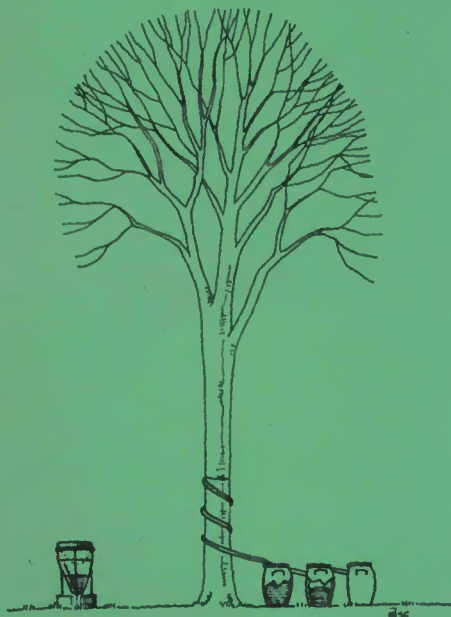


Bulletin technique

N° 30 - Décembre 1995



Office National des Forêts

OFFICE NATIONAL DES FORETS

BULLETIN TECHNIQUE N° 30 - Décembre 1995

ERRATA

Page 68 - Tableau 1 : au lieu de "réflexion", lire
"réfection".

Page 69 - Colonne de gauche, 27e ligne : au lieu de
"photo 3, p.6" , lire "photo 3, p.70".

3

Interception des pluies en forêt : facteurs déterminants. Interprétation des mesures réalisées dans le sous-réseau CATAENAT ⁽¹⁾ de RENECOFOR ⁽²⁾

E. Ulrich, N. Lelong, M. Lanier, A. Schneider

ONF, Département des Recherches Techniques
Boulevard de Constance - 77300 FONTAINEBLEAU

Résumé : Cette étude, réalisée à partir des données du réseau CATAENAT, expose de manière synthétique les facteurs conduisant à la réduction ou l'augmentation de la pluviosité en forêt, comparée à celle en plein champ : l'évaporation directe à partir du houppier, l'influence de l'essence et de la capacité de saturation de son feuillage, le degré de défoliation, le ruissellement le long des troncs, la densité du peuplement, l'âge du peuplement, la distance du tronc des arbres et la distribution spatiale, le type de précipitation, la fréquence du brouillard, et la saison. Selon l'importance de ces facteurs, la pluviosité en forêt peut varier entre 50 % et 90 % par rapport au plein champ. Le ruissellement le long du tronc des arbres peut représenter selon l'essence entre 8 et environ 30 % de la pluviosité en forêt. C'est notamment le cas dans les hêtraies et surtout celles d'altitude se trouvant souvent dans des bases de nuage.

Mots clés : précipitation, pluie en forêt, interception, hydrologie forestière

Specificities of rainfall under forest, assessed from the RENECOFOR network.

Summary : This study, made with data from the CATAENAT-network, presents in a synthetic way the different factors which contribute to in- or decrease throughfall precipitation under forest canopies, compared to precipitation out in the open : direct evaporation from the canopy, the influence of the tree species and the retention capacity of its foliage, the degree of defoliation, stemflow, tree density, the age of the stand, the distance from the trunc and spatial distribution, the precipitation types, fog frequency and the season. Depending on the importance of each of these factors, throughfall can vary between 50 % and 90 % of precipitation out in the open. Stemflow can represent, depending on the species between 8 and approximately 30 of the throughfall. This is especially the case in beech forests and above all in those at higher altitudes, where fog frequency (cloud base) is high.

(1) Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique sur les Ecosystèmes Naturels Terrestres.

(2) Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers.

1

Introduction



Les forestiers sont quotidiennement confrontés au problème du besoin en eau des peuplements qu'ils gèrent, bien que dans la plupart des cas il ne puissent pas intervenir pour le satisfaire à long terme. La productivité en dépend et dans un bon nombre de typologies forestières l'humidité des sols est un critère essentiel (par exemple Franc, 1989 ; Brethes, 1993). A l'exception des peuplements installés sur des sols comportant des nappes d'eau superficielles, l'essentiel de l'eau en forêt vient des précipitations.

Toute la vie des arbres dépend de l'eau, car c'est elle qui est le moyen de transport des éléments minéraux à partir des racines vers le houppier et des produits de la photosynthèse à partir des houppiers vers les lieux de consommation, jusqu'aux racines. L'eau intervient également dans les réactions biochimiques.

Un certain nombre de forestiers mesurent la pluviosité quotidiennement dans leur jardin et développent avec les années une connaissance de la signification pour la forêt des quantités ainsi mesurées. Comme beaucoup de phénomènes naturels, la pluviosité en forêt peut être exprimée par des lois simples, qui dépendent toutefois de plusieurs facteurs. En les exposant ci-dessous nous essayerons, entre autres, de sensibiliser les forestiers aux possibilités d'interprétation de leurs mesures personnelles ou de celles annoncées par les médias.

Pour ce faire, nous avons utilisé les données récoltées dans le sous-réseau CATAENAT (Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique sur les Ecosystèmes Naturels Terrestres) intégré dans le réseau RENECOFOR (Ulrich, 1995) ⁽³⁾.

2

Objectifs de l'étude



Cette étude poursuit plusieurs objectifs :

1) connaître de manière générale de quelle façon la quantité de pluie sera modifiée par le couvert forestier, ce qui

(3) L'ensemble des mesures et études réalisées dans le réseau RENECOFOR sont financées à 50 % par l'Union Européenne, 27 % par l'ONF, environ 19 % par le FFN et environ 4 % par le Ministère de l'Environnement et l'ADEME.

peut être considéré comme un élargissement des connaissances acquises depuis plus d'un siècle (par exemple : Hoppe, 1896 ; Aussenac, 1968 et 1970) ;

2) calculer les fonctions mathématiques permettant de déterminer à partir d'une des deux variables (pluviosité hors couvert ou sous couvert forestier) celle qui manque ; dans le cadre de RENECOFOR, cela est surtout essentiel dans les cas où une des deux mesures a été oubliée, un des collecteurs a été renversé accidentellement ou vandalisé.

3) pouvoir prédire, à l'aide de fonctions mathématiques la rétention d'eau de pluie par les houppiers, afin d'établir des modèles du cycle de l'eau qui pourront être intégrés plus tard dans des modèles du fonctionnement biogéochimique des peuplements étudiés.

