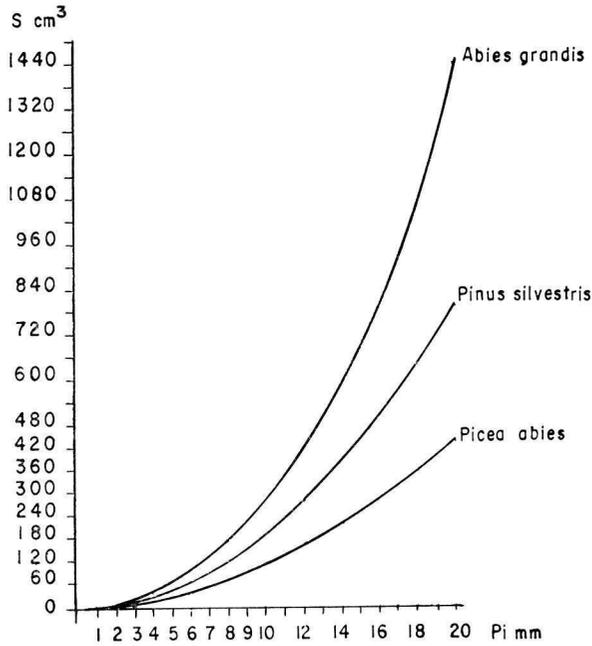


Figure 10

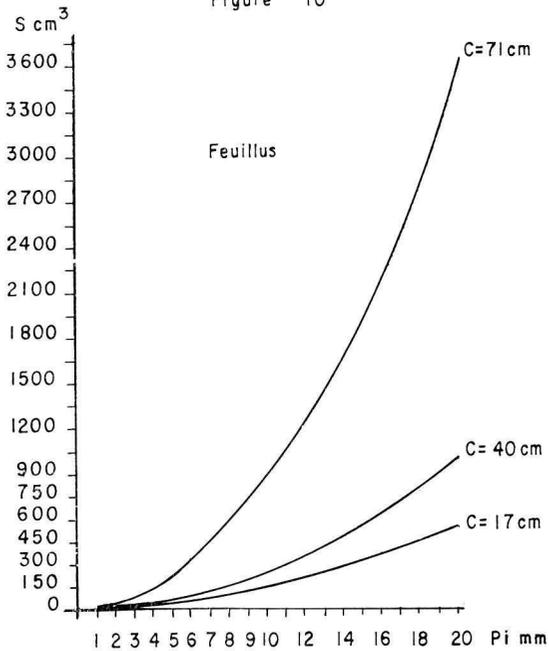


Figure 11

FIG. 10. — Variation de l'écoulement le long des troncs en fonction de l'importance des précipitations incidentes, pour les peuplements résineux

FIG. 10. — The relation between stem flow and rainfall for the three coniferous stands.

FIG. 11. — Variations de l'écoulement le long des troncs en fonction de l'importance des précipitations pour le peuplement feuillu. Circonférences (c) de 17, 40 et 71 cm

FIG. 11. — The relation between stem flow and rainfall for three circumference within deciduous stand

L'introduction de la circonférence est significative pour le peuplement feuillu et les Sapins de Vancouver, mais cela n'est pas le cas pour les Pins sylvestres et les Epicéas. Les figures 10 et 11 donnent la variation de l'écoulement en fonction des précipitations incidentes et de la circonférence du tronc.

### 3.22. Selon l'essence considérée.

La comparaison des écoulements ramenés en hauteur d'eau au sol (en mm) ne permet pas de se rendre compte de leur importance relative pour les différentes espèces puisqu'il s'agit de la hauteur totale d'eau ramenée au sol par l'ensemble des troncs de la parcelle étudiée et que la densité du peuplement intervient.

Si pour chaque peuplement, on étudie la quantité d'eau qui s'est écoulée par an pour l'arbre moyen, on constate que les feuillus et les Sapins de Vancouver arrivent en tête. En ce qui concerne l'écoulement total, les quantités d'eau (tableau 4) sont considérables chez les feuillus où il atteint 509 939 litres/ha/an. Le peuplement d'Epicéa présentant un nombre élevé d'arbres à l'ha, arrive finalement en second devant les Pins sylvestres et les Sapins de Vancouver.

