

## RECHERCHES SUR L'ECOSYSTEME FORET

SERIE B : LA CHENAIE MELANGEE CALCICOLE DE VIRELLES-BLAIMONT

Contribution n° 8

### Réception des précipitations et égouttement (1)

PAR

Georges SCHNOCK et André GALOUX (Genval)

(Avec deux dépliant)

#### SOMMAIRE.

I. — NATURE ET COMPORTEMENT DE L'EAU ATMOSPHERIQUE AU NIVEAU DES BIOMASSES ... ..	2
A. — Réception et voies de pénétration en forêt .....	2
a. — Eau de pénétration directe .....	2
b. — Eau d'égouttement .....	3
c. — Eau d'écoulement .....	3
d. — Eau d'interception - évaporation .....	3
B. — Bilan des apports hydriques .....	3
C. — Propriétés générales des eaux d'égouttement et d'écoulement ... ..	4
a. — Propriétés physiques .....	5
— Spectre dimensionnel des gouttelettes .....	5
— Distribution spatiale .....	5
— Température .....	5
b. — Propriétés chimiques .....	5
— Poussières atmosphériques .....	5
— Matériaux d'origine endogène .....	6
D. — Interception - Evaporation .....	6
a. — Facteurs influençant l'interception .....	7
1. — Phénomènes météorologiques - Climat régional ... ..	7
2. — Milieu stationnel .....	7

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

3. — Système forestier de réception ... ..	8
b. — Valeurs comparées du taux d'égouttement en régions tempérées	8
II. — PRECIPITATIONS ET EGOUTTEMENT DANS UNE CHENAIE MELANGÉE ... ..	8
A. — Milieu et peuplement ... ..	8
B. — Instrumentation et méthodologie ... ..	10
a. — Instrumentation pour la mesure des précipitations ... ..	10
b. — Instrumentation pour la mesure de l'égouttement ... ..	11
c. — Relevés et mesures ... ..	12
d. — Interprétation des mesures de précipitations ... ..	12
C. — Observations pour les années 1964 et 1965 ... ..	13
a. — Eau de précipitations ... ..	13
1. — Cotes pluviométriques ... ..	13
2. — Nombre de jours de précipitations et lames d'eau correspondantes ... ..	16
3. — Nombre et importance des précipitations par classes ...	16
b. — Eau d'égouttement ... ..	17
1. — Facteurs influençant le taux d'égouttement ... ..	17
1° Montant des précipitations - Années sèche et humide	17
2° Phénophases ... ..	17
3° Essences constitutives du peuplement ... ..	18
4° Hauteur de la lame d'eau par averse ... ..	19
5° Dépôt de brouillard, de brouillard givrant et de neige	21
6° Nombre d'averses et hauteur de la lame d'eau correspondante ... ..	22
2. — Variabilité des mesures ... ..	23
3. — Précision des résultats et validité de la méthode ... ..	24
c. — Eau d'écoulement ... ..	26
d. — Eau d'interception - Evaporation ... ..	26
RESUME ET CONCLUSIONS ... ..	27
BIBLIOGRAPHIE ... ..	28

## I. — NATURE ET COMPORTEMENT DE L'EAU ATMOSPHERIQUE AU NIVEAU DES BIOMASSES.

### A. — RECEPTION ET VOIES DE PENETRATION EN FORET

En forêt, les eaux de précipitations, de brouillard (brumes) et de rosée, atteignent l'étagé édaphique de l'habitat par des voies diverses et sous des formes variables. On peut les caractériser de la manière suivante.

#### a. — Eau de pénétration directe.

Ce sont les fractions de l'apport hydrique qui parviennent à mouiller directement le sol sans avoir été arrêtées dans leur chute par un obstacle quelconque. Dans les forêts caducifoliées, elles sont particulièrement importantes durant la phase de défeuillaison.

Les dépôts directs de brouillard et de rosée sur la surface du sol sont probablement négligeables dans la grande majorité des cas. Ils n'acquiescent une réelle importance qu'au niveau des couverts.

#### b. — Eau d'égouttement.

La plus importante fraction des apports hydriques est reçue par les feuillages, les ramures et les tiges des strates arborescente, arbustive et herbacée avant d'atteindre l'étage édaphique. Elle touche en premier lieu, les horizons supérieurs de la synusie chlorophyllienne, les humecte, y séjourne et y subit des modifications physiques et chimiques. Cette eau s'égoutte sur des niveaux successifs en acquérant des propriétés nouvelles.

Le processus d'égouttement ne débute qu'un certain temps après le commencement de la précipitation ou du dépôt de brouillard. Il faut d'abord que le mouillage du couvert ait atteint une certaine valeur quantitative. Le pouvoir mouillant des surfaces et leur état de siccité influencent la valeur de mouillage des biomasses.

#### c. — Eau d'écoulement.

Une troisième portion de l'eau de précipitations ou de brouillard après avoir été captée par les feuillages, les rameaux et les troncs, au lieu de s'égoutter, ruisselle le long de ces organes jusqu'au pied des arbres et des arbustes (*stem-flow* dans le vocabulaire anglais). Cette eau irrigue le sol dans le voisinage immédiat des souches. La valeur de mouillage des surfaces corticales est souvent élevée et ceci, d'autant plus que l'épiphytisme, la rugosité et la porosité des écorces sont développés.

#### d. — Eau d'interception — Evaporation.

La différence entre les apports hydriques totaux reçus dans l'étage du rayonnement et ceux qui atteignent la surface de l'étage édaphique proprement dit, constitue l'eau d'interception. Celle-ci séjourne un temps plus ou moins long au contact des biomasses, puis retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur à l'exception d'une petite fraction qui pourrait être absorbée au niveau des organes végétaux aériens.

Selon RINGOET, A. (1952), ce fait est généralement admis et s'il est considéré comme normal chez les plantes aquatiques, il est cependant exceptionnel et d'une efficacité faible chez les végétaux terrestres. Il a montré toutefois que l'absorption de l'eau météorique de la rosée par les feuilles existe et peut constituer une source minime, mais non négligeable à priori, d'alimentation hydrique des végétaux tropicaux.

### B. — BILAN DES APPORTS HYDRIQUES EN FORET.

Lorsque la forêt ne reçoit aucune autre alimentation hydrique que celle provenant de l'eau atmosphérique, le bilan peut s'inscrire de la manière suivante :

$$P + B = (Pd + Ep + Eb) + Ec + I$$

- ou P = Précipitations au-dessus de la forêt.  
 B = Dépôts de brouillard.  
 Pd = Pénétration directe.  
 Ep = Egouttement issu des précipitations.  
 Eb = Egouttement issu des dépôts de brouillard.  
 Ec = Ecoulement le long des troncs (stem-flow).  
 I = Interception.

Dans la pratique courante, la somme ( $Pd + Ep + Eb$ ) qui représente la totalité de l'eau recueillie par les pluviomètres sous forêt, ne fait généralement l'objet que d'une mesure unique par date de relevé. Il est difficile, pour des raisons techniques, de mesurer séparément et avec précision chacun des termes « Pd » et « Ep », même si l'on dispose de pluviomètres installés à la faveur de petites ouvertures entre les couronnes. Quant à la composante « Eb », elle est rarement considérée individuellement bien que sa mesure n'offre aucune difficulté apparente.

Le taux d'interception, représenté dans l'équation par le symbole « I », peut s'exprimer sous la forme  $I = IA + Ia + Ih$  où IA, Ia et Ih correspondent respectivement à la quantité de précipitation interceptée par les strates arborescente, arbustive et herbacée. Dans la plupart des cas, le calcul de ce taux se fait à partir des mesures effectuées sous l'ensemble des deux strates ligneuses. Cette méthode est valable pour tous les peuplements forestiers dépourvus ou presque, de strate herbacée, mais donne des valeurs trop faibles pour les communautés forestières qui abritent un tapis herbacé. L'erreur commise est d'autant plus importante que ce dernier est dense, élevé et persistant.

#### C. — PROPRIETES GENERALES DES EAUX D'EGOUTTEMENT ET D'ECOULEMENT

En forêt, les surfaces de réception sont de nature diverse : larges feuilles, aiguilles de conifères, écorces, épiphytes. En réalité, elles représentent toujours un développement considérable. Des estimations de surface chlorophyllienne dans différents peuplements ont été faites par BURGER, H. (1929 - 1935 - 1937 - 1940 - 1941 et 1947); par ha de terrain, il a trouvé 16 ha pour le hêtre de 80 ans, 8 ha pour le chêne de 65 ans, 14 à 17 ha pour le pin Weymouth, 18 à 27 ha pour le douglas, 17 ha pour le sapin de 56 ans, 6,6 à 7,3 ha pour le pin sylvestre.

Toutes ces surfaces sont réparties dans l'étage du rayonnement sous forme d'éléments disposés en chicane et orientés plus ou moins perpendiculairement à la direction des précipitations. Elles agissent comme des organes susceptibles de modifier les propriétés physiques et chimiques de l'eau météorique.

## a. — Propriétés physiques.

## — Spectre dimensionnel des gouttelettes.

Dans l'ensemble, les eaux d'égouttement ont une distribution spatiale plus régulière à l'état liquide qu'à l'état solide (notamment la neige). Par rapport aux eaux de précipitations, le spectre dimensionnel et pondéral des gouttelettes qui arrivent au sol est profondément modifié. Leur dimension moyenne est plus élevée que celle des pluies fines et des bruines; par contre, les grosses gouttes qui accompagnent les averses orageuses se divisent en percutant les surfaces de réception. La nature du filtre foliaire a son importance. OVINGTON, J. D. (1954) a montré que les gouttelettes tombant à partir du chêne sont plus volumineuses que celles qui proviennent des conifères.

## — Distribution spatiale.

La structure du couvert et en particulier des rameaux influence la distribution spatiale de l'eau d'égouttement et la proportion d'eau d'écoulement le long des troncs.

La neige humide d'abord retenue par les ramures tombe ensuite sur le sol par paquets irréguliers. La neige fine et poudreuse se colle aux troncs et aux branches. A la fusion, l'eau irrigue les pieds des arbres. Le brouillard givrant, le verglas, le givre se fixent sur les rameaux, les aiguilles de résineux et les troncs; au dégel, des paquets de glace tombent irrégulièrement sur le sol et d'importantes quantités d'eau liquide s'écoulent le long des fûts. La distribution spatiale de l'eau d'égouttement et d'écoulement peut donc devenir très irrégulière, ce qui explique la grande variabilité des résultats de mesure.

## — Température.

Lorsque les eaux de précipitations ou de dépôts entrent en contact avec les surfaces de réception, il se produit entre les éléments en présence des échanges thermiques importants par conduction. Il faut donc s'attendre à ce que les eaux d'égouttement et d'écoulement aient des températures différentes de celles des précipitations.

## b. — Propriétés chimiques.

## — Poussières atmosphériques.

Les surfaces de réception sont des filtres agissant sur l'air. Elles fixent ainsi les poussières atmosphériques amenées par le vent, spécialement durant les périodes où l'air est sec. Ces dépôts de matières solides sont pris en charge et même solubilisés partiellement par les eaux météoriques. C'est ce qu'a montré notamment DENAYER-DE SMET (1962). Ces matières solides peuvent avoir les origines les plus diverses, organiques ou inorganiques, généralement difficiles à préciser.