3

Matériel et méthodes



Les mesures de la pluviosité analysées ont eu lieu de début janvier 1993 à fin décembre 1994 dans 27 stations. On a toujours installé des stations couples, une hors et une sous couvert forestier, à faible distance l'une de l'autre. Le détail des peuplements dans lesquels la pluie sous couvert a été étudiée peut être consulté dans l'annexe 1. Il s'agit de 5 chênaies pédonculées ou sessiles, 3 hêtraies, 4 pessières, 6 sapinières, 3 peuplements de pin sylvestre, 4 peuplements de pin maritime, un peuplement de pin laricio et un peuplement de douglas. Ces peuplements sont répartis sur l'ensemble du territoire français (Ulrich, 1995).

En plein champ, la pluviosité a été mesurée chaque semaine à l'aide d'un pluviomètre à lecture directe (type SPIEA, norme METEO FRANCE). En hiver, dans les régions recevant des chutes de neige importantes, ce pluviomètre a été remplacé :

- soit par des totalisateurs permettant la lecture directe en équivalent de mm d'eau de la quantité de neige tombée (fonte par de l'antigel, à l'intérieur des totalisateurs),
- soit par des collecteurs de neige ; dans ce cas, la neige récupérée doit être fondue et la quantité d'eau correspondante est rapportée à la surface de récolte.

Sous le couvert forestier, la pluviosité a été mesurée de 3 façons :

- pendant la saison clémente, avec 3 gouttières d'environ 2 m de long, ayant au total 0,85 m de surface

réceptrice ; la répartition des houppiers étant très inégale, la quantité d'eau arrivant au sol varie beaucoup en fonction de l'emplacement (voir chapitre 5.8.). L'utilisation des gouttières, traçant des lignes, permet d'intégrer une surface plus grande et plus représentative ;

- en période hivernale, dans les régions recevant fréquemment des chutes de neige avec soit 6 totalisateurs, soit 4 collecteurs de neige ;
- le ruissellement le long des troncs, à l'aide de petites gouttières en mousse dense de polyéthylène, collées sur le tronc de deux arbres dominants dans 3 peuplements de hêtres et un peuplement de sapin pectiné, situés en haute altitude ; l'équivalent en mm est calculé en utilisant le rapport de la surface terrière des arbres échantillonnés à la surface terrière du peuplement à l'hectare.

Pour plus de détails sur le matériel et les méthodes consulter Ulrich et Lanier (1993).

4

Caractéristiques générales de la pluviosité en plein champ

D'une façon générale, on remarque que les pluies amenant une faible quantité d'eau sont plus fréquentes que les pluies plus importantes (fig. 1), et cela indépendamment de la situation géographique. Par contre, la quantité mensuelle et annuelle de pluie tombée est fonction de la situation géographique et de l'altitude. Suivant les régions, on observera des variations saisonnières plus ou moins marquées. Dans la même région les pluies tombées en haute altitude sont dans la plupart des cas plus importantes qu'en basse altitude.

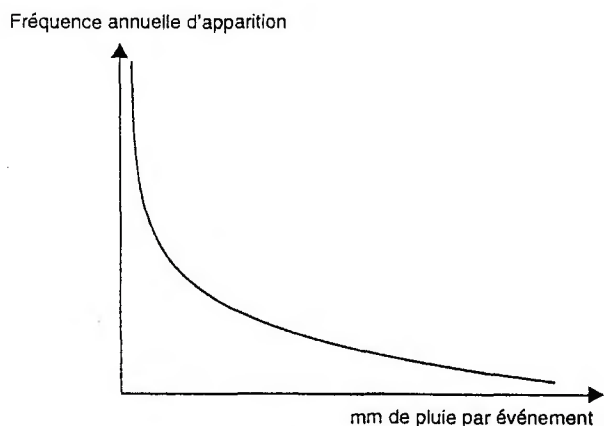


Figure 1 : Fréquence annuelle des précipitations en fonction de leur quantité (source : Ulrich et Williot, 1993).

La fréquence des chutes de neige et du brouillard dépend également de la situation géographique et de l'altitude. Selon la région la majorité des précipitations annuelles peut être apportée soit par des orages, soit par des pluies de longue durée, ce qui influence beaucoup l'effet que ces pluies peuvent avoir sur la végétation.

De plus, les caractéristiques locales de la pluviosité mensuelle et annuelle peuvent changer considérablement d'une année sur l'autre. Prenant cela en compte, il est évident que les météorologues ont besoin de s'appuyer sur des séries de mesures d'au moins 30 ans pour bien caractériser une région donnée. Toutefois, il existe un risque que ces caractéristiques ne restent pas les mêmes dans l'avenir, avec un éventuel changement du climat, du à une possible augmentation de l'effet de serre (Irwin et al., 1990).

5

Facteurs influençant la pluviosité sous le couvert forestier

Avant d'atteindre le sol, la pluie, la neige ou le brouillard doivent traverser les houppiers des arbres. C'est lors de cette traversée qu'une modification de la quantité des précipitations a lieu. Celle-ci dépend de plusieurs facteurs, dont il faut tenir compte dans l'interprétation des différences observées dans des peuplements d'essence et d'âge comparables, mais géographiquement distants.

En général et à l'exception de sites soumis à des brouillards fréquents, la quantité d'eau atteignant le sol forestier est inférieure à la quantité d'eau reçue en plein champ. Cette diminution suit, sur la base de mesures hebdomadaires, une fonction linéaire statistiquement très significative (voir fonctions linéaires en annexe 2). La relation entre ces deux variables est illustrée par la figure 2 (p 4) pour un peuplement de douglas dans le Morvan et un peuplement d'épicéa dans les Ardennes. Les facteurs provoquant cette diminution sont exposés ci-dessous.