TABLEAU 4 — TABLE 4

*Estimation annuelle en litres de l'écoulement le long des troncs par arbre moyen et par ha pour les quatre peuplements étudiés*  
*Annual stem flow (liter/tree)*

Période	Pins sylvestres		Epicéas		Sapins de Vancouver		Feuillus	
	arbre (l)	ha (l)	arbre (l)	ha (l)	arbre (l)	ha (l)	arbre (l)	ha (l)
Mai 1965- avril 1966	100,0	149 994	78,3	169 000	164,0	95 008		
Mai 1966- avril 1967	76,0	113 995	62,0	134 000	132,0	71 006		
Juillet 1966 - juin 1967	—	—	—	—	—	—	161,9	509 939

## IV. — DISCUSSION ET CONCLUSION

Les phénomènes d'interception et de redistribution de l'eau au sol sont conditionnés par plusieurs facteurs :

- l'importance des précipitations incidentes et les facteurs climatiques concomitants ;
- la morphologie et la structure du peuplement considéré.

L'analyse multivariable que nous avons effectuée en faisant intervenir plusieurs facteurs climatiques montre que, en dehors des précipitations incidentes, c'est le vent et l'intensité de ces précipitations qui interviennent de façon significative pour expliquer les variations des précipitations arrivant directement au sol que l'on observe dans le

courant de l'année. La variation de biomasse des houppiers ne semble pas jouer chez les résineux le rôle déterminant que l'on pouvait imaginer *a priori*. Ceci est peut-être dû au fait que, finalement, cette variation de biomasse peut être estimée au 1/5<sup>e</sup> de la biomasse totale du feuillage. Or, la capacité de stockage maximale en eau est de l'ordre de 3 mm (hauteur d'eau « pluviale ») ce qui, compte tenu du fait que la persistance des aiguilles sur un rameau est de l'ordre de cinq ans, donnerait une variation de l'ordre de 0,6 mm. En ce qui concerne les feuillus, la biomasse feuillée varie brusquement, pendant cette période de transition le nombre des précipitations était faible et on comprend que notre étude de régression n'ait pas pu mettre en évidence le rôle du feuillage au niveau des précipitations considérées individuellement. Par contre, si on compare globalement période estivale et hivernale, la différence est de l'ordre de 5 %.

Dans les peuplements, la variation des précipitations arrivant directement au sol ( $P_s$ ) est considérable et des différences s'observent entre les essences et les types de peuplement. A la suite des résultats obtenus ici et de ceux rapportés par OVINGTON (1954) et par REYNOLDS et HENDERSON (1967), il est possible de dire que les feuillus présentent une répartition plus homogène des précipitations au sol ( $P_s$ ) que les résineux et que parmi ces derniers, c'est chez les essences dites « d'ombre » (Sapin, Epicéa) que l'on trouvera la variabilité la plus élevée.

La variabilité des précipitations au sol ( $P_s$ ) diminue avec leur importance. Il en est de même pour les précipitations incidentes (PONCELET, 1959), mais les valeurs sont beaucoup plus faibles. Des calculs que nous avons effectués, il ressort que le coefficient de variation serait relativement stable à partir de précipitations au sol ( $P_s$ ) de l'ordre de 8 mm chez les Epicéas et les Sapins de Vancouver et de 4 mm chez les Pins sylvestres et les feuillus.

La variation des précipitations au sol, toutes choses égales par ailleurs, est conditionnée par la structure du peuplement et l'importance du feuillage qui détermine la capacité de stockage en eau. L'analyse montre que « l'opacité optique » varie avec la distance au tronc de même que les précipitations au sol ( $P_s$ ), or  $P_s$  et « opacité optique » sont liées étroitement ce qui montre que la variation de  $P_s$  est bien le fait d'une variation de la capacité d'interception du feuillage, plutôt que d'un effet de toit. Certains auteurs concluent que les précipitations au sol ( $P_s$ ) ne varient pas en fonction de la distance au tronc. Il est possible que leur échantillonnage n'ait pas été suffisant d'autant plus que la relation que nous avons pu mettre en évidence est plus ou moins étroite selon l'importance des précipitations incidentes. KITTREDGE (1948) avait fait des observations identiques. En Angleterre, REYNOLDS et HENDERSON (1967) pensent que le minimum des précipitations, arrivant directement au sol, ne se situerait pas près du tronc mais à une certaine distance de celui-ci. De notre côté, bien que nous ne l'ayons pas quantifié, puisque nous avons utilisé un ajustement linéaire, nous pensons que dans certains cas ces observations rendent bien compte du phénomène car nous avons remarqué en particulier chez le Hêtre à une distance qui se situe à 20 cm environ du tronc, des égouttements importants. Chez les essences à branches insérées horizontalement (Sapin, Epicéa) ces phénomènes sont inexistantes ou beaucoup moins importants que chez le Hêtre.