— Matériaux d'origine endogène.

Il arrive que les eaux d'égouttement contiennent une charge organique importante d'origine excrémentielle (consommateurs phytophages divers). Les eaux d'égouttement renferment, en outre, des matières organiques soit d'origine végétale telles que fragments minuscules de mousse, de lichen, ou d'écorce, soit des débris d'organismes fauniques.

D'autre part, les travaux de DENAYER-DE SMET ont montré nettement qu'au cours du jaunissement automnal dans les forêts caducifoliées, les eaux d'égouttement, après lessivage des feuillages, contiennent en solution certains éléments minéraux en quantités beaucoup plus élevées que les eaux de précipitations (potassium notamment).

On peut donc conclure que les eaux d'égouttement et d'écoulement sont des suspensions — solutions complexes dont les propriétés physiques et chimiques sont fort différentes de celles des eaux de précipitations ou de dépôts de brouillard.

D. — INTERCEPTION — EVAPORATION.

Le mouillage des biomasses a comme effet de constituer dans tout le profil de l'étage du rayonnement, des pellicules d'eau libre dont la superficie varie surtout avec les valeurs et la structure des biomasses, et la phénophasse.

Dans notre forêt de Virelles-Blaimont par exemple, on a observé que les précipitations ne mouillent pratiquement que la face supérieure des feuilles et qu'une humectation importante de ces surfaces n'est réalisée qu'à partir d'un seuil minimum de précipitations (aux environs de 4,0 à 5,0 mm, fig. 2). Cette dernière valeur est plus élevée que celle à partir de laquelle commence l'égouttement (0,4 à 0,5 mm).

D'autre part, on peut considérer que les gouttelettes d'eau qui perlent sporadiquement sur la face inférieure des feuilles, principalement au niveau supérieur des couronnes, et qui proviennent de la fragmentation des gouttes de pluie qui frappent directement les dômes foliaires, constituent avec la frange humide très étroite (1 à 3 mm) qui borde la partie terminale des limbes, une surface de mouillage relativement faible qui ne dépasse apparemment pas 5 %.

L'estimation du degré d'humectation des surfaces corticales s'avère beaucoup plus délicate. Une appréciation raisonnable de ce dernier ne peut être obtenue qu'à partir de nombreuses séries de mensurations.

Pour TAKEDA (1951), lorsque les surfaces de mouillage (b) ont été atteintes, l'interception (I en mm) doit être proportionnelle à la quantité de précipitation N (mm), ce qui peut s'exprimer par la relation :

$$I = b + cN$$

L'évaporation de ces plans d'eau libre se réalise avec une intensité variable en fonction de la température des éléments en présence, du déficit de saturation de l'air et de la vitesse du vent au niveau de chacune des surfaces. Divers chercheurs ont exprimé mathématiquement ce phénomène :

DALTON (1834), BIGALOW (1907), SUTTON (1932, 1934), THORNTHWAITE et HOLZMANN (1939-1942), PASQUIL (1943-1949), PENNMANN (1948), HOLZMANN (1953), ROHWER (1954) et TURC (1961).

#### a. — Facteurs influençant l'interception.

L'interception correspond en ordre principal à deux processus distincts : l'évaporation de l'eau sur les surfaces de réception et l'absorption hydrique par les organes végétaux aériens.

Le montant de l'interception varie avec un grand nombre de facteurs dont certains relèvent des phénomènes météorologiques et d'autres résultent des caractéristiques du milieu stationnel et du système de réception de l'eau.

##### 1. — Phénomènes météorologiques — Climat régional.

La plupart des coordonnées du grand climat ainsi que les caractéristiques des phénomènes météorologiques au moment des précipitations sur la forêt sont de nature à influencer l'interception.

La proportion des précipitations liquides et solides, la fréquence des brouillards et des brumes, la proportion des régimes cycloniques et anti-cycloniques, l'allure générale de l'humidité de l'air sont autant d'éléments propres au climat général et qui sont de nature à influencer l'interception.

Les coordonnées de l'état de l'atmosphère et les propriétés des précipitations et des brouillards exercent, d'autre part, une très grande influence sur le montant et le taux de l'interception à un moment donné. On peut énumérer les principaux facteurs :

L'intensité, la durée, la fréquence, la direction des précipitations liquides ou solides, le spectre dimensionnel des gouttes, la vitesse et la direction du vent au moment de la réception sur les biomasses, notamment les rafales et leur force, l'absence ou la présence de rayonnement global, l'intensité de ce dernier, la température de l'air et des biomasses, le degré de ventilation des couverts, le déficit de saturation de l'air, les gradients verticaux de vent, la température et l'humidité de l'air, la turbulence de l'air directement au niveau du couvert forestier, les caractéristiques des brouillards et des brumes ( densité, spectre des gouttelettes, épaisseur au-dessus du sol).

##### 2. — Milieu stationnel.

Les caractéristiques du milieu général et de la station de forêt en particulier, sont de nature à influencer le taux d'interception. Les secteurs et les sous-secteurs écologiques conditionnés essentiellement par l'altitude, la géomorphologie, l'exposition et l'inclinaison du sol constituent un premier

niveau d'influences susceptibles d'agir sur l'évaporation et sur les fluctuations de l'état de siccité ou d'hydratation des biomasses. C'est en fait un groupe d'influences qui se relie d'une part aux éléments du climat régional et d'autre part, aux caractéristiques du système forestier récepteur.

Un essai comparatif de mesure d'interception dans des sous-secteurs écologiques contrastés et peu éloignés les uns des autres a été réalisé par GALOUX, A. (1961).

### 3. — Système forestier de réception.

C'est peut-être le système de réception qui présente la plus grande importance sous le rapport du taux d'interception. Le type de formation forestière et sa composition botanique conditionnent un spectre particulier de surface de réception, notamment grâce aux types d'organes foliacés (aiguilles, larges ou petites feuilles, revêtement cireux, pilosité, sclérophylle, sempervirence, marcescence, etc...). Les tensions superficielles qui se développent au niveau des surfaces, le pouvoir mouillant des feuilles et des écorces sont de la plus haute importance. En outre, la densité, l'état de développement, l'âge et la structure du peuplement ainsi que le rythme des phénophases sont autant de facteurs qui agissent conjointement avec les précédents.

En fait, toutes ces caractéristiques conditionnent des surfaces de réception d'eau qui doivent être considérées sous le rapport de leur superficie par hectare de terrain et de leur propriété de tension superficielle. Des estimations de ces surfaces pour différents types de peuplement ont été citées précédemment.

#### b. — Valeurs comparées du taux d'égouttement en région tempérée.

Les valeurs d'égouttement obtenues par les différents chercheurs doivent être interprétées en fonction des conditions expérimentales. Dans la comparaison des chiffres, il faut observer une certaine prudence. L'examen des recherches fait apparaître que des peuplements apparemment comparables, possèdent des taux d'égouttement parfois très différents.

Le tableau I donne un aperçu des % d'égouttement extraits de la littérature pour quelques essences forestières feuillues des régions tempérées.

## II. — PRECIPITATIONS ET EGOUTTEMENT DANS UNE CHENAIE MELANGÉE.

### A. — MILIEU ET PEUPELEMENT.

La forêt de Virelles-Blaimont occupe une station horizontale d'une vingtaine d'hectares, à sol brun calcaire superficiel appartenant au secteur Calectienne Atlantique, sous-secteur principal et située à 245 mètres

TABLEAU 1.

Valeurs comparées du taux d'égouttement pour quelques feuillus des régions tempérées.

Auteurs	Durée de l'expérience	Peuplements étudiés	Egouttement	
			total	saisonnier
WICHT, C. L. (1940-1941) ...	1 an	Peupleraie de <i>P. Canescens</i>	80,2 %	Dénudation 82,1 % Feuillaison 79,7 %
BODEUX, A. (1954) ... ..	1 an	Chênaie de <i>Quercus sessilis</i>	65,5 %	P. défeuillée 60 à 70 % P. feuillée 80 à 90 %
NOIRFALISE, A. (1959) ... ..	1 an	Chênaie à bouleau : — au-dessus de la fougère aigle — sous la fougère aigle	70,2 % 65,2 %	Dénudation 63,6 % Feuillaison 66,8 % Pleine feuillaison 66,3 % Défeuillaison 58,8 %
	du 1-V au 25-VI-1949	Hêtraie à luzule et à canche	75,0 %	
BEALL, H. W. (1934) ... ..	6 mois	Peuplement mélangé (hêtre, érable à sucre et bouleau).	79,0 %	
DALEBROUX, R. (1964) ... ..	du 1-IV-1964 au 31-I-1965	Chênaie à charme (t.s.f.)	79,5 %	
OVINGTON, J. D. (1954) ...	3 ans	Peuplements de 1. <i>Quercus rubra</i> 2. <i>Nothofagus obliqua</i> 3. <i>Quercus petraea</i>	69,0 % 68,6 % 66,1 %	
EIDMANN, F. E. (1959) ...	6 ans	Hêtraie de 95 ans		Eté 67,0 % Hiver 73,0 %
GALOUX, A. (1963) ... ..	1 an	Chênaie mélangée et frênaie érablière	75 à 87 %	P. de végétation 57 à 86 %

d'altitude sur le sommet d'une colline étirée d'ouest en est. La station écologique forestière (V. B.) d'environ 40 ares, abrite un équipement écoclimatologique dont il sera rendu compte ailleurs. La forêt de recherches est constituée par une jeune futaie mélangée à base de chêne (12,6 %), de hêtre (6,5 %), de charme (74,3 %), d'érable champêtre (4,7 %) et de cerisier (1 %). Cette chênaie-charmaie-hêtraie compte quelque 1.160 pieds à l'hectare.

Le couvert est dense et relativement complet. Les surfaces inférieure et supérieure des couronnes délimitent un horizon irrégulier entre les niveaux 6 et 21 m. La hauteur totale des hêtres varie entre 10 et 21 m, celle des chênes oscille entre 10 et 19 m tandis que celle des charmes et des érables champêtres dépasse rarement 6 à 7 m pour les arbres dominés, mais peut atteindre 17 à 18 m pour les sujets bien dégagés.

Quelques individus d'aubépine, charme, coudrier, cornouiller sanguin et cerisier étoffent une strate arbustive claire et irrégulière.

Le tapis herbacé où dominant *Hedera helix*, *Lamium galeobdolon* et *Mercurialis perennis* possède un degré de recouvrement très élevé (voisin de 100 %).

Les surfaces aériennes développées par les biomasses ne sont pas connues avec précision jusqu'ici. En 1948, A. Galoux (1953) est arrivé à une évaluation des surfaces foliaires des strates ligneuses en se basant sur la récolte de feuilles immédiatement après la chute automnale. Les échantillonnages, les comptages et les planimétrages ont donné des index foliaires, double face, variant entre 6 et 8. D'autre part, sur la base d'un échantillonnage de rameaux, il a été estimé que la surface corticale pouvait être de l'ordre de 2 hectares. Compte tenu de la strate herbacée à haut degré de recouvrement, les surfaces totales des biomasses pour toutes les strates seraient de l'ordre de 10 à 12 hectares par hectare de terrain (évaluation provisoire).