5.1. INFLUENCE DU PEUPEMENT LUI-MÊME

5.1.1. L'évaporation directe à partir des houppiers

Dès la chute des premières gouttes, il y a évaporation directe à partir des houppiers. Cette évaporation dépend

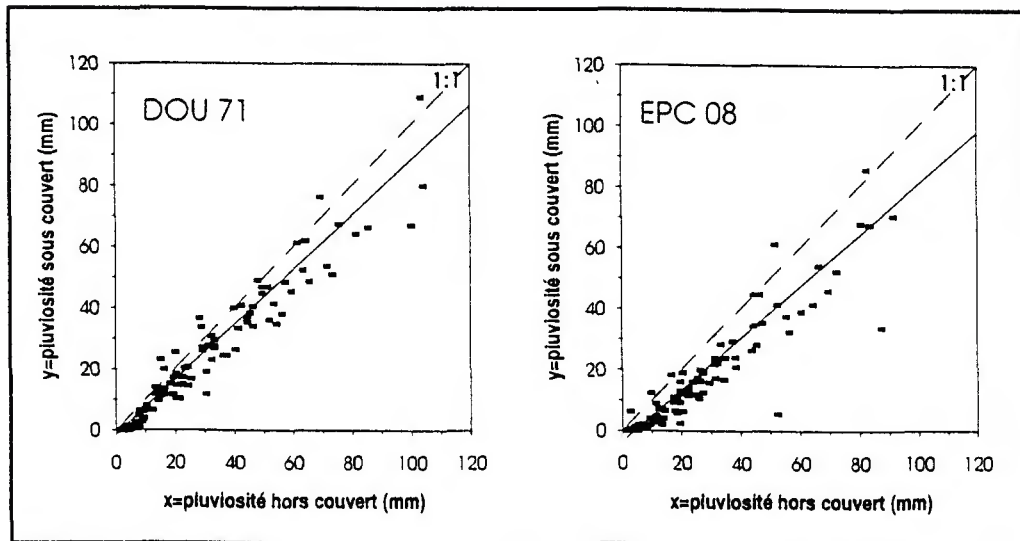


Figure 2 : Relation entre la pluviométrie hebdomadaire en plein champ et sous le couvert forestier, mesurée durant deux années entières dans un peuplement de douglas dans le Morvan (DOU 71) et un peuplement d'épicéa dans les Ardennes (EPC 08). Les détails sur les droites de régressions peuvent être consultés dans l'annexe.

de l'humidité initiale des surfaces réceptrices (feuillage, branches etc... ; Nizinski et Saugier, 1988), de la température ambiante de l'air, de la température de la biomasse végétale et de l'humidité relative de l'air, c'est-à-dire de son déficit en vapeur d'eau et de la vitesse du vent.

5.1.2. L'essence forestière et la capacité de saturation de son feuillage

La surface foliaire et la persistance du feuillage en hiver sont les facteurs les plus importants pour les différences entre les essences (Aussenac, 1975). Les principales essences forestières françaises ont une surface foliaire généralement comprises entre 3 et 10 m² par m² du sol (par exemple Bréda, 1994). Cela correspond à une grande augmentation de la surface réceptrice par rapport au sol nu. Les résineux à feuillage dense et conservant longtemps leurs aiguilles (4 à 8 ans pour l'épicéa, le sapin et le douglas) interceptent plus de pluie (par rétention et évaporation dans le houppier) que les arbres à aiguilles de moindre longévité (1 à 3 ans pour le pin maritime, le pin sylvestre et le pin laricio). La capacité de saturation maximale de la surface des houppiers en eau peut varier de 1,5 à 20 mm de pluie interceptée par événement pluvieux, selon l'essence, l'humidité initiale de son feuillage, la durée de l'événement et la quantité (Hoppe, 1896, Aussenac, 1968, Cepel, 1967,...). Le tableau 1 fait bien ressortir les différences entre espèces au niveau annuel.

5.1.3. Le degré de défoliation des arbres

La défoliation d'un peuplement correspond à une diminution de la surface réceptrice. Par conséquent, un pourcentage de défoliation croissant entraîne une augmentation

de la pluviométrie en forêt comparé à un peuplement non défolié. La perte du feuillage généralisée sur un grand massif forestier change donc de manière significative le cycle de l'eau de ces écosystèmes.

5.1.4. Le ruissellement de l'eau le long des troncs

En forêt tempérée, la part du ruissellement le long des troncs peut varier de presque zéro à plus de 30 % de la pluviométrie en forêt. Cela dépend :

- de l'essence et de son architecture : les arbres ayant leurs branches dirigées vers le haut ont plus de ruissellement que ceux avec des branches horizontales ou pendantes ;
- de la morphologie de l'écorce : une écorce lisse permettra un plus grand écoulement qu'une écorce irrégulière.

Tableau 1 : Interception pendant la période de végétation (moyennes de 1993 et 1994) des essences représentées dans le sous-réseau CATAENAT

Essence	Moyenne de l'interception en période de végétation (%)		Nombre de peuplements
	1993	1994	
Chênes	28	30	5
Hêtre	29	25	3
Pins	30	33	8
Epicéas et douglas	39	41	5
Sapin	42	41	6

- de la quantité d'eau qui tombe par événement et par an. Plus la quantité d'eau par événement pluvieux est importante, plus l'ensemble de l'arbre sera humecté, ce qui favorise l'écoulement. Dans un peuplement de chêne sessile en Hongrie, par exemple, le ruissellement ne commençait qu'à partir de 5,5 mm de pluie (Szabo, 1975). Dans les 3 hêtraies de notre étude, l'écoulement commence pendant la période de végétation à partir de 4 à 8 mm et dans la sapinière à partir de 11 mm de pluie en plein champ. En période hivernale, on peut observer de l'écoulement sans qu'il y ait pluie (effet du brouillard, voir chapitre 5.2.3.).
- du diamètre des arbres (Aussenac, 1970). La quantité augmente considérablement avec celui-ci.

De plus, des événements pluvieux fréquents empêchent également les troncs des arbres de sécher entièrement et favorisent ainsi l'écoulement dès le début des pluies.

La comparaison des 3 hêtraies avec une sapinière est présentée dans la figure 3. On constate d'abord une diffé-

rence nette entre les deux hêtraies de basse altitude et celle du Mont Aigoual. Cette dernière est située à 1400 m d'altitude. Les peuplements de plaine se distinguent aussi bien au niveau de leur pluviosité annuelle de celle du Mont Aigoual (en plein champ en 1993 et 1994 : 2401 et 2921 mm contre 828 à 1528 mm en plaine) qu'au niveau de la fréquence et du type de brouillard. Le nombre total annuel est avec environ 200 jours au Mont Aigoual un des plus importants en France métropolitaine. En comparaison, la sapinière dans le Pays de Sault ne montre qu'une faible quantité d'eau ruisselée le long des troncs.