L'écoulement le long des troncs a été considéré comme négligeable par certains auteurs. Il varie évidemment selon que l'essence a des branches dressées ou inclinées

vers le bas et une écorce lisse ou rugueuse. En fait, il s'agit d'une caractéristique de l'espèce. Il faut remarquer d'ailleurs que, en ce qui concerne les essences à écorce épaisse et rugueuse (Chêne, par exemple), l'écoulement mesuré est faible mais sans aucun doute une certaine quantité d'eau est retenue au niveau de cette écorce et son rôle doit être non négligeable pour la biologie de l'arbre. Dans le cas des essences à écoulement élevé, les quantités d'eau ramenées au pied de l'arbre, sont très importantes et si au lieu de les rapporter à l'ensemble de la placette d'expérimentation, on ne considère autour de chaque tronc, qu'une surface restreinte constituée par une couronne circulaire de 30 cm de large par exemple, on constate que l'environnement immédiat des troncs reçoit des quantités considérables d'eau. Ainsi, dans le peuplement de Pins sylvestres en plus de l'eau arrivant directement au sol, la zone proche des troncs a reçu en moyenne 225 mm d'eau pour l'année 1965-1966, chez les épicéas 192, chez les sapins de Vancouver 284 mm et chez les feuillus 453 mm. L'ensemble des deux composantes  $P_s + S$  peut alors donner localement des valeurs supérieures aux précipitations incidentes.

L'écoulement varie selon l'essence et l'importance des précipitations mais aussi selon la grosseur des troncs. Plusieurs auteurs n'ont pas observé cette dernière relation mais notre expérience personnelle et l'examen des caractéristiques des peuplements étudiés nous conduit à penser que cela peut être attribué au fait qu'il s'agissait de peuplements jeunes présentant une distribution réduite des classes de diamètre et que souvent l'échantillonnage n'était pas suffisant. Finalement, on se rend compte qu'il existe une « loi de distribution » des précipitations sous le couvert ( $P_s + S$ ) et qu'il est alors possible de tracer son schéma théorique (figure 12). Autour du tronc, se

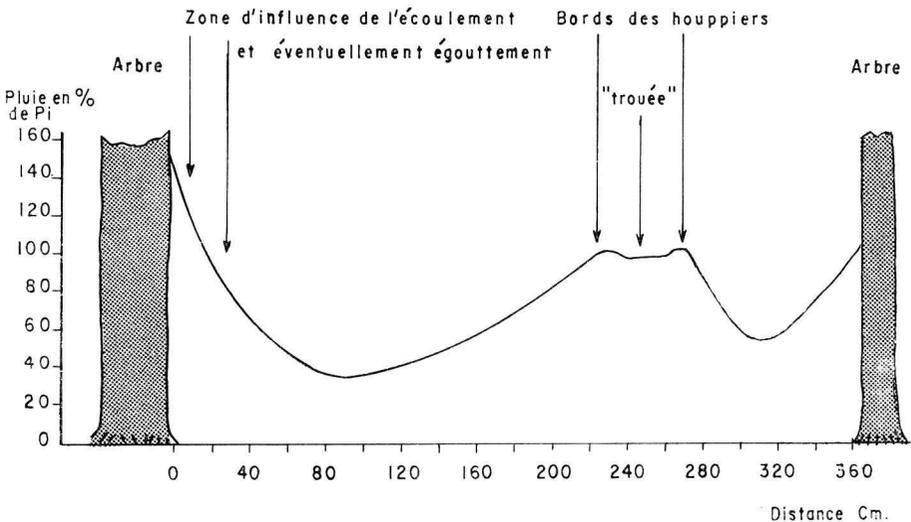


FIG. 12. — Schéma de la distribution des précipitations annuelles au sol ( $P_s + S$ ) entre deux arbres