## B. — INSTRUMENTATION ET METHODOLOGIE.

### a. — Instrumentation pour la mesure des précipitations.

Les précipitations à découvert sont mesurées dans la station satellite dénommée « Virelles-Philippart » (V. P.), située dans une prairie, loin de tout abri naturel, à 245 mètres d'altitude et à 2.300 mètres au sud-ouest de la station écologique de Virelles-Blaimont (V. B.).

Elle est équipée d'un appareillage varié comprenant notamment un pluviomètre et un pluviographe, tous deux du type Hellmann avec une surface de réception de 200 cm<sup>2</sup>. Le premier, avec sa surface de réception à 30 cm au-dessus du sol, est installé au centre d'un cirque gazonné de 3,00 m de diamètre réalisé d'après les recommandations de l'Office Météorologique Mondial. Le second, dont l'ouverture est située à 1,20 m au-dessus du sol, est muni d'un dispositif chauffant et donne

en dehors des périodes de fortes gelées, la répartition journalière des précipitations, leur nombre et leur durée.

En outre, deux autres stations satellites à découvert équipées d'un pluviomètre Hellmann, l'une à 300 mètres sud-sud-est de la station de forêt et l'autre, dans une pelouse à 700 mètres à l'est de cette même station, complètent l'installation.

#### b. — Instrumentation pour la mesure de l'égouttement.

Au cours des deux années d'observation, 19 pluviomètres ont été installés sous le couvert de la futaie à raison de 4 sous chêne, 4 sous hêtre, 3 sous charme, 3 sous chêne et charme, 2 sous chêne et érable champêtre, 1 sous érable champêtre, 1 sous cerisier et 1 à l'aplomb d'une petite ouverture entre les cimes. Une telle répartition vise à obtenir une valeur moyenne de l'égouttement; elle donne également la possibilité d'étudier ce phénomène sous les cimes des principales espèces ligneuses qui composent le peuplement étudié. Ce dispositif instrumental, encore insuffisant pour obtenir des valeurs bien représentatives de l'égouttement, doit être complété au fur et à mesure des possibilités, notamment par l'installation de pluviomètres-auges de grande capacité.

L'ouverture des pluviomètres est disposée dans un plan horizontal à 0,30 mètre au-dessus du niveau du sol. La surface de réception est de 200 cm<sup>2</sup> pour 11 appareils et de 100 cm<sup>2</sup> pour les 8 autres. Tous les pluviomètres sont placés à l'intérieur d'une gaine cylindrique en éternit enfoncée d'environ 20 cm dans le sol. Cet accessoire assure une protection mécanique efficace et une bonne stabilité des appareils tout en diminuant considérablement les inconvénients du gel et dans certains cas, l'évaporation à partir du vase collecteur.

Ces pluviomètres récoltent donc les eaux d'égouttement au-dessus du tapis herbacé. Une série de 6 appareils est également prévue pour la mesure de l'égouttement sous ce même tapis herbacé.

La qualité des mesures d'égouttement dépend du dispositif instrumental, du nombre de pluviomètres, de leur emplacement et de la hauteur de leur surface réceptrice au-dessus du niveau du sol. Il apparaît d'ailleurs que les chercheurs ont adopté des modalités diverses et ont travaillé le plus souvent avec des possibilités matérielles souvent réduites. Peu nombreux sont ceux qui ont utilisé plus de 10 pluviomètres. Certains les ont disposés systématiquement à intervalles réguliers (1,50 m à 2,00 m) suivant 2 diagonales (BODEUX, 1954) ou une direction orientée nord-sud (NOIRFALISE, 1959); d'autres les ont répartis sous les différentes essences qui composent le peuplement (WOOD, 1937); quant à WITCH (1940-41), il a permuté successivement chacun de ses quatre pluviomètres à 5 emplacements différents.

En 1959, NOIRFALISE a montré que les pluviomètres dont l'ouverture était située au niveau du sol sous une strate de fougères aigles, accusaient un déficit en eau d'égouttement de 5 % par rapport à d'autres

placés à 1,50 m au-dessus du sol entre la strate de fougères et le couvert d'une chênaie à bouleau. Pour KITTREDGE (1941) qui a travaillé dans une forêt de *Pinus canariensis*, le taux d'interception est généralement plus élevé près des troncs et va en diminuant au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'extrémité des couronnes; il est également supérieur du côté opposé à la direction des vents de pluie et augmente avec la vitesse de ces derniers.

De ces considérations, il ressort bien que la mise en station d'un dispositif expérimental de mesure de l'égouttement doit s'effectuer avec un matériel minimum et compte tenu d'un certain nombre de précautions.

### c. — Relevés et mesures.

Dans ces stations, en plus des visites hebdomadaires, nous procédons à des relevés de fin de mois et, occasionnellement, à des relevés journaliers pendant de courtes périodes. Lors de chaque visite, l'eau récoltée est mesurée séparément pour chaque pluviomètre à l'aide d'une éprouvette en matière plastique transparente. Celle-ci est graduée en 100 parties et donne directement la hauteur en mm de la lame d'eau tombée pour une surface de réception standard de 200 cm<sup>2</sup> et avec une précision de 0,1 mm. Le préposé de service dispose d'un carnet d'observations où sont insérés des formulaires spéciaux sur lesquels il inscrit toutes les mesures. Le pluviomètre est alors replacé dans sa gaine après avoir été éventuellement débarrassé des feuilles, brindilles et autres corps étrangers qui pourraient perturber l'écoulement des eaux dans le vase de récolte. Le niveau placé suivant deux directions perpendiculaires permet de vérifier l'horizontalité de l'appareil.

### d. — Interprétation des mesures de précipitations.

Le montant hebdomadaire des précipitations recueillies par le pluviographe dont la surface réceptrice est située 90 cm plus haut que celle du pluviomètre distant de quelques mètres seulement, est systématiquement inférieur à celui qui est récolté dans ce dernier. La valeur journalière des précipitations est obtenue à partir du pluviographe. L'erreur par défaut commise par ce dernier est compensée après calcul de proportionnalité.

Le tableau 2 donne pour la durée de fonctionnement des appareils la valeur de l'erreur faite par le pluviographe.

Les facteurs responsables de cet écart sont probablement d'une part, la fréquence et l'intensité plus grande des remous de l'air au niveau de l'ouverture du pluviographe (3 à 4,4 %) et d'autre part, les pertes par éclaboussement lors du siphonnage et par évaporation à partir du récipient collecteur ( $\pm 1,5$  %).

Pour le calcul du taux d'égouttement, la quantité de précipitations utilisée ne représente pas obligatoirement la moyenne des précipitations recueillies dans les 3 pluviomètres installés à découvert. L'analyse des

TABLEAU 2.

Comparaison des mesures de précipitations obtenues à partir d'un pluviomètre et d'un pluviographe.

Stations hors forêt	Pluviomètre		Pluviographe			
			Graphique		Mesure	
	mm	%	mm	%	mm	%
V. P. ... ..	695,4	100	673,9	96,9	663,4	95,4
Be.F. (*) ... ..	445,8	100	426,2	95,6	419,8	94,2

relevés fait apparaître des différences parfois importantes entre les 3 appareils, surtout entre ceux qui jouxtent la station forestière et celui qui en est le plus éloigné. Celles-ci sont dues à la chute locale d'averses souvent orageuses ou de giboulées. Il en est tenu compte dans le calcul de l'égouttement.

### C. — OBSERVATIONS POUR LES ANNEES 1964 ET 1965.

#### a. — Eau de précipitations.

##### 1. — Cotes pluviométriques.

Le tableau 3 donne les cotes mensuelles et annuelles des précipitations recueillies à découvert au cours des années 1964 et 1965. En 1961, GALOUX a récolté, dans la même région, une précipitation annuelle de 921,9 mm. A la station météorologique de FORGES-SCOURMONT située à quelque 7 km au sud de la nôtre et à 328 m d'altitude, PONCELET et MARTIN (1947) donnent pour la période de référence de 1901-1930, une moyenne annuelle de 1.030 mm et des extrêmes de 1138 et 428 mm.

Avec 694,0 mm d'eau en 1964 et 1159,5 mm en 1965, nous avons en fait, deux années caractérisées, la première par des précipitations déficitaires et la seconde, par des pluies excessives. Les cotes mensuelles de février, mars et novembre sont restées voisines pour les deux années; celles de juin, août et septembre 1965 accusent un léger excédent (1/3, 1/3, 1/5); pour cette même année, la cote d'avril a doublé, celle de mai est à multiplier par 2,6, celle de juillet par 3,0, celle de décembre

(\*) Station éoclimatologique de plein air analogue à V. P., située à environ 15 km au nord-est de Beauraing.

TABLEAU 3.

Valeurs de quelques composantes du bilan hydrique à Virelles pour les années 1964 et 1965.

Périodes	Année 1964					Année 1965						
	Précipi- tation (mm)	Egouttement		Ecoule- ment	Interception (1)		Précipi- tation (mm)	Egouttement		Ecoule- ment	Interception (1)	
		mm	%		mm	%		mm	%		mm	%
Mois :				non mesuré						non mesuré		
Janvier ... ..	31,5	20,8	66,0		10,7	34,0	128,9	95,6	74,2		33,3	25,8
Février ... ..	29,3	17,7	60,4		11,6	39,6	28,3	26,6	94,0		1,7	6,0
Mars ... ..	68,3	51,0	74,7		17,3	25,3	60,0	45,1	75,2		14,9	24,8
Avril ... ..	48,0	29,4	61,2		18,6	38,8	99,8	84,3	84,5		15,5	15,5
Mai ... ..	40,5	18,0	44,4		22,5	55,6	108,1	80,0	74,0		28,1	26,0
Juin ... ..	56,5	36,8	65,1		19,7	34,9	86,2	61,5	71,3		24,7	28,7
Juillet ... ..	36,9	19,9	53,9		17,0	46,1	109,1	75,4	69,8		33,7	30,9
Août ... ..	66,3	47,6	71,8		18,7	28,2	102,3	76,5	71,7		25,8	25,2
Septembre ... ..	53,1	40,6	76,5		12,5	23,5	65,6	47,3	72,1		18,3	27,9
Octobre ... ..	97,2	69,8	71,8		27,4	28,2	25,7	21,0	81,7		4,7	18,3
Novembre ... ..	105,6	81,0	76,7		24,6	23,3	122,5	101,5	82,9		21,0	17,1
Décembre ... ..	60,8	52,2	85,9		8,6	14,1	223,0	177,8	79,7		45,2	20,3
Année ... ..	694,0	484,8	69,9			1.159,5	892,6	77,0	266,9	23,0		
Phénophases :												
Feuillée (1.5 - 31.10) ...	350,5	232,7	66,4	117,8	33,6	497,0	361,7	72,8	135,3	27,2		
Défeuillée ... ..	343,5	252,1	73,4	91,4	26,6	662,5	530,9	80,1	131,6	19,9		

(1) Non compte tenu de l'écoulement le long des troncs.

par 3,6 et celle de janvier par 4,0. Seul le mois d'octobre est déficitaire avec 26,8 mm seulement contre 106,9 mm en 1964.