La comparaison de la période estivale avec la période hivernale fait apparaître un grand changement seulement pour le Mont Aigoual (fig. 3). Celui-ci est provoqué par la fréquence importante du brouillard (voir chapitre 5.2.2.) : la pluviosité hors couvert est très mal corrélée avec celle en forêt ($r = 0,2$; voir annexe), les brouillards pouvant provoquer un ruissellement important sans qu'il y ait précipitation en plein champ.

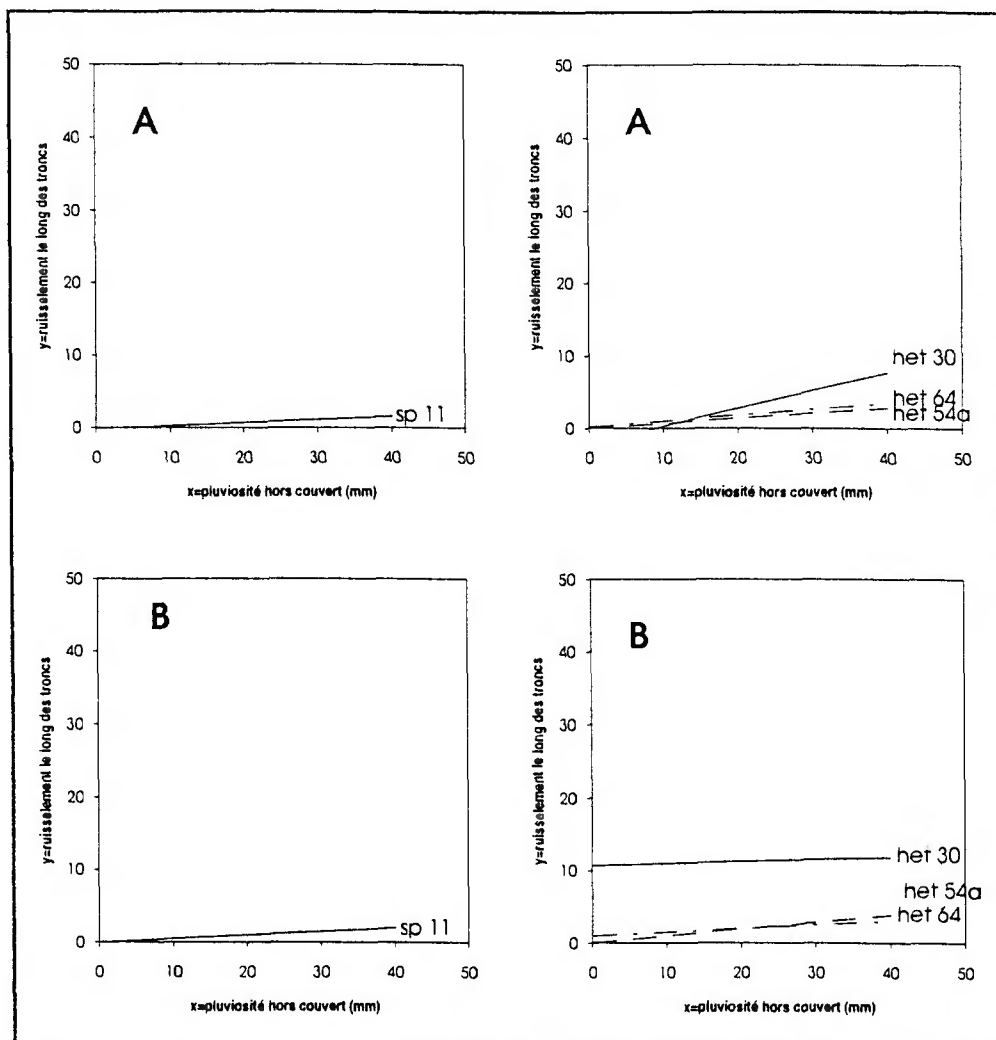


Figure 3 : Comparaison de la relation entre la pluviosité en plein champ et le ruissellement le long des troncs entre la période de végétation (A) et la période hivernale (B) dans 3 hêtraies (HET 30, HET 54a et HET 64) et une sapinière (SP 11).

Tableau 2 : Précipitation sous le couvert forestier comparée à celle en plein champ. De plus, la part du ruissellement d'eau de pluie le long des troncs des arbres est exprimée en % de la pluviosité annuelle en plein champ. L'explication des codes des essences est donnée en annexe

Essence	Age (an)	Précipitation annuelle (mm)		% Sous couvert du plein champ	Dont la part du ruissellement	Source
		en plein champ	Sous le couvert forestier			
Chêne sessile	65	595	457	76,8	2,5	Szabo (1975)
CHS 41	95	742	539	72	—	cette étude
CHS 35	100	916	650	71	—	cette étude
	120	838	592	70,6	0,6	Nizinski et Saugier (1988)
Chêne pédonculé	—	378 (1)	285	75,5	—	Nagy (1974)
CHP 40	45—50	1 107	805	72,5	—	cette étude
CHP	60—65	886	746	84	—	cette étude
Hêtre	30	724	601	83,1	7,1	Aussenac (1968)
	50	1 045	864	82,6	15,5	Cepel (1967)
fourré—gaulis	10—30	826	547	66,2	—	Forgeard et al. (1980)
gaulis	30	554	372	67,1	—	Lemée (1974)
bas et haut perchis	40—60	826	672	81,4	—	Forgeard et al. (1980)
HET 64	50	1 528	1 004	65,7	9,4	cette étude
futie jeune	50—90	524	364	69,4	—	Lemée (1974)
HET 54	90	943	645	79	7,9	cette étude
HET 30	80—100	2 921	2 618	89,6	27,1	cette étude
futaie	70—140	826	572	69,3	—	Forgeard et al. (1980)
futaie âgée	200	524	389	74,2	—	Lemée (1974)
Pin sylvestre	20	826	406	49,2	—	Forgeard et al. (1980)
	28	816	565	69,2	1,6	Aussenac (1968)
PS 76	42	1 061	703	66,5	—	cette étude
PS 44	48—58	930	576	62,5	—	cette étude
PS 67	70	808	520	64,5	—	cette étude
Pin maritime						
PM 40c	13	985	718	72,9	—	cette étude
PM 85	20	847	540	63,8	—	cette étude
PM 72	25	928	701	75,5	—	cette étude
PM 17	30	949	652	68,7	—	cette étude
Pin laricio	20	826	410	49,6	—	Forgeard et al. (1980)
PL 20	110—140	1 443	992	68,7	—	cette étude
Epicéa						
EPC 87	26	1 702	954	56,1	—	cette étude
	30	816	535	65,6	1,9	Aussenac (1968)
EPC 63	33	1 208	663	54,9	—	cette étude
	33	826	336	40,7	—	Forgeard et al. (1980)
EPC 08	37	1 418	1 014	71,5	—	cette étude
	50	2 130	1 534	72,0	3,0	Johnson (1990)
EPC 74	65	1 391	820	58,9	—	cette étude
Sapin						
SP 57	30—60	1 366	755	55,3	—	cette étude
SP 25	60—80	1 606	1 264	78,7	—	cette étude
SP 38	60—90	1 439	998	69,4	—	cette étude
SP 11	80	1 036	771	74,4	—	cette étude
SP 05		1 012	603	59,6	—	cette étude
Douglas	20	826	403	48,8	—	cette étude
	23	1 545	1 313	84,9	—	cette étude
	40	1 000	750	75,0	—	Ranger (1995)