FIG. 12. — Annual disposition of throughfall and stem flow between trees

trouve une zone très bien alimentée en eau grâce aux effets cumulés de l'écoulement, des précipitations arrivant directement ( $P_s$ ) et éventuellement, pour certaines espèces (hêtre), d'un égouttement. Ensuite, il y a diminution de la hauteur d'eau jusqu'à une distance qui dépend de l'essence en cause et de la densité du peuplement, puis augmentation jusqu'à atteindre les valeurs des précipitations incidentes dans les « trouées » séparant les arbres. Chez certaines espèces, au niveau de la projection au sol de la bordure des couronnes, la hauteur d'eau peut être supérieure aux précipitations incidentes grâce à des phénomènes de « gouttière ». Le minimum d'eau au sol ( $P_s + S$ ) varie évidemment selon qu'il s'agit d'une essence présentant un écoulement le long des troncs et un égouttement fort ou faible. Dans le premier cas il se situera à partir du tronc vers le premier tiers de la projection au sol des houppiers, dans le deuxième cas il sera proche du fût.

Cette redistribution de l'eau sous le couvert est donc une caractéristique de l'essence et du type de peuplement. Il faut remarquer que d'un point de vue hydrologique, l'écoulement le long des troncs favorise la pénétration de l'eau dans le sol, le long des racines, d'autant plus qu'à ce niveau la litière n'intervient pas et que, comme l'a montré ZINKE (1961), la porosité du sol diminue quand on s'éloigne des troncs.

Peu d'études ont été entreprises sur la distribution de l'humidité dans les sols forestiers. BRETCHEL (1962) a montré dans un peuplement de Pins sylvestres que dans les 20 premiers centimètres du sol, l'humidité variait comme la distribution des précipitations au sol. Ce qui était d'ailleurs suggéré par l'importance des différences qui existent d'un point à un autre dans le bilan des précipitations sous le couvert.

A partir de ces résultats et du schéma de distribution des précipitations dans un peuplement, il est intéressant de se demander quelles peuvent être les conséquences de ces phénomènes d'interception pour les végétaux forestiers. Dans notre précédent article, nous suggérons que l'alimentation en eau des sols forestiers pouvait avoir une importance non négligeable pour la biologie du tapis herbacé et plus précisément en matière de sylviculture pour les semis installés sous le couvert. Tout récemment, ANDERSON, LOUCKS et SWAIN (1969) ont montré que les variations de l'importance de la strate herbacée ( $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ) étaient mieux expliquées par les variations des précipitations au sol que par l'éclaircissement. Ceci montre combien l'écologie des espèces et des essences est mal connue et que souvent des espèces qualifiées d'héliophiles sont peut-être des « héliohygrophiles ».

En ce qui concerne les arbres qui constituent les peuplements, on doit se demander quelles peuvent être les conséquences de cette redistribution des précipitations. Des études, peu nombreuses à ce jour (STOUT, 1956), sur le système racinaire et sa répartition spatiale, montrent qu'il y a des zones préférentielles de développement des racines : à savoir d'une part, la zone correspondant à la projection de la bordure des couronnes et, d'autre part, la périphérie des troncs. Il s'agit de régions bien alimentées en eau comme nous l'avons montré précédemment. Il est aussi également fréquent que certains arbres envoient leurs racines se développer autour des troncs voisins. ESCHNER (1967) a fait des observations semblables. Alors, il est possible que cette distribution de l'eau au sol soit une des composantes du phénomène de « concurrences » entre individus d'une même espèce et entre individus d'essences différentes.

Les individus les mieux développés — diamètre du fût plus grand <sup>(1)</sup> — présentent un écoulement plus grand et une interception plus élevée que les arbres de moins belle venue. Deux arbres voisins de catégorie différente présenteront une alimentation en eau qui ne sera pas identique. Ce phénomène pourrait entraîner un dynamisme particulier des arbres dominants qui, progressivement, augmenteraient leur pouvoir de concurrence. Il ne s'agit là que d'une hypothèse mais il serait sans doute intéressant d'en tenir compte dans la mise au point des modèles mathématiques destinés à rendre compte des phénomènes de concurrence dans les peuplements forestiers.