En 1964, la somme des précipitations est également répartie au cours des deux phénomènes, tandis qu'en 1965 la période défeuillée a été plus sensiblement arrosée (+ 14 %).

La répartition journalière des précipitations est représentée par la fig. 1. En dehors des périodes de fonctionnement du pluviographe, les hauteurs d'eau en mm reportées sur ce graphique sont obtenues en divisant la lame d'eau récoltée lors de chaque relevé (généralement un par semaine) par le nombre de jours qui sépare les deux derniers relevés.

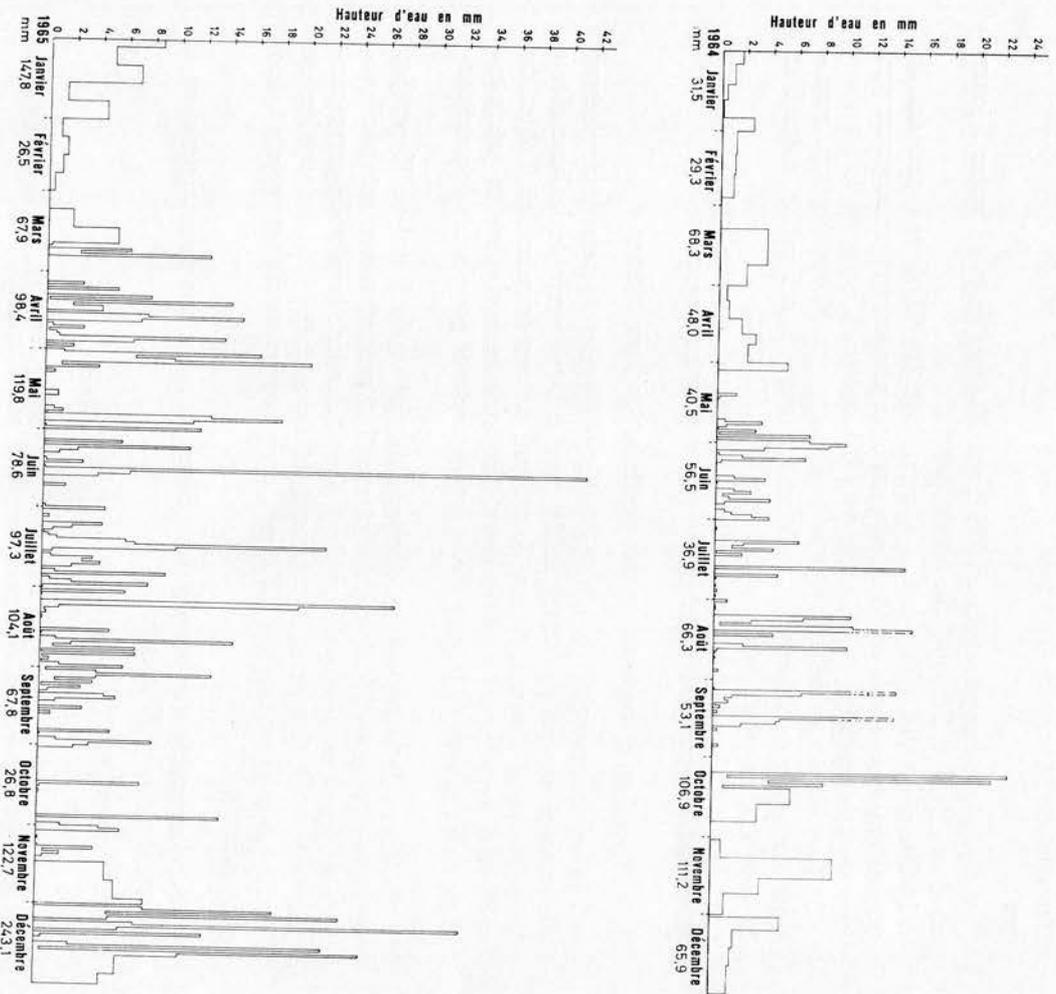


Fig. 1. — Répartition journalière des précipitations à Virelles-Philippart pour les années 1964 et 1965.

## 2. — Nombre de jours de précipitations et lames d'eau correspondantes.

Le nombre de jours de précipitations n'est connu que pour les périodes de fonctionnement du pluviographe, c'est-à-dire du 5 mai au 12 octobre 1964 et du 21 mars au 20 décembre 1965, à l'exclusion de la deuxième quinzaine de novembre. Durant les 161 jours de la période de mesure de 1964, on a relevé 80 jours de précipitations pour un total de 296,6 mm d'eau. Au cours de la période plus longue de 1965 (258 jours), on compte 149 jours de précipitations et une lame d'eau de 814,9 mm. (Tableau 4).

Si l'on compare les valeurs de 1964 et celles de 1965 pour la période identique de 161 jours qui va du 5 mai au 12 octobre, on peut constater que :

1° Il a plu 1 jour sur deux en 1964, soit 80 jours au total contre 3 jours sur 5 en 1965 et 92 jours de précipitations.

2° On a mesuré 296,6 mm d'eau en 1964 et 435,6 mm pendant la période correspondante de 1965, soit une cote pluviométrique moyenne par jour de précipitations de 3,7 mm en 1964 contre 4,7 mm en 1965;

3° Sur 100 jours de précipitations, en moyenne 39 reçoivent au maximum 1 mm d'eau, 20 entre 1 et 3 mm, 14 entre 3 et 5 mm et entre 5 et 10 mm, 9 entre 10 et 20 mm et 3 entre 20 et 30 mm;

4° Les journées qui reçoivent plus de 40 mm d'eau sont exceptionnelles et essentiellement caractérisées par des averses orageuses.

## 3. — Nombre et importance des précipitations par classes.

Les enregistrements du pluviographe permettent également de dresser l'inventaire des précipitations et de calculer l'épaisseur de la lame d'eau recueillie pour chacune d'elles. L'éventail de ces données fait l'objet du tableau 5 dans lequel figurent pour chaque mois, le nombre de précipitations et la hauteur de la lame d'eau correspondante par classes de précipitations.

Au cours de la période de comparaison qui va du 5 mai au 12 octobre 1964, on a mesuré 296,6 mm d'eau pour 215 précipitations, soit une hauteur moyenne par précipitation de 1,4 mm. Pendant la période correspondante de 1965, 268 précipitations ont été enregistrées (soit un supplément de 25 %) pour un total de 457,0 mm, ce qui correspond à une précipitation moyenne de 1,7 mm.

Sur l'ensemble des observations faites au cours des deux années, on a enregistré pour 100 averses,

- 68,8 précipitations inférieures à 1 mm,
- 17,2 précipitations comprises entre 1 et 3 mm,
- 6,0 précipitations comprises entre 3 et 5 mm,
- 5,3 précipitations comprises entre 5 et 10 mm,
- 2,2 précipitations comprises entre 10 et 20 mm,
- 0,5 précipitation comprises entre 20 et 30 mm.

TABLEAU 4.

Nombre de jours de précipitations et importance de la lame d'eau correspondante pour les périodes de fonctionnement du pluviographe (\*).

Hauteurs journalières des précipitations (H)		Nombre de jours de précipitation (N) et lames d'eau correspondantes (mm)																							
		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre		Période de mesure			
		N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	%	mm	%
H ≤ 1 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	5	1,8	7	3,6	6	0,7	8	2,6	7	3,1	1	0,9	—	—	—	—	34	42,5	12,7	4,3
	1965 ... ..	1	0,3	5	2,7	6	3,6	3	0,5	9	5,1	10	3,1	5	2,3	3	0,4	4	1,2	2	0,9	48	32,2	20,1	2,5
1 mm < H ≤ 3 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	2	4,5	6	11,5	3	5,6	2	5,2	3	4,9	1	1,2	—	—	—	—	17	21,2	32,9	11,1
	1965 ... ..	1	2,5	4	8,8	3	4,0	4	8,5	4	8,0	4	6,5	3	3,9	2	4,5	1	1,8	1	2,6	27	18,1	51,1	6,3
3 mm < H ≤ 5 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	1	3,5	4	15,8	2	9,4	1	4,6	1	4,9	1	4,4	—	—	—	—	10	12,5	42,6	14,3
	1965 ... ..	—	—	2	8,6	1	4,1	1	4,2	5	20,9	—	—	7	28,3	—	—	2	9,2	—	—	18	12,1	75,3	9,2
5 mm < H ≤ 10 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	2	14,4	3	25,6	1	6,5	1	6,9	2	12,0	1	8,7	—	—	—	—	10	12,5	74,1	25,0
	1965 ... ..	1	6,4	5	35,3	2	16,8	3	12,6	4	31,2	5	32,8	3	20,1	1	7,9	1	6,4	5	33,4	30	20,1	202,9	24,9
10 mm < H ≤ 20 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	1	14,7	4	47,0	2	28,2	—	—	—	—	—	—	7	8,8	89,9	30,3
	1965 ... ..	1	12,5	3	43,0	5	70,9	1	11,2	1	10,3	2	34,6	1	13,2	1	14,0	—	—	3	42,0	18	12,1	251,7	30,9
20 mm < H ≤ 30 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	44,4	—	—	—	—	2	2,5	44,4	15,0
	1965 ... ..	—	—	—	—	1	20,4	—	—	1	21,8	1	27,1	—	—	—	—	—	—	3	70,4	6	4,0	139,7	17,1
30 mm < H ≤ 40 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1965 ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	32,5	1	0,7	32,5	4,0
H > 40 mm	1964 ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1965 ... ..	—	—	—	—	—	—	—	41,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0,7	41,6	5,1
TOTAL	1964 ... ..	—	—	—	—	10	24,2	20	56,5	13	36,9	16	66,3	15	53,1	6	59,6	—	—	—	—	80	100	296,6	100
	1965 ... ..	4	21,7	19	98,4	181	19,8	13	78,6	24	97,3	22	104,1	19	67,8	7	26,8	8	18,6	15	18,18	149	100	814,9	100

(\*) — du 5 mai au 12 octobre 1964 (161 jours).  
 — du 2 mars au 14 novembre 1965 et du 1<sup>er</sup> au 20 décembre 1965 (258 jours).