(1) pendant la saison de végétation seulement

Le tableau 2 (p. 6) donne un aperçu de la part du ruissellement de la pluviosité annuelle sous le couvert forestier pour quelques essences forestières. On pourra comparer les données de plusieurs travaux de recherche sur l'hydrologie en forêt avec les valeurs de cette étude. Dans cette comparaison, la contribution la plus importante du ruissellement peut être observé chez le hêtre, avec notamment 27,1 % par rapport au plein champ et environ 30 % de la pluviosité en forêt dans la hêtraie du Mont Aigoual. Ce chiffre est encore un peu sous-estimé, à cause des problèmes de la récolte des grands volumes écoulés chaque semaine (assez souvent au-delà de 500 litres par semaine et par arbre, ayant un diamètre d'environ 35 cm). Dans les 4 peuplements du sous réseau CATAENAT, dans lesquels le ruissellement est mesuré, le volume écoulé par arbre en 1994 était de 900 à 16 000 litres. A titre de comparaison, Aussenac (1975) a mesuré dans des peuplements de sapin (*Abies grandis*), de pin sylvestre et d'épicéa en forêt domaniale d'Amance, près de Nancy, entre 76 et 164 litres écoulés par arbre et par an.

5.1.5. La densité du peuplement

Une plus forte densité d'arbres augmente la surface réceptrice potentielle et conduit ainsi en théorie à une plus forte interception (Aussenac, 1968), bien que cette relation ne soit pas toujours linéaire (Bréda, 1994). Dans des situations de stress hydrique régulier apparaissant dans des peuplements trop denses ou avec un feuillage trop épais, on peut donc augmenter l'apport d'eau au sol, par des éclaircies régulières. On évitera d'ouvrir trop le peuplement car on augmenterait ainsi l'évaporation à partir du sol (Aussenac et al., 1995).

5.1.6. L'âge des peuplements

Des changements multiples concernant la structure du peuplement peuvent intervenir avec l'âge (Aussenac, 1975). L'évolution de l'interception de la pluie suivra donc l'évolution de la surface foliaire du peuplement et de sa densité. Un critère à ne pas oublier est la capacité de croissance du houppier d'une essence après une éclaircie. Celle-ci est connue pour être maximale chez le hêtre et contribue ainsi à l'augmentation, aussi bien de l'interception que du ruissellement du tronc. Le tableau 2 donne plusieurs exemples pour la pluviosité en fonction de l'âge.

5.1.7. Variation spatiale de la pluviosité provoquée par les arbres

Une gouttelette d'eau de pluie peut suivre plusieurs chemins lors de sa traversée des houppiers. Si elle tombe proche de la pousse terminale elle traversera un houppier épais. La probabilité qu'elle reste accrochée dans le feuillage ou sur des branches est grande. A l'inverse une gouttelette qui tombe à la limite d'un houppier ou même dans une petite trouée entre deux houppiers a plus de chance d'atteindre directement le sol.

On observe donc en forêt une mosaïque de pluviosités locales très différentes. Pour les arbres avec un faible écoulement le long du tronc, on peut constater une variation de la pluviosité locale allant de moins de 40 % à 100 % de la pluviosité en plein champ, en partant du tronc vers les trouées. Si l'écoulement du tronc est important, la pluviosité à proximité immédiate du tronc peut atteindre plus de 120 % de celle hors couvert (Aussenac, 1970).

C'est à cause de cette grande hétérogénéité que l'on utilise souvent un grand nombre de collecteurs ou de gouttières, traçant des lignes, pour mieux estimer la pluviosité totale en forêt.

Les différences spatiales s'atténuent très rapidement lorsque la quantité de pluie par événement augmente (Hoppe, 1896 ; Aussenac, 1970). C'est à partir de l'instant où les houppiers se sont entièrement mouillés qu'ils ne retiennent plus l'eau.

5.2. PHÉNOMÈNES EXTERNES INFLUENÇANT LES MESURES

5.2.1. Le type de précipitation

Les arbres dont le feuillage est sec ont une grande capacité de rétention d'eau (ou d'interception) par leur houppier. Si les pluies arrivent plutôt par petites quantités, la proportion retenue dans les houppiers est bien plus grande par événement pluvieux que si elles arrivent par quantité importante (Aussenac, 1968).

5.2.2. La fréquence du brouillard

Le brouillard peut augmenter considérablement la pluviosité sous le couvert forestier, sans qu'aucune pluviosité en plein champ ne soit mesurée. C'est surtout le cas du brouillard des bases de nuage en montagne. Celui-ci se déplace avec une plus grande vitesse que des brouillards locaux. La quantité d'air, contenant des gouttelettes d'eau très fines en suspension, qui passe à un endroit donné, est ainsi très grande. Les arbres fonctionnent alors comme des filtres, sur lesquels se déposent ces gouttelettes. Ils provoquent non seulement une augmentation de l'égouttement à travers le houppier, mais surtout chez le hêtre, une augmentation importante du ruissellement le long du tronc (figure 3).