*Reçu pour publication en novembre 1970.*

### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier ici les membres de la Station de Biométrie et plus particulièrement M. C. MILLIER, chargé de Recherches, qui a effectué l'analyse statistique.

### SUMMARY

#### THE EFFECT OF FOREST FOLIAGE ON THE GROUND DISTRIBUTION OF RAINFALL

The following forest rainfall variations have been studied within three resinous stands of trees (Scots Pine, Spruce, Grand Fir) and one deciduous stand (beech, yoke-elm), firstly according to a yearly cycle in relation to climatic factors, and, secondly, according to rainfall levels in relation to the characteristics of the stands under consideration.

The influence of climatic factors within the yearly cycle has been analyzed statistically using a multiple regression survey. Besides the importance of incidental rainfall, the wind and the intensity of the rainfall appear to be the determining factors in the explanation of the yearly rainfall variations a groundlevel.

The variability of throughfall (variation coefficient) is highest in the spruce stand and lowest in the deciduous stand. In the latter, it is lower in winter than in summer and is highest when the leaves fall (september, october). In the resinous stand there is no difference between winter and summer.

In the forest the rainfall varies according to the position in relation to the stem of the nearest tree. A statistical analysis using a linear regression has permitted an explanation of throughfall (%) in relation to the distance of the nearest tree. The dimensions had no effect and has, of course, not been included.

The stem flow increases with the amount of rainfall. In the deciduous stand and among the grand Fir, the stem flow also increases with the size of the stem.

Following this analysis, a schema has been drawn up, showing the rainfall distribution within the forest. Finally, besides the hydrological aspect of the problem, the importance of this redistribution for the trees (competition) and for the herbaceous stratum has been examined.

---

(1) On sait qu'il existe une relation étroite dans un peuplement entre l'importance du houppier et la grosseur du tronc.

## ZUSAMMENFASSUNG

DER EINFLUSS VON HOLZART UND BESTOCKUNG AUF DIE  
NIEDERSCHLAGSVERTEILUNG IM BESTAND

Die Variation der Niederschläge wurde in drei Nadelholzbeständen (Weisskiefer, Fichte und Küstentanne) und in einem Laubholzmischbestand (Buche und Hainbuche) eingehend untersucht. Es wurden hierbei sowohl der Einfluss der Klimafaktoren auf den Jahresablauf der Niederschlagsverteilung untersucht, als auch die Variation von Einzelniederschlägen in Abhängigkeit von Bestandesmerkmalen (Struktur).

Der Jahresablauf der Niederschlagsverteilung im Bestand und die Beeinflussung durch verschiedene Klimafaktoren wurde regressionsanalytisch (Mehrfachregressionsanalyse) untersucht. Dabei zeigte sich, dass ausser der Freilandregenmenge auch der Wind und die Intensität der Niederschläge einen gesicherten Einfluss auf die Variation der Niederschlagsverteilung im Bestandesinneren ausüben.

Die Streuung (Variationskoeffizient) der durchfallenden Niederschläge ist im Fichtenbestand am grössten und im Laubholzmischbestand am geringsten. In letzterem ist auch die Streuung im Winter geringer als im Sommer, mit einem Maximum zum Zeitpunkt des Laubfalles (September, Oktober). In den Nadelholzbeständen zeigten sich keine Unterschiede zwischen Sommer und Winter.

Die Verteilung der Niederschläge im Bestand ist von der Bestandesstruktur bestimmt. Unter anderem konnte gezeigt werden, dass zwischen der in Prozenten der Gesamtstichprobe ausgedrückten Niederschlagsmenge eines Messpunktes und dem Abstand des ihm an nächsten stehenden Baumes eine lineare Beziehung besteht. Die Miteinbeziehung der Baumdimensionen in die Mehrfachregressionsgleichung erbrachte keinen zusätzlichen Informationsgewinn und wurde daher unterlassen.

Der Stammabfluss nimmt mit steigenden einfallenden Niederschlagsmengen zu. Im Laubholzmischbestand und bei der Küstentanne erhöhte sich der Stammabfluss auch mit zunehmenden Baumdimensionen, während im Fichten — und Weisskieferbestand infolge der geringen Durchmesserstreuung dies nicht festgestellt werden konnte.