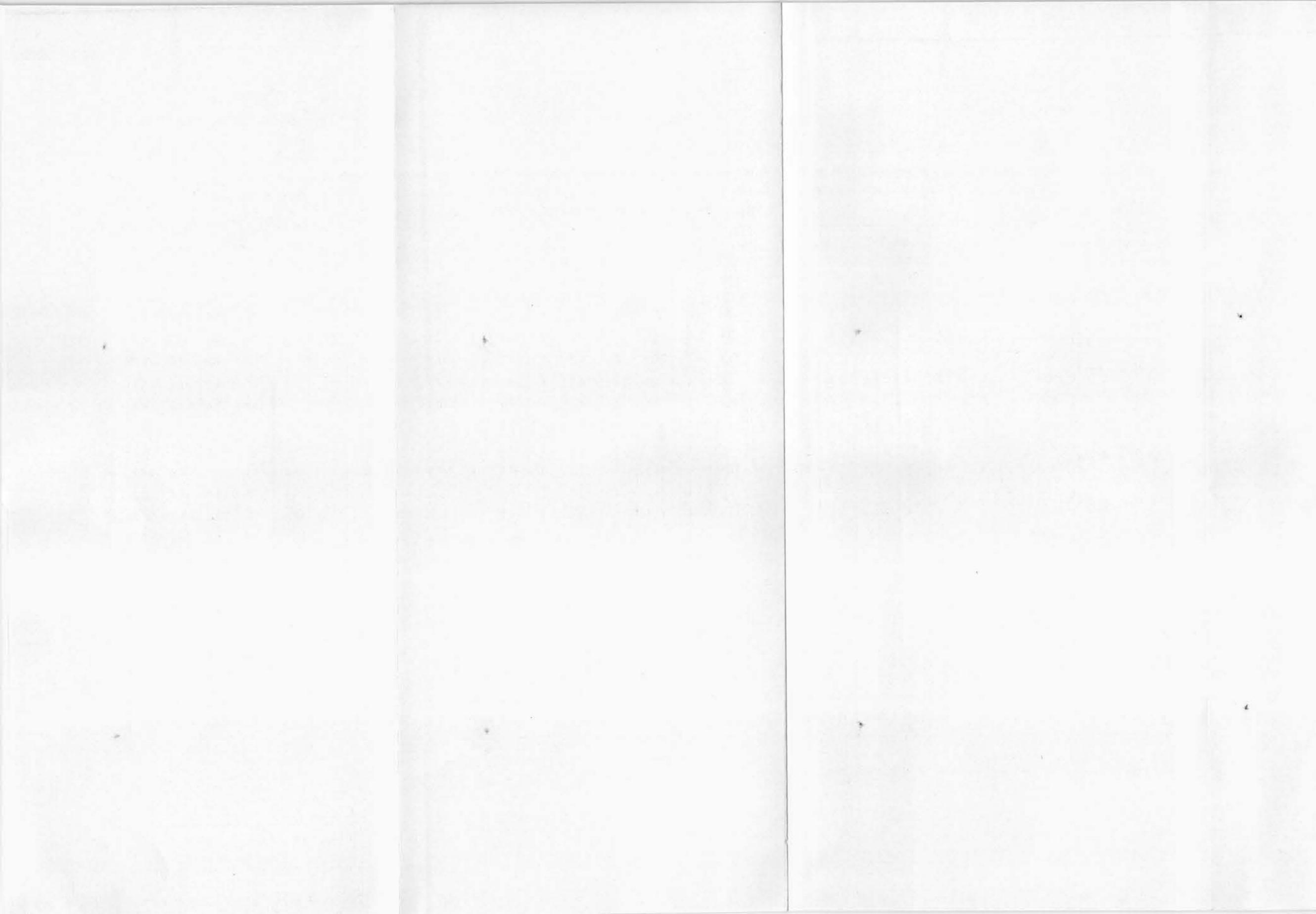
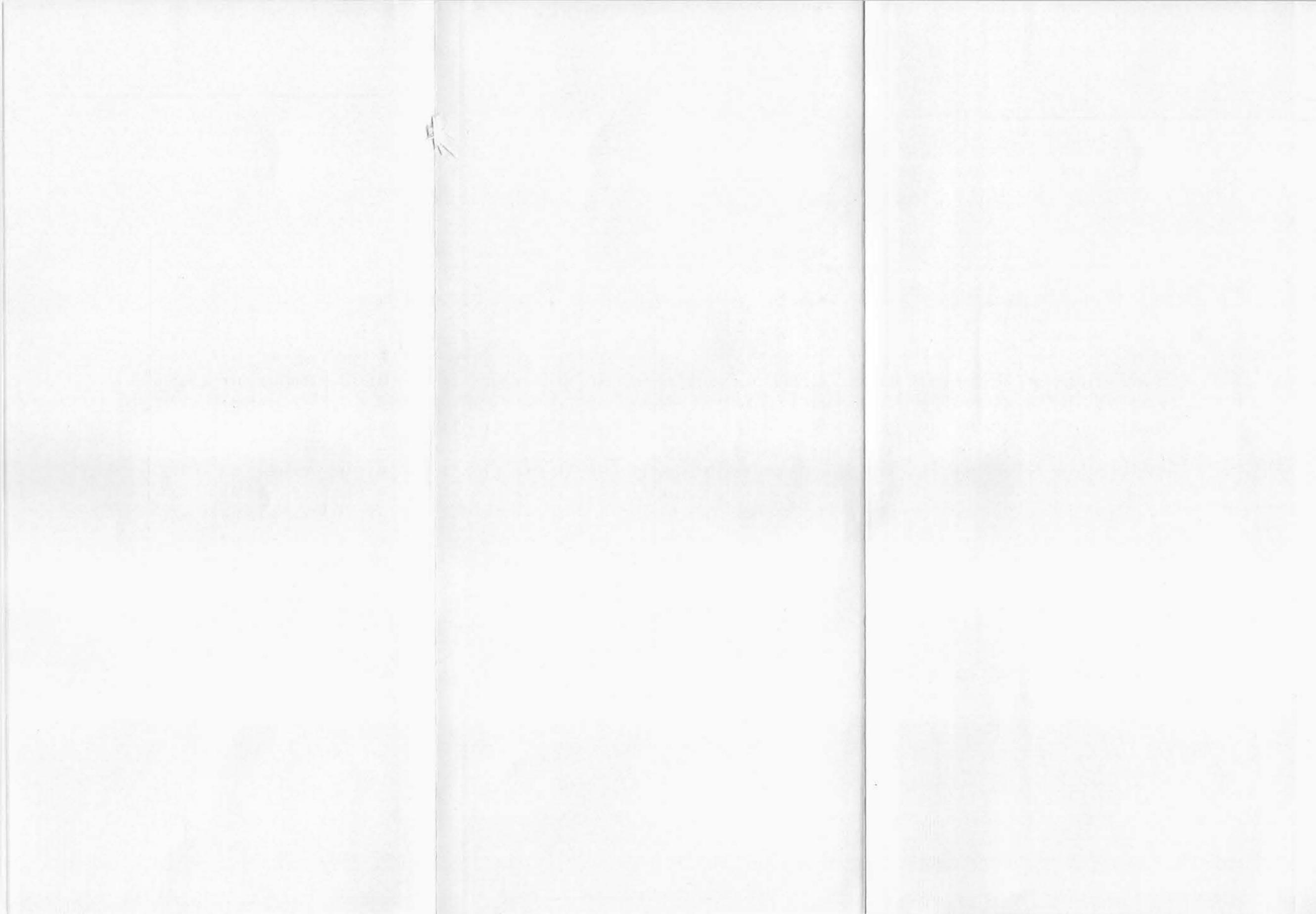


TABLEAU 5

Nombre de précipitations par classes et hauteur de la lame d'eau correspondante pendant les périodes allant du 5-V au 12-X-1964, du 21-III au 14-XI-1965 et du 1 au 20-XII-1965.

Classes de précipitations	Nombre de précipitations (N) et lames d'eau correspondantes (mm)																								Hauteur moyenne de la précipitation (mm)	
	Mars 21-31		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre 1-14		Décembre 1-20		Période de mesure					
	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	%	mm	%		
$P \leq 1$ mm	1964	—	—	—	—	9	2,0	28	8,9	27	7,0	41	11,9	30	11,0	19	8,3	—	—	—	—	15,4	71,6	49,1	16,5	0,3
	1965	16	5,0	51	20,4	50	18,3	17	6,0	49	16,8	29	8,5	44	14,1	13	4,3	22	5,5	29	13,2	320	66,0	112,1	13,7	0,3
$1 \text{ mm} < P \leq 3$ mm	1964	—	—	—	—	2	4,5	10	17,5	4	8,0	7	10,5	7	10,5	1	6,9	—	—	—	—	34	15,8	57,9	19,5	1,7
	1965	4	5,7	18	33,4	11	19,4	5	9,6	11	23,6	12	23,7	12	24,4	2	2,6	4	9,5	11	20,0	90	18,6	171,9	21,1	1,9
$3 \text{ mm} < P \leq 5$ mm	1964	—	—	—	—	1	3,5	3	11,4	2	7,3	2	9,1	1	3,4	2	7,3	—	—	—	—	11	5,1	42,0	14,2	3,8
	1965	1	3,4	5	18,4	5	18,2	4	16,1	2	7,9	5	19,4	4	16,5	1	3,7	1	3,6	6	23,2	33	6,8	130,4	16,0	3,9
$5 \text{ mm} < P \leq 10$ mm	1964	—	—	—	—	2	14,2	3	18,7	—	—	5	34,8	—	—	1	5,7	—	—	—	—	11	5,1	73,4	24,8	6,8
	1965	1	7,6	4	26,2	4	27,5	3	22,0	5	36,9	1	6,2	—	—	1	5,9	—	—	7	44,1	26	5,4	176,4	21,6	6,8
$10 \text{ mm} < P \leq 20$ mm	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	1	14,6	—	—	2	28,2	1	10,4	—	—	—	—	4	1,9	53,2	17,9	13,3
	1965	—	—	—	—	3	36,4	2	24,9	1	12,1	2	22,9	1	12,8	1	10,3	—	—	2	30,1	12	2,5	149,5	18,4	12,5
$20 \text{ mm} < P \leq 30$ mm	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	21,0	—	—	—	—	1	0,5	21,0	7,1	21,0
	1965	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	23,4	—	—	—	—	—	—	2	51,2	3	0,6	74,6	9,2	24,8
TOTAL	1964	—	—	—	—	14	24,2	44	56,5	34	36,9	55	66,3	40	53,1	28	59,6	—	—	—	—	215	100	296,6	100	1,4
	1965	21	21,7	78	98,4	73	119,8	31	78,6	68	97,3	50	104,1	61	67,8	18	26,8	27	18,6	57	181,8	484	100	814,9	100	1,7



Ces différentes classes correspondent respectivement à 15,1 %, 20,5 %, 15,0 %, 23,2 %, 18,1 % et 8,1 % du montant des précipitations.

## b. — Eau d'égouttement.

### I. Facteurs influençant le taux d'égouttement.

#### 1° Montant des précipitations : Année sèche et année humide.

Les données du tableau 3 montrent que 70 à 77 % des précipitations annuelles atteignent, par voie d'égouttement, la strate herbacée sous le couvert de notre forêt qui étale une surface totale (toutes faces) d'environ 10 à 12 ha en phase feuillée (y compris la strate herbacée).

Comme nous sommes en présence de deux années caractérisées, l'une par des précipitations déficitaires (1964) et l'autre par des pluies excédentaires (1965) par rapport à la cote moyenne régionale, on peut considérer, semble-t-il, ces deux pourcentages comme des valeurs voisines des limites entre lesquelles devrait fluctuer l'égouttement pour des années normalement arrosées. L'écart de 7 % obtenu entre ces deux années est à mettre en rapport avec le supplément de 465 mm de précipitations tombé en 1965.