5.2.3. La saison

L'influence exercée par la saison est liée à celle du type de précipitation et à l'évaporation directe à partir des houppiers. En été, par exemple, la fréquence d'orages est plus

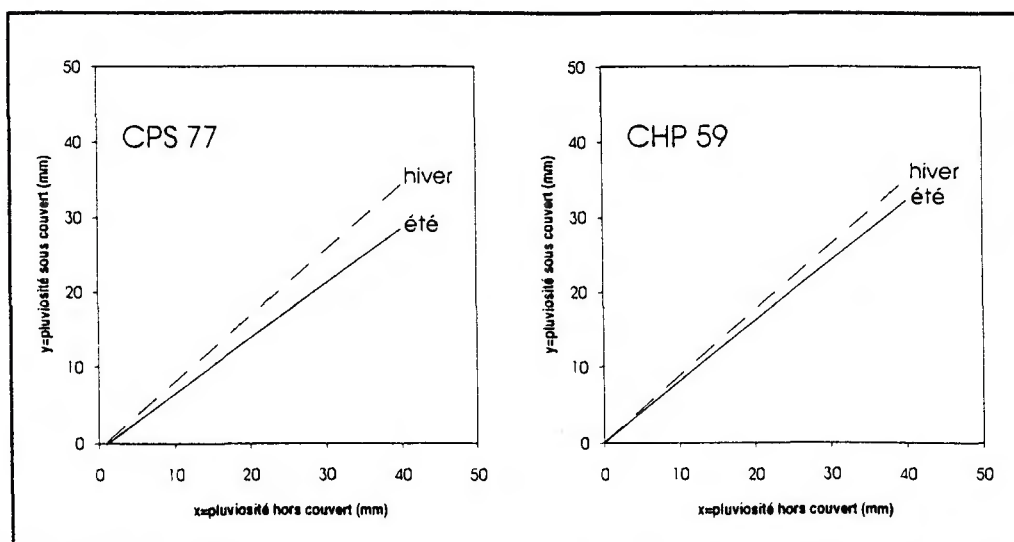


Figure 4 : Comparaison saisonnière des relations entre la pluviosité en plein champ et en forêt dans deux chênaies (CPS 77, CHP 59, détails voir annexe).

importante, apportant de grandes quantités de pluie en peu de temps. Il en résulte une plus faible rétention au niveau du houppier par rapport aux périodes de pluies de faibles intensités.

L'évaporation directe à partir du houppier est par contre plus importante en été. La présence ou non du feuillage joue également un rôle. Au total, l'interception par les houppiers est légèrement supérieure en été, comme le montre la figure 4.

Les précipitations arrivant sous forme de neige sont souvent plus importantes en forêt qu'en plein champ. Les cimes des arbres contribuent à la réduction de la vitesse du vent et favorisent le dépôt des flocons. Parfois on observe aussi une pluviosité différée dans le temps par rapport à la situation hors couvert, suite au stockage temporaire de la neige sur les houppiers.

6

Comparaison entre les sites étudiés

La seule récolte des pluviométriques sous le couvert forestier ne permet pas de distinguer individuellement chacun des facteurs cités ci-dessus. Elle intègre plutôt l'ensemble des influences et conduit ainsi à caractériser la pluviosité sous le couvert forestier pour chaque peuplement.

Il est intéressant de comparer ces résultats sur une base commune. Pour ce faire nous avons choisi les situations hors influence de neige, car un grand nombre de peuplements, notamment à l'Ouest de la France, ne reçoivent presque jamais de neige. Pour les feuillus nous n'avons retenu que la période de végétation, pour rendre la comparaison avec les résineux plus significative. Le résultat de cette comparaison, sur la base des fonctions linéaires (voir annexe), est présenté dans les figures 5 et 6. Pour rendre ces deux figures comparables, celle des feuillus est présentée pour la période de végétation (en feuillage) et pour les résineux hors influence de neige, car les peuplements feuillus se trouvent souvent en plaine.

Bien que le nombre de peuplements feuillus et résineux ne soit pas le même, on observe dans l'ensemble une tendance à une diminution des quantités de pluies hebdomadaires sous couvert plus importantes chez les résineux. Chez les résineux une hiérarchie de l'interception peut être observée : pin maritime < pin sylvestre < épicéa < sapin. Ceci confirme ce qui a été dit ci-dessus sur la capacité de saturation. Le fait que le peuplement de douglas (DOU 71) reçoive en proportion le maximum de pluie sous forêt parmi tous les résineux lors de pluies importantes exprime probablement l'effet d'une éclaircie réalisée en 1992 et en plus l'influence de l'entrée de précipitations des deux côtés des cloisonnements.

Chez les feuillus c'est de nouveau la hêtraie du Mont Aigoual (HET 30) qui reçoit en proportion le plus de pluie sous couvert pour une quantité donnée de précipitation en plein champ. A l'opposé, la hêtraie située dans les Pyrénées Atlantiques (HET 64) semble recevoir la moindre pluviosité à quantité de pluie égale hors couvert. Il semble qu'un effet d'exposition en soit à l'origine : la placette en forêt est sur un versant orienté Nord-Ouest

Remerciements

Nous remercions les responsables et suppléants des 27 peuplements étudiés pour leur motivation constante pour ces mesures de longue haleine, demandant un soin exceptionnel. Sans leurs mesures hebdomadaires durant deux années cette étude n'aurait pas vu le jour.