Aufbauend auf die vorliegenden Ergebnisse wird ein Schema der Niederschlagsverteilung im Bestand aufgestellt. Desweiteren wird unter Ausserachtlassung des rein hydrologischen Aspektes, die Bedeutung der Verteilung des Stammabflusswassers für die Bäume (Konkurrenz) und die Bodenflora untersucht.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON R. C., LOUCKS O. L., SWAIN A. M., 1969. Herbaceous response to canopy cover, light intensity and throughfall precipitation in coniferous forests. *Ecology*, V, **50**, (2), 255-263.
- AUSSENAC G., 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sci. forest.*, **25** (3), 135-156.
- AUSSENAC G., 1969. Production de litière dans divers peuplements forestiers de l'Est de la France. *Oecologia plantarum IV*, 225-236.
- BRETCHEL H. M. Methodische Beiträge zur Erfassung der Wechselwirkung zwischen Wald und Wasser. *Forst. Archiv.*, **35**, (11), 229-241.
- ESCHNER A. E., 1967. Interception and soil moisture distribution. *Internation. Symp. forest. Hydrol.*, 195-199. Pergamon Press., New York.
- FRECHETTE M. F., 1969. Interception de la pluie par une sapinière laurentienne. *Naturaliste Canad.*, **96**, 523-529.
- HETH D., KARSCHON R., 1963. Interception of rainfall by *Eucalyptus camaldulensis* Dehu. *Contribution on Eucalyptus in Israël*, II, 7-12.
- HOOVER M., DAVID F. O., GREENE G. E., 1953. Soil moisture under a young loblolly pine plantation. *Soil. Sci. Soc. Proc.*, **17**, 147-150.
- KALMA J. D., STANHILL G., URIELLI E., 1968. Rainfall interception and stemflow in an orange plantation. *Israël Journal of agricultural Research*, **18**, (1), 1-13.

- KITTREDGE J., LOUGHEAD H. J., MAZURAK A., 1961. Interception and Stemflow in a Pine plantation. *J. Forest.*, **49**, 505-522.
- KRECMER V., 1968. Zur Interzeption der Niederschläge im Fichtenbestand einer Mittelgebirgsläge. *Opera Conortica*, **5**, 83-96.
- LEONARD R. E., 1961. Net precipitation in a Northern Hardwood Forest. *J. Geophy. Research*, **66**, (8), 2417-2421.
- MITSCHERLICH G., MOLL W., 1970. Recherches sur les précipitations et l'humidité du sol dans quelques peuplements résineux et feuillus des environs de Fribourg-en-Brigau. 1<sup>re</sup> partie : précipitation. *Allgemeine Forst. und Jagdzeitung*, **3**, 49-60.
- OVINGTON J. D., 1954. A comparison of Rainfall in Different Woodlands. *Forestry*, **27**, 41-53.
- REYNOLDS E. R. C., HENDERSON C. S., 1967. Rainfall interception by Beech, Larch and Norway Spruce. *Forestry*, **40**, (2), 165-184.
- RUTER A. J., 1964. Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. The annual cycle of soil moisture change and derived estimates of evaporation. *J. appl. Ecol.*, **1**, 29-44.
- SCHNOCK G., 1967. Recherches sur l'Ecosystème forêt. Série B : la chênaie mélangée calcicole de Virelles Blaimont. Contribution n° 17 : réception des précipitations et écoulement le long des troncs en 1966. *Bull. Int. Sci. Nat. Belg.*, 43-37.
- SCHNOCK G., GALOUX A., 1967. Recherches sur l'Ecosystème forêt. Série B : la chênaie mélangée calcicole de Virelles Blaimont. Contribution n° 8 : réception des précipitations et égouttement. *Bull. Inst. Sci. Nat. Belg.*, **43**, (33).
- STOUT B. B., 1956. Studies on the root systems of deciduous trees. *Black Rock Forest. Bul.*, 15-45.
- STOUT B. B., MC MAHON R. J., 1961. Throughfall Variation under Tree Crown. *J. Geophy. Research*, **66**, (6), 1839-1843.
- VOIGT G. K., 1960. Distribution of Rainfall under Forest Stand. *Forest Science*, **6**, (1), 1-10.
-