A titre de comparaison, ajoutons que pour des cotes udométriques de 28,34 pouces (72 mm) et 42,90 pouces (109 mm), OVERTON, J. D. (1954) a obtenu sous le couvert de plantations de *Quercus rubra*, *Nothofagus obliqua* et *Quercus petraea*, des différences plus faibles de l'ordre de 1,5 %.

#### 2° Phénophases.

L'incidence du rythme saisonnier de la végétation sur le taux d'égouttement a été mise en évidence par différents auteurs.

WIGHT, C. L. (1940-41), BODEUX, A. (1954), NOIRFALISE, A. (1953), EIDMANN, F. (1959) et GALOUX, A. (1963) ont montré que le taux d'égouttement diminue en période de feuillaison (tableau I).

Dans notre étude, un coup d'œil sur le tableau 3 révèle également que le taux d'égouttement, en dépit de la grande variabilité des précipitations mensuelles, est fonction des modifications saisonnières du couvert (surface de mouillage). Au cours de la phénophase feuillée, les cimes s'étoffent et se referment, provoquant une réduction du taux d'égouttement d'environ 7,0 à 7,3 % par rapport à la période dénudée. Cette différence correspond principalement à deux phénomènes distincts.

D'une part, les surfaces de réception du couvert en phase chlorophyllienne au-dessus du tapis herbacé sont environ 4 à 5 fois plus importantes qu'en phase défeuillée, ce qui étale la nappe d'eau libre par unité d'averse et augmente l'évaporation totale. D'autre part, les facteurs physiques conditionnant l'évaporation sont plus favorables en période feuillée. Les températures des surfaces sont plus élevées et le gradient des déficits de saturation de l'air depuis le niveau des feuillages jusqu'aux

couches d'air situées à quelques mètres au-dessus des cimes peut être plus important, même en régime cyclonique, durant les intervalles entre les averses.

A l'intérieur de la phénopase feuillée, la variabilité du taux d'égouttement est plus délicate à interpréter. Les valeurs hebdomadaires non reprises dans nos tableaux, ne laissent entrevoir aucune ligne générale de variation. On sait que le couvert atteint sa densité maximum au début juin, puis que sous l'action des consommateurs phytophages, il s'éclaircit progressivement jusqu'aux mois d'août-septembre.

Dans les cas étudiés, la variabilité des valeurs hebdomadaires qui correspondrait à des variations du couvert, est masquée par une série d'autres facteurs plus importants dont notamment la variabilité des classes de précipitations.

### 3° Essences constitutives du peuplement.

Le tableau 6 rapporte pour l'année 1965, les taux d'égouttement obtenus pour les trois principales essences qui composent notre forêt. De ces valeurs, il ressort clairement que le chêne pédonculé possède le taux d'égouttement le plus élevé; le hêtre vient en seconde position avec un % légèrement inférieur (— 2,2 %) alors que le charme ne laisse passer que 65,5 % des précipitations, soit quelque 17 % en moins que le chêne.

Ces écarts varient assez fortement au cours des différents mois de l'année. Ils s'accroissent pendant la phénopase feuillée, principalement pour le hêtre, et diminuent au cours de la période dénudée.

Pour des hauteurs d'arbres analogues, le chêne qui est caractérisé par une ramification moins abondante et moins fine que celle du hêtre, un index foliaire plus faible (BURGER, H. 1947) et une répartition plus irrégulière du feuillage, possède donc un couvert plus léger et par conséquent, une surface de mouillage plus faible. Ces considérations ne sont certes pas étrangères à la différence d'égouttement obtenue entre ces deux essences, notamment en période feuillée.

Le fait que le charme possède un couvert dense et une ramure fine mais plus fastigiée que celle du hêtre, retiendrait 14,8 % d'eau en plus que cette dernière, s'explique plus difficilement. Certes, sa cime sans être dominée, plafonne les parties basses de la surface supérieure du couvert situées 3,00 à 4,00 m en contrebas des couronnes adjacentes des hêtres et des chênes. Mais cet abri latéral constitue-t-il vraiment un obstacle capable d'intercepter une partie des précipitations au détriment des charmes ? Il semble que cela ne soit pas impossible. La majorité des précipitations sont chassées par les vents et suivent une trajectoire plus ou moins oblique; il en résulte que les surfaces de réception les mieux exposées, en l'occurrence les cimes hémisphériques des hêtres et des chênes, recueillent des quantités d'eau probablement supérieures à celles qui tombent sur des surfaces horizontales. Le fait est d'ailleurs confirmé par KITTREDGE (1941) qui a mesuré dans un peuplement de *Tsuga canadensis*, des taux

d'égouttement inférieurs à l'aplomb des faces opposées à la direction des vents de pluie.

En fait, du point de vue aérodynamique, la surface supérieure du dôme de la forêt est inégale, ce qui est de nature à causer d'importants remous au niveau des cimes. Ce phénomène entraîne probablement une certaine hétérogénéité de la distribution des précipitations sur le peuplement, notamment lorsque la vitesse du vent accompagnant la chute d'eau est élevée. Cette hypothèse est formulée par SLATYER, R. O. (1965), qui a étudié l'égouttement et l'écoulement sur les troncs dans une communauté d'*Acacia aneura* en région semi-désertique. Les cimes formant un relief arrondi, exposent aux précipitations incidentes une surface plus grande que leur projection sur le plan horizontal, ce qui accroît la réception d'eau par surface de terrain couvert. Il note également que les taux d'égouttement et d'écoulement sont particulièrement élevés par averses venteuses. Il semble bien que le vent intervienne selon deux processus. Le premier, d'ordre mécanique, a tendance à diminuer le volume d'eau retenu par les surfaces en agitant les cimes mouillées, et accroît l'égouttement. Le deuxième processus, de nature physique, favorise l'évaporation; il tend donc à diminuer l'égouttement.

Une autre cause pouvant influencer le taux d'égouttement au niveau des espèces ligneuses se trouve dans les propriétés des surfaces de mouillage eu égard à la captation et à la rétention d'eau. Il se pourrait que les espèces diverses aient des surfaces foliacées à capacité de mouillage différente. L'information sur ce point est nulle jusqu'ici.

En conclusion, il apparaît bien que les taux d'égouttement par espèce obtenus dans notre dispositif, ne représentent pas des rapports correspondant à la réalité puisqu'ils sont obtenus à partir de valeurs de précipitations supposées égales sur tout le terrain de réception.

D'autre part, nos résultats indiquent bien que les valeurs absolues de l'égouttement varient largement d'un point à un autre et conditionnent une réelle variabilité dans l'alimentation du sol en eau atmosphérique.

#### 4° Hauteur de la lame d'eau par averse.

Selon la quantité d'eau recueillie par averse, le taux d'égouttement prend des valeurs différentes, généralement croissantes avec le volume des précipitations comme en témoignent les quelques mesures que nous avons effectuées dans notre forêt et qui figurent au tableau 7.

Toutes les valeurs sont obtenues après une période sèche prolongée de 3 à 13 jours, sauf pour les averses des 20 et 21 juillet où ce délai est de 24 heures. Il apparaît qu'en phénophase feuillée, l'égouttement débute lorsque la précipitation atteint de 0,4 à 0,5 mm; à ce moment il peut déjà atteindre 25 %. Au-delà de 0,5 mm, l'égouttement s'élève rapidement et pour 1 mm, il atteint plus ou moins 60 %. A partir de 3 mm, il peut se situer entre 70 et 80 %.

TABLEAU 6.

Egouttement mesuré en 1965 sous différentes essences forestières à Virelles-Blaimont.

Périodes	Egouttement en %		
	Chêne	Hêtre	Charme
Janvier ... ..	73,9	80,6	63,4
Février ... ..	88,3	107,8	86,9
Mars ... ..	72,3	83,2	64,3
Avril ... ..	90,7	88,9	72,5
Mai ... ..	82,7	73,9	63,7
Juin ... ..	73,5	71,8	61,6
Juillet ... ..	74,7	70,5	60,4
Août ... ..	88,9	77,2	63,7
Septembre ... ..	79,0	78,2	58,4
Octobre ... ..	89,5	87,5	63,8
Novembre ... ..	88,3	88,2	69,6
Décembre ... ..	87,0	80,1	66,8
Année ... ..	82,5	80,3	65,5
Phénophases :			
Feuillée (1) ... ..	80,6	74,6	62,0
Défeuillée ... ..	83,7	83,8	(68,1)

(1) Chêne : 17,5 - 15,11; hêtre : 10,5 - 31,10; charme : 26,4 - 17,10.

TABLEAU 7.

Variations du taux d'égouttement avec l'importance des averses.

Epoque de mesure	Hauteur d'eau tombée par averse (mm)	Egouttement	
		mm	%
25-X-1965	0,2	0,0	0,0
17-VII-1965	0,3	0,0	0,0
27-VIII-1964	0,4	0,1	25,0
26-IX-1964	0,5	0,2	40,0
21-VII-1965	1,0	0,6	60,0
22-VI-1965	2,9	2,6	80,7
20-VII-1965	3,2	2,2	68,7
15-X-1965	8,1	7,1	87,7
28-X-1965	13,3	12,0	90,2

A titre de comparaison, notons que SLAVIK, B. (1965) a trouvé dans une hêtraie en Tchécoslovaquie, des valeurs nulles pour des précipitations variant de 0 à 0,5 mm et allant de 10 à 25 % pour des chutes de pluie de 1 mm. C'est seulement à partir de pluies de 3 mm que l'égouttement atteint des valeurs élevées.

Si nous reprenons l'examen des chiffres du tableau 7, on notera qu'un égouttement de 80,7 % pour une précipitation de 2,9 mm peut paraître élevé; ceci s'explique par l'intensité extrême de la pluie et sa courte durée. Le taux de 90,2 % est également obtenu à partir d'une averse de très courte durée, survenue à une date où la chute des feuilles était amorcée. Quant à la valeur de 87,7 %, elle se justifie par des dépôts de brouillards matinaux qui se sont superposés à l'averse.

En phase feuillée, l'égouttement débute lorsque le montant des précipitations reçues atteint 0,4 à 0,5 mm. Le mouillage subtotal ou total des surfaces exposées aux précipitations par les ligneux ( $\pm 5,5$  ha) semble réalisé lorsque les précipitations atteignent 4 à 5 mm; l'interception (eau de mouillage), non compte tenu du faible écoulement sur les troncs, est alors de 1,4 à 1,6 mm (d'après figure 2). D'autre part, la lame d'eau évaporée par averse ou série d'averses espacées de moins de 2 heures est évaluée à 0,75 mm (phases feuillées 1964, 1965). Cette valeur ne tient pas compte de l'écoulement sur les troncs; elle est donc surestimée. En divisant par la surface de mouillage, soit le montant d'eau de mouillage total, soit la lame d'eau moyenne évaporée par averse, on obtient l'épaisseur moyenne approchée du film de mouillage. Celle-ci pourra être calculée ultérieurement avec plus de précision.