BIBLIOGRAPHIE

- AUSSENAC (G.), 1968 — Interception des précipitations par le couvert forestier. *Annales des Sciences Forestières*, 25, 3, 135—156.
- AUSSENAC (G.), 1970. — Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Annales des Sciences Forestières*, 27, 4, 383—399.
- AUSSENAC (G.), 1975. — Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences écophysiological chez quelques résineux. Thèse, Université de Nancy, 242 p.
- AUSSENAC (G.), GRANIER (A.), BREDA (N.), 1995. — Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, 47, 1, 54—62.
- BREDA (N.), 1994. — Analyse du fonctionnement hydrique des chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé (*Quercus robur*) en conditions naturelles ; effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie. Thèse, Université Henri Poincaré de Nancy I, 60 p. + annexes.
- BRETHES (A.), 1993. — Les types de stations forestières de l'Orléanais. O.N.F., Paris, 400 p.
- CEPEL (N.), 1967. — Interzeption (= Niederschlagsverdunstung im Kronenraum) in einem Buchen—, einem Eichen— und einem Kiefernbestand des Belgrader Waldes bei Istanbul. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 5, 86, 301—314.
- FORGEARD (F.), GLOAGUEN (J.C.), TOUFFET (J.), 1980. — Interception des précipitations et apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie et les pluviolessivats dans une hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. *Annales des Sciences Forestières*, 37, 1, 53—71.
- FRANC (A.), 1989. — Le Massif Central cristallin, analyse du milieu, choix des essences. « Etudes » du CEMA-GREF, série Forêt n° 2, 102 p.
- HOPPE (E.), 1896. — Regenmessung unter Baumkronen. *Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreich*, 21, 75 p.
- IRWIN (J.G.), CAMPBELL (G.W.), CAPE (J.N.), CLARK (P.A.), DAVIES (T.D.), DERWENT (R.G.), FISHER (B.E.A.), FOWLER (D.), KALLEND (A.S.), LONGHURST (J.W.S.), MARTIN (A.), SMITH (F.B.), WARRILOW (D.A.), 1990. — Acid deposition in the United Kingdom 1986—1988, third report of the United Kingdom Review Group on Acid Rain, 124 p.
- JOHNSON (R.C.), 1990. — The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K.. *Journal of Hydrology*, 118, 281—287.
- LEMEE (G.), 1974. — Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau, IV. Entrées d'éléments minéraux par les précipitations et transfert au sol par le pluviolessivage. *Oecologia Plantarum*, 9, 3, 187—200.
- NAGY (L.), 1974. — Data to the precipitation interception of a *Galatello—Quercetum Roboris* (forest steppe—forest) at Ujszentmargita. *Acta Botanica Academia Scientiarum Hungaricae*, 20, (3—4), 327—332.
- NIZINSI (J.), SAUGIER (B.), 1988. — Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes. *Acta Oecologia/Oecologia Plantarum*, 9, 3, 311—329.
- RANGER (J.), 1995. — Communication personnelle.
- SZABO (M.), 1975. — Net precipitation in a Hungarian oak forest ecosystem. *Acta Botanica Academia Scientiarum Hungaricae*, 21, (1—2), 151—165.
- ULRICH (E.), 1995. — Le réseau RENECOFOR : objectifs et réalisation. *Revue Forestière Française*, 47, 2, 107—124.
- ULRICH (E.), WILLIOT (B.), 1993 — Les dépôts atmosphériques en France de 1850 à 1990. ONF—ADEME (ISBN—2 904 384 48—0), 154 p.
- ULRICH (E.), LANIER (M.), 1993. — RENECOFOR, Manuel de référence n° 3 pour le fonctionnement du sous—réseau CATAENAT, deuxième version, ONF, Département des Recherches Techniques, 93 p.

Annexe 1 : Détail des 27 peuplements étudiés

Code du site (département) (1)	Forêt concernée (F.D. = forêt domaniale ; F.C. = forêt communale ; F.S. = forêt sectionale)	Le site de mesure se trouve à proximité de...	Hauteur dominante (m)	Age en 1991 (ans)	Altitude (m)	Densité (tiges/ha)
CHP (40)	F.C. de Gamarde	Souprosse	23	45-50	20	314 (4)
CHP (59)	F.D. de Mormal	Le Quesnoy	21	60-65	149	236 (214)
CPS (77)	F.D. de Fontainebleau	Fontainebleau	27	100	80	143 (306)
CHS (35)	F.D. de Rennes	Rennes	30	100	80	178 (194)
CHS (41)	F.D. de Blois	Blois	29	95	127	306 (146)
DOU (71)	F.D. d'Anost	Anost	17	23	650	1174 (48)
EPC (08)	F.D. de Château-Regnault	Haut-Rivières	20	37	480	631
EPC (63)	F.S. de Manson	Clermont Ferrand	18	33	950	1102 (45)
EPC (74)	F.D. de Voirons	St. Cergue	29	65	1200	502
EPC (87)	F.S. de Souffrangeas	Peyrat-le-Chateau	15	26	650	1200 (145)
HET (30)	F.D. de l'Aigoual	Mont Aigoual	19	80-100	1400	576
HET (54a)	F.D. de Hauts Bois	Azerailles	28	90	325	374 (56)
HET (64)	F.C. d'Ance	Oloron (Aramits)	26	50	400	599 (141)
PL (20)	F.D. d'Aitone	Evisa, Corse	38	110-140	1100	302
PM (17)	F.D. de Saumonards	St. Georges d'Oléron	10	30	15	1606
PM (40)	F.C. de la Losse	Losse	12	13	150	505
PM (72)	F.D. de Bercé	Marigne Laille	17	25	153	599 (12)
PM (85)	F.D. de Notre-Dame-de-Mont	Notre-Dame-de-Mont	13	20	5	658
PS (44)	F.D. du Gavre	Liffre	20	48-58	38	743 (2)
PS (67)	Indivise de Haguenau	Haguenau	23	70	175	388 (260)
PS (76)	F.D. de Brotonne	La Mailleray s/Seine	22	42	70	443 (2)
SP (05)	F.D. de Boscodon	Savine	27	—	1360	366 (59)
SP (11)	F.D. de Callong-Mirailles	Quillan	28	80	950	449 (8)
SP (25)	F.D. de Ban	Pontarlier	24	60-80	1000	442 (168)
SP (38)	F.D. de Saint-Hugon	Allevard	27	60-90	1100	380 (18)
SP (57)	F.D. d'Abreschviller	Abreschviller	27	30-60	400	426 (138)
SP (68)	F.D. de Guebwiller	Guebwiller	29	90	680	401 (53)

(1) CHP = chêne pédonculé ; CHS = chêne sessile ; CPS = mélange de chêne pédonculé et chêne sessile ; HET = hêtre ; PL = pin laricio ; PM = pin maritime ; PS = pin sylvestre ; SP = sapin pectiné.

Annexe 2 :

Régressions linéaires du type $y = a + bx$

y = pluviosité en mm sous le couvert forestier ou ruissellement le long du tronc

x = pluviosité hebdomadaire en plein champ, en mm

Placette	Régression linéaire	r	r ²	Significativité (1)	n
Hors influence de neige (année entière, sans ruissellement du tronc)					
DOU 71	$y = -1,43 + 0,898*x$	0,97	0,93	< 0,5 %	104
EPC 08	$y = -3,57 + 0,846*x$	0,93	0,86	< 0,5 %	103
EPC 63	$y = -2,16 + 0,631*x$	0,92	0,85	< 0,5 %	101
EPC 87	$y = -1,23 + 0,598*x$	0,96	0,92	< 0,5 %	104
PL 20	$y = -1,91 + 0,756*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	104
PM 17	$y = -0,98 + 0,76*x$	0,96	0,91	< 0,5 %	103
PM 40c	$y = -0,839 + 0,774*x$	0,99	0,97	< 0,5 %	104
PM 72	$y = 0,194 + 0,744*x$	0,95	0,90	< 0,5 %	104
PM 85	$y = 0,445 + 0,61*x$	0,94	0,89	< 0,5 %	103
PS 44	$y = -0,609 + 0,654*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	104
PS 67a	$y = -1,83 + 0,761*x$	0,97	0,95	< 0,5 %	103
PS 76	$y = -1,74 + 0,748*x$	0,96	0,93	< 0,5 %	104

(1) On lit : la probabilité d'erreur pour l'estimation d'une valeur avec la fonction linéaire concernée est de x %.

Placette	Régression linéaire	r	r ²	Significativité (1)	n
Été, pluviollessivats (sans mesure du ruissellement le long des troncs)					
CHP 40	$y = -1,39 + 0,773*x$	0,98	0,97	< 0,5 %	54
CHP 59	$y = 0,0173 + 0,805*x$	0,94	0,88	< 0,5 %	54
CHS 35	$y = -0,968 + 0,727*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	52
CHS 41	$y = 0,356 + 0,678*x$	0,94	0,87	< 0,5 %	54
CPS 77	$y = -0,897 + 0,735*x$	0,96	0,92	< 0,5 %	54
EPC 74	$y = -2,49 + 0,625*x$	0,99	0,97	< 0,5 %	54
HET 30	$y = 0,541 + 0,797*x$	0,99	0,99	< 0,5 %	54
HET 54a	$y = -0,601 + 0,739*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	54
HET 64	$y = -0,504 + 0,645*x$	0,96	0,93	< 0,5 %	54
SP 05	$y = -2,58 + 0,673*x$	0,98	0,97	< 0,5 %	53
SP 11	$y = -0,801 + 0,673*x$	0,93	0,86	< 0,5 %	54
SP 25	$y = -0,854 + 0,728*x$	0,98	0,97	< 0,5 %	54
SP 38	$y = -1,21 + 0,632*x$	0,98	0,96	< 0,5 %	54
SP 57	$y = -3,41 + 0,691*x$	0,93	0,87	< 0,5 %	53
SP 68	$y = -1,15 + 0,494*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	54
Hiver, pluviollessivats (sans mesure du ruissellement le long des troncs)					
CHP 40	$y = 1,45 + 0,678*x$	0,98	0,96	< 0,5 %	50
CHP 59	$y = 0,0459 + 0,875*x$	0,98	0,96	< 0,5 %	50
CHS 35	$y = -0,154 + 0,765*x$	0,97	0,95	< 0,5 %	48
CHS 41	$y = 0,224 + 0,739*x$	0,98	0,96	< 0,5 %	50
CPS 77	$y = -0,684 + 0,877*x$	0,97	0,95	< 0,5 %	50
EPC 74	$y = -1,79 + 0,742*x$	0,96	0,92	< 0,5 %	48
HET 30	$y = 8,84 + 0,809*x$	0,99	0,97	< 0,5 %	50
HET 54a	$y = -1,21 + 0,943*x$	0,98	0,95	< 0,5 %	50
HET 64	$y = 0,485 + 0,651*x$	0,99	0,97	< 0,5 %	50
SP 05	$y = -1,61 + 0,787*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	50
SP 11	$y = -2,73 + 0,891*x$	0,95	0,89	< 0,5 %	50
SP 25	$y = -3,74 + 1,046*x$	0,93	0,87	< 0,5 %	50
SP 38	$y = -2,71 + 0,963*x$	0,96	0,92	< 0,5 %	50
SP 57	$y = -0,383 + 0,571*x$	0,95	0,90	< 0,5 %	49
SP 68	$y = -0,666 + 0,488*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	50
Placettes, dans lesquelles le ruissellement le long des troncs a été mesuré					
Été, pluviollessivats stricto sensu					
HET 30	$y = 2,73 + 0,551*x$	0,98	0,97	< 0,5 %	54
HET 54a	$y = -0,497 + 0,667*x$	0,97	0,93	< 0,5 %	53
HET 64	$y = -0,745 + 0,565*x$	0,97	0,94	< 0,5 %	54
SP 11	$y = -0,938 + 0,633*x$	0,93	0,86	< 0,5 %	54
Hiver, pluviollessivats stricto sensu					
HET 30	$y = -0,214 + 0,779*x$	0,98	0,96	< 0,5 %	49
HET 54a	$y = -0,719 + 0,809*x$	0,96	0,92	< 0,5 %	49
HET 64	$y = 0,0639 + 0,603*x$	0,98	0,97	< 0,5 %	49
SP 11	$y = 0,327 + 0,784*x$	0,91	0,83	< 0,5 %	49
Été, ruissellement le long des troncs					
HET 30	$y = -2,19 + 0,246*x$	0,98	0,95	< 0,5 %	54
HET 54a	$y = -0,0891 + 0,072*x$	0,93	0,87	< 0,5 %	54
HET 64	$y = 0,189 + 0,081*x$	0,82	0,67	< 0,5 %	52
SP 11	$y = -0,139 + 0,041*x$	0,93	0,87	< 0,5 %	54
Hiver, ruissellement le long des troncs					
HET 30	$y = 9,9 + 0,028*x$	0,20	0,04	24,8 %	32
HET 54a	$y = 0,0344 + 0,094*x$	0,92	0,84	< 0,5 %	34
HET 64	$y = 0,987 + 0,052*x$	0,69	0,48	< 0,5 %	34
SP 11	$y = 0,0199 + 0,049*x$	0,75	0,57	< 0,5 %	33