##### 5° Dépôts de brouillard, de brouillard givrant et de neige.

Les dépôts de brouillard et de brouillard givrant se manifestent principalement d'octobre à mars. Ils sont particulièrement importants au niveau des couronnes de hêtre et à un degré moindre, des cimes de charme, essences à ramification fine et abondante et à écorce lisse. Ils peuvent provoquer une élévation importante du taux d'égouttement durant certaines périodes. Ce phénomène apparaît déjà clairement dans le tableau 3 où les mois de février et octobre 1965 accusent des taux d'égouttement relativement élevés (94,0 et 81,7 %) alors que la lame d'eau recueillie au cours de ces deux périodes n'est que de 28,3 et 25,7 mm.

Mais pour l'illustrer d'une manière plus nette encore, nous avons choisi quelques mesures hebdomadaires qui portent sur des périodes typiques. Elles sont reprises dans le tableau 8.

Ces quelques valeurs donnent une idée de ce que les brouillards peuvent représenter comme source d'approvisionnement en eau atmosphérique pour les forêts situées dans des régions où ce phénomène est fréquent. La végétation, avec ses surfaces étalées sur 6 à 21 mm de hauteur, capte davantage les brouillards que la pelouse. Ces observations mettent également en évidence les aptitudes propres à certaines essences pour la captation des brouillards et, en ce qui concerne les chutes de neige (relevé du

TABLEAU 8.

Influence des dépôts de brouillard, de brouillard givrant et de neige sur le taux d'égouttement.

Période	Précipitations mm	Egouttement					
		F. B.		Hêtre		Charme	
		mm	%	mm	%	mm	%
Du 31-I au 8-II-1965 ...	8,2	9,3	113	10,7	130	8,4	102
Du 28-II au 8-III-1965	0,2	1,1	550	1,2	600	1,5	750
Du 20-I au 27-I-1964	0,6	0,7	116	1,1	183	—	—
Du 21 au 31-XII-1964	14,0 (neige)	14,4	103	16,6	118	13,9	99,9

31-XII-1964) l'influence favorable du couvert forestier dans l'accumulation des flocons.

6° Nombre d'averses et hauteur de la lame d'eau correspondante.

D'après les données du tableau 7 présentées sous forme de courbe dans la figure 2, on constate qu'un taux d'égouttement élevé (75 à 80 %) est obtenu à partir d'averses supérieures à 3 mm. Or, si l'on reprend les données du tableau 5 pour la phénophase feuillée, c'est-à-dire pour la période allant de juin à septembre, on s'aperçoit que le nombre de précipitations supérieures à 3 mm a augmenté de 24 unités en 1965 par rapport à 1964 et que, pour cette même période, le taux d'égouttement est passé de 68,1 % en 1964 à 71,8 % en 1965. Par conséquent, on peut dire qu'à une augmentation du nombre d'averses de ce type, correspondent une élévation du taux d'égouttement de 3,7 % et un apport d'eau supplémentaire au sol de 116 mm.

Cette augmentation du taux d'égouttement n'est pas considérable en regard d'un nombre d'averses supérieur de 24 unités et d'un supplément de précipitations de 150,4 mm obtenus en 1965. Cela paraît indiquer que, durant la phénophase feuillée, le montant de l'évaporation ne varie guère d'une averse à l'autre. C'est notamment la conclusion à laquelle arrive SLATYER, R. O. (1965) qui, dans le cas de *Acacia neura*, a mis en évidence une valeur constante d'interception (1,5 à 2,5 mm) en quelque sorte indépendante de la lame d'eau tombée par averse.

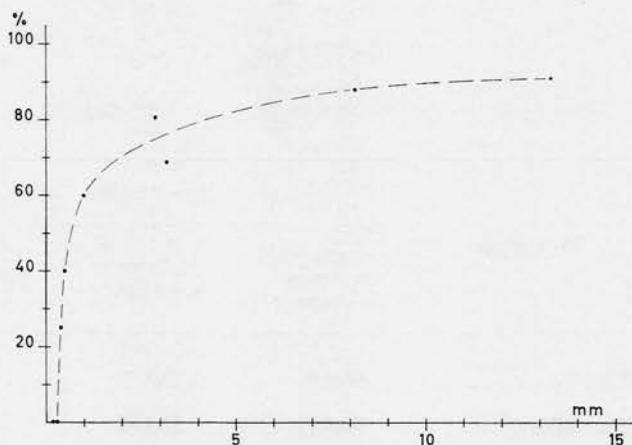


Fig. 2. — Variation du taux d'égouttement en fonction de la lame d'eau tombée par averse.

## 2. — Variabilité des mesures.

Etant donné la multiplicité des facteurs qui affectent les valeurs d'égouttement (surface des biomasses, cotes pluviométriques, nombre et importance des averses, nature du couvert, température des surfaces et de l'air, dépôts de brouillard, déficit de saturation, etc...), on doit s'attendre à une variabilité élevée des données entre les divers pluviomètres répartis sous le couvert forestier. Celle-ci apparaît d'ailleurs d'une façon évidente quand on examine l'ensemble des mesures hebdomadaires réalisées tout au long d'une année. Elle est fortement influencée par le comportement particulier de certains pluviomètres qui recueillent, dans des conditions bien définies, des quantités d'eau tantôt supérieures, tantôt inférieures à celles récoltées dans chacun des autres appareils.

On observe par exemple, qu'un pluviomètre disposé à la faveur d'une petite ouverture entre les couronnes, donne en phénophase feuillée, des quantités d'eau presque toujours supérieures à celles obtenues dans chacun des autres collecteurs. Ce fait s'explique aisément si l'on assimile la surface extérieure des cimes à une toiture où chaque feuille représenterait un élément de couvert sur lequel glisseraient progressivement les gouttes d'eau jusqu'à la périphérie des couronnes. En pareille circonstance, il est fréquent d'obtenir un égouttement supérieur à la précipitation. En phénophase défeuillée, le phénomène est fortement atténué et peut dans certains cas être inversé suivant, semble-t-il, la fréquence des brouillards ou du givre survenus au cours de cette période. Les données du tableau 9 confirment entièrement ces observations.

On peut constater également que le fait pour un pluviomètre de se trouver à la verticale d'une grosse branche ou d'un réseau de branches moyennes, constitue une autre source de variabilité. C'est le cas notamment d'un

TABLEAU 9.

Sources de variabilité dans la mesure de l'égouttement.

Année	Phénophase	Egouttement		
		Sous une petite ouverture du couvert	Moyen sous forêt	Différence
1965	Feuillée ... ..	94,4 %	73,3 %	+ 21,1 %
	Défeuillée ... ..	78,0 %	81,2 %	- 3,2 %
1964	Feuillée ... ..	97,2 %	74,4 %	+ 22,8 %
	Défeuillée ... ..	73,0 %	72,4 %	+ 0,6 %
1965	Défeuillée ... .. (période de brouillard)	77,2 %	83,7 %	- 6,5 % (1)
1965	Défeuillée ... .. (période de givre)	87,9 %	125,3 %	- 37,4 % (2)

(1) Moyenne de 9 observations.

(2) Moyenne de 2 observations.

appareil placé sous hêtre qui, tout au long de la phénophase défeuillée, recueille systématiquement plus d'eau que chacun des trois autres collecteurs répartis sous le couvert de même essence, ce qui n'est plus vrai après la feuillaison. Une observation du même genre a été notée sous chêne, principalement au cours des journées pluvieuses d'arrière-saison lorsque le rhytidome des branches bien saturé d'eau, favorise l'écoulement le long de ces organes jusqu'à des points d'égouttement accidentels.

### 3. — Précision des résultats et validité de la méthode.

Comme l'égouttement constitue un poste important du bilan hydrique en forêt, il paraît raisonnable de tester la validité de la méthode en estimant statistiquement la précision des résultats. A cet effet, nous avons calculé, pour des périodes déterminées, le coefficient de variation ou de

variabilité « V ». Ce paramètre représente l'expression mathématique de la variabilité relative; il est défini par la relation suivante :

$$V = \frac{100 s}{\bar{x}} \%$$

dans laquelle  $s$  = écart-type ou écart quadratique moyen ou déviation standard.

$\bar{x}$  = moyenne.

A l'aide des valeurs de « V » et de « n », l'abaque à points alignés qui définit la relation entre le nombre de mesure « n », le coefficient de variation « V » et l'erreur relative maximum « dr » pour un degré de confiance de 95 %, nous a permis d'estimer cette précision pour des sommes mensuelles, saisonnières et annuelles d'égouttement (tableau 10).

TABLEAU 10.

Précision des mesures d'égouttement et évaluation du nombre de pluviomètres à installer pour atteindre une précision inférieure à 5 % au niveau 0,05.

Période de mesure	Précision des mesures		Taux d'égouttement corrigés	Nombre de pluviomètres à installer pour obtenir une précision < 5 % au niveau 0,05
	en % de la moyenne	en mm		
Janvier 1965 ...	6,33	6,05	74,2 % ± 4,7 %	26
Février ... ..	5,06	1,38	94,0 % ± 4,9 %	17
Mars ... ..	7,25	3,28	75,2 % ± 5,5 %	34
Avril ... ..	5,42	4,59	84,5 % ± 4,6 %	19
Mai ... ..	4,86	3,91	74,0 % ± 3,6 %	16
Juin ... ..	6,49	4,08	71,3 % ± 4,7 %	27
Juillet ... ..	6,49	4,91	69,8 % ± 4,5 %	27
Août ... ..	7,32	5,59	71,7 % ± 5,5 %	34
Septembre ...	7,55	3,57	72,1 % ± 5,4 %	35
Octobre ... ..	8,31	1,77	81,7 % ± 6,9 %	42
Novembre ...	5,79	5,78	82,9 % ± 4,7 %	22
Décembre ... ..	5,78	9,96	79,7 % ± 4,5 %	22
Année 1965 ...	4,80	42,60	76,8 % ± 3,7 %	14
Phénophases :				
Feuillée ...	6,20	22,50	72,7 % ± 4,5 %	22
Défeuillée ...	5,40	28,30	80,1 % ± 4,3 %	18

Ce qui signifie, par exemple pour la phénophase feuillée, qu'au niveau 0,05 on n'a pas commis d'erreur supérieure à 22,5 mm pour une somme d'égouttement de 363,7 mm ou, en d'autres termes, que le taux d'égouttement pourra varier, au niveau considéré, entre l'intervalle 68,3 et 77,3 %.

Si l'on se fixe au départ une marge d'erreur à ne pas dépasser, par exemple 5 %, on constate d'après les données du tableau 10, qu'un effectif de 15 pluviomètres nous a permis d'obtenir en 1965 un égouttement annuel satisfaisant. Par contre, si l'on désire calculer des égouttements pour des périodes plus courtes, comme une phénophase, un mois ou même une semaine, on se rend compte que l'erreur maximum admissible est rapidement dépassée et qu'elle l'est d'autant plus que la période est courte, que l'on travaille en phase chlorophyllienne ou à partir de valeurs d'égouttement issues de précipitations faibles ( $\leq 1,0$  mm) ou de grêle, de givre et de neige. Pour réduire cette erreur dans des limites plus acceptables, il est indispensable de multiplier les points de mesure. Autrement dit, combien de pluviomètres faudrait-il installer dans ces conditions ?

La réponse nous est fournie soit graphiquement à l'aide de l'abaque à points alignés, soit par le calcul à partir de la relation :

$$n = \frac{4 V^2}{d^2 r}$$

De toutes les valeurs de  $n$  ainsi obtenues, on peut en déduire qu'au niveau de la phénophase, on ne peut descendre dans notre forêt et sur la base des données de 1965, en-dessous de 22 appareils pour un intervalle de confiance de 95 %. Ce contingent est de l'ordre de 35 à 40 unités si l'on passe à l'étude mensuelle de l'égouttement, mais il reste encore très insuffisant si l'on désire obtenir des valeurs hebdomadaires avec une précision identique. En effet, il apparaît dans ces cas que  $n$  doit prendre des valeurs supérieures à 50 en période dénudée et à 70 en phase feuillée.

En conclusion, l'effectif de 15 pluviomètres porté actuellement à 41 unités dont 16 possèdent une ouverture de  $1/5$  de  $m^2$ , peut être considéré comme suffisant pour aborder raisonnablement l'étude de l'égouttement en tant que composante du bilan hydrique dans notre forêt de Virelles-Blai-mont.

#### c. — Eau d'écoulement.

Le dispositif instrumental mis en œuvre pour mesurer la quantité d'eau qui s'écoule le long des troncs ne fonctionne qu'à partir de 1966, les premiers résultats feront l'objet d'une note subséquente.

#### d. — Eau d'interception — Evaporation.

Comme l'écoulement n'a pas été mesuré au cours de ces deux années de recherches et que ce poste représente, à première vue, une fraction hydrique

non négligeable, surtout pendant la période de repos de la végétation, il ne nous est pas encore possible d'établir avec exactitude un bilan complet de l'eau dans notre forêt de Virelles-Blaimont. Néanmoins, nous avons réservé à titre indicatif, une colonne du tableau 3 pour les valeurs périodiques du taux d'interception calculé sans tenir compte de l'écoulement. Précisons encore que ces valeurs sont supérieures aux taux réels.

#### RESUME ET CONCLUSIONS.

La première partie du présent travail traite des généralités sur la nature et le comportement de l'eau atmosphérique au niveau des biomasses forestières. Les différentes voies de pénétration de l'eau à travers l'étage du rayonnement, l'équation du bilan hydrique en forêt, les modifications physiques et chimiques des eaux météoriques au contact des biomasses, les facteurs influençant l'interception et les valeurs du taux d'égouttement extraites de la littérature pour quelques essences feuillues des régions tempérées en constituent les principaux paragraphes.

La seconde partie est essentiellement consacrée à l'étude proprement dite de l'égouttement dans une jeune futaie mélangée à base de chêne pédonculé (12,6 %), de hêtre (6,5 %), de charme (74,3 %) et d'autres feuillus secondaires (6,6 %). L'égouttement est mesuré chaque semaine dans 19 pluviomètres répartis sous le couvert des différentes essences et la précipitation incidente, dans 3 pluviomètres et un pluviographe installés dans des stations de prairie à proximité de la forêt.

Les principaux résultats de cette expérience peuvent se résumer comme suit :

1. — Les précipitations se sont élevées à 694,0 mm en 1964 (année sèche) et à 1195,5 mm en 1965 (année humide).

2. — Dans la chênaie mélangée dont les surfaces totales des biomasses en contact avec l'air s'élèvent à environ 11,0 ha par ha de terrain en période feuillée, le taux d'égouttement annuel moyen atteint 74,3 %; il varie avec le montant des précipitations (69,9 % en année sèche et 77,0 % en année humide), avec les phénophases (70,1 % en phase chlorophyllienne et 77,8 % en période défeuillée). Le taux d'égouttement en période feuillée est de 7,0 à 7,3 % moindre qu'en phase dénudée.

3. — Le taux d'égouttement varie également avec les espèces constituant le peuplement : 82,5 % sous chêne pédonculé, 80,3 % sous hêtre, 65,5 % sous charme (année 1965). On émet l'hypothèse que les quantités d'eau de précipitation reçues par les surfaces hémisphériques en saillie développées par les chênes et les hêtres peuvent être supérieures à celles qui sont recueillies sur une surface horizontale. Cela serait de nature à justifier les différences importantes entre les valeurs relatives de l'égouttement sous les diverses espèces. L'alimentation du sol en eau est donc variable d'un point à l'autre.

4. — Le taux d'égouttement varie avec l'épaisseur de la lame d'eau tombée par averse en phénophase feuillée; il débute pour des valeurs de précipitation de l'ordre de 0,5 mm, s'accroît très rapidement pour des averses allant jusqu'à 3 mm ( $\pm 75\%$ ) puis tend à se stabiliser assez vite au-delà de cette cote.

5. — Les dépôts de brouillard et de brouillard givrant qui contribuent très faiblement à l'approvisionnement en eau atmosphérique de notre forêt, donnent des taux d'égouttement supérieurs à la réception en terrain non boisé; les plus élevés ont été enregistrés sous hêtre (600 % des valeurs hors forêt). La forêt, avec ses surfaces de réception bien développées sur 6 à 21 m, capte donc plus d'eau de brouillard que la pelouse.

6. — La surface de mouillage en période feuillée et dans les conditions optimales d'humectation, est provisoirement estimée à 5,5 ha; la lame d'eau moyenne évaporée par averse ou séries d'averses successives est évaluée à 0,75 mm pour les périodes feuillées de 1964, 1965 et ne tient pas compte de l'eau d'écoulement.

7. — Sur la base d'une comparaison portant sur le nombre d'averses et la hauteur moyenne de leur lame d'eau pour les années 1964 et 1965, il semble bien que, durant la période feuillée, le montant de l'évaporation ne varie guère d'une averse à l'autre. L'interception tendrait vers une valeur constante pour les averses supérieures à 3,0 mm. L'interception totale absolue de la forêt varierait donc plus selon le nombre d'averses que selon leur intensité.

8. — Pour obtenir des taux d'égouttement avec une erreur maximum n'excédant pas 5 %, on a calculé qu'il faudrait installer dans notre forêt un total d'environ 40 pluviomètres pour des sommes mensuelles d'égouttement, que ce nombre pourrait être ramené à 22 si l'on travaille au niveau de la phénophase et à 14 si l'on est uniquement intéressé par les taux annuels; par contre, pour des sommes hebdomadaires d'égouttement, il ne devrait pas descendre en-dessous de 70 unités.

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

#### BIBLIOGRAPHIE.

BEALL, H. W.

1934. *The penetration of rainfall through hardwood and softwood forest canopy.* (Ecology 15, pp. 412-415.)

BODEUX, A.

1954. *Recherches écologiques sur le bilan d'eau sous la forêt et la lande de Haute-Campine.* (Agricultura, Volume II, 2<sup>e</sup> série, n<sup>o</sup> 1.)

BURGER, H.

1929-1947. *Holz, Blattmenge und Zuwachs.* (Mitteilung der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen: Die Weymouthsföhre; Die Douglaise;

- Föhren und Fichten verschiedener Herkunft; Ein 80-jähriger Buchenbestand; Die Eiche.)
1931. *Meteorologische Beobachtungen im Freien und einem Buchenbestand.* (Mitt. d. Schweiz. Centralanst. f. d. forstl. Vers. Wesen., 17.)
1933. *Meteorologische Beobachtungen im Freien im einem Buchen- und einem Fichtenbestand.* (Mitt. d. Schweiz. Centralanst. f. d. forstl. Vers. Wesen., 18.)
- DAGNELIE, P.
1964. *Cours de statistique mathématique (texte provisoire).* (Institut Agronomique de l'Etat, Gembloux.)
- DALEBROUX, R.
1964. *Contribution à l'étude du bilan d'eau en rapport avec la végétation.* (Mémoire présenté pour l'obtention du grade légal de licencié en sciences botaniques, U. L. B.)
- DAVIS, W. E.
1939. *Measurements of precipitations above forest canopies.* (Journal of Forestry, 37 : n° 4.)
- DENAYER-DE SMET, S.
1962. *Contribution à l'étude du pluviolessivage du couvert forestier.* (Bull. Soc. Roy. de Botanique de Belgique, t. 94, pp. 285-308.)
- EIDMANN, F. E.
1959. *Die Interception in Buchen- und Fichtenbeständen.* (Ergebnis mehrjähriger Untersuchungen im Rothaargebirge, Sauerland, Publ. 48 des Ass. Internat.)
- GALOUX, A.
1963. *Budgets et bilans dans l'écosystème forêt.* (Lejeunia, Nouvelle série, n° 21.)
1953. *La chênaie sessiliflore de Haute-Campine. Essai de biosociologie.* (Station de Recherches de Groenendaal, travaux série A, n° 8.)
- GEIGER, R.
1961. *Das Klima der bodennaken Luftschicht.* (II Auff. Viemeg.)
1961. *Guide des Instruments et des Observations Météorologiques.* (Deuxième édition, Secrétariat de l'Organisation Météorologique Mondiale, Genève, Suisse.)
- KITTREDGE, J., LOUGHEAD, H. J. & MAZUKAK, A.
1941. *Interception and stemflow in a pine plantation.* (Journal Forestry, 39 pp. 505-522.)
- MITCHELL, J. A.
1930. *Interception of rainfall by the forest.* (Journal Forestry, 28, pp. 101-102.)
- NOIRFALISE, A.
1959. *Sur l'interception de la pluie par le couvert dans quelques forêts belges.* (Bull. Soc. Roy. For. de Belgique, 66<sup>e</sup> année, n° 10.)
- OVINGTON, J. D.
1954. *A comparison of rainfall in different woodland.* (Forestry, 27, pp. 41-53.)
- REYNOLDS, E. R. C. & LEYTON, L.
1961. *Measurement and significance of throughfall in forest stands. The water relations of plants.* (Edited by A. J. RUTTER and F. H. WHITEHEAD-BLACKWELL, Oxford, pp. 125-141.)
- RINGOET, A.
1952. *Recherches sur la transpiration et le bilan d'eau de quelques plantes tropicales.* (I. N. E. A. C., série scientifique, n° 56.)
- SLAVIK, B.
1965. *Rain. interception in deciduous forest.* (Méthodologie de l'écophysiologie végétale. Colloque de Montpellier, U. N. E. S. C. O., pp. 193-199.)
- SLATYER, B. O.
1965. *Measurements of precipitation, interception by an arid zone plant community (Acacia Aneura F. Mjell).* (Méthodologie de l'écophysiologie végétale. Colloque de Montpellier, U. N. E. S. C. O., pp. 181-192.)

WICHT, C. L.

1941. *An approche to the study of rainfall interception by forest canopies.* (Journal of the South African Forestry Association, n° 4, April and October.)

WOOD, O. M.

1937. *The interception of precipitation in a Oak Pine forst.* (Ecology, 18, n° 2.)