©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

REGULARISATION DU REGIME HYDROLOGIQUE PAR FORET EN FONCTION DE LA TAILLE DU BASSIN

par

François Garczynski

Centre National du Machinisme Agricole,
du Génie Rural, des Eaux et des Forêts,
Division Protection Contre les Erosions,
Grenoble, France.

RESUME

La plaine se défend à la montagne, et l'hydrologie de la montagne commande l'hydrologie de la plaine !

Pour des superficies de bassins inférieures à 10 km², on trouve en général que les coupes rases augmentent le débit moyen annuel, les débits de pointe des crues et même parfois les débits d'étiage, mais des coupes d'éclaircies sur 30 à 40 % de la superficie du bassin n'entrainent pas toujours des changements hydrologiques significatifs.

Le reboisement et la comparaison entre des bassins boisés et agricoles de 20 à 100 km² donnent des résultats partiellement contraires aux précédents, en retrouvant le rôle régulateur du régime hydrologique de la forêt reconnu par les forestiers avec l'augmentation du débit moyen annuel et des débits d'étiage.

Au delà de 100 km², il parait nécessaire d'étudier le rôle hydrologique de la forêt par le biais du taux de boisement et des régressions multiples, à cause des nombreuses variables qui entrent en jeu simultanément, mais cela conduit à des résultats contraires à la théorie classique.

On aborde aussi le rôle de la forêt vis-à-vis des eaux souterraines par deux biais : le débit de base moyen annuel et les oscillations journalières du niveau de la nappe phréatique dues à l'évapotranspiration. Quelques résultats paraissent encore confirmer la vieille intuition des forestiers et surtout des forestiers de montagne malgré la théorie, devenue classique, de la forêt plus grande consommatrice d'eau que la prairie.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Regularization of the hydrological regime by forest according to the size of the basin

SUMMARY

The plain protects one's self in the mountain and hydrology of the mountain commands hydrology of the plain !

For basin area smaller than 10 km², clear cuttings increase generally mean annual streamflows, peak flows, and sometimes also low flows; then thinning cuttings of 30 - 40 % of forest area do not yield always significant hydrological results.

Reforestation and comparison between forested and agricultured basins with area from 20 to 100 km² give results which already contredict partly the previous ones, showing the regularization of hydrological regime by forest recognized by foresters with increase of mean annual streamflows and low flows.

For basins larger than 100 km², it becomes necessary to study the hydrological role of forest indirectly by the percentage of forest and multiple regression on account of numerous variables which come into play together : whereas these studies give contrary results to classical theory.

Also forest role on the underground waters is taken up by a double approach : the mean annual base flow and the daily oscillations of ground-water table due to evapotranspiration. Some results seem still to confirm the old intuition of the foresters and above all of the mountain foresters in spite of the present classical theory on forest, stronger consumer of water than meadow.

Regularisación del regimen hidrológico del monte en funcion del tamaño de la cuenca

RESUMEN

El llano se defiende a la montaña, y la hidrología de la montaña manda a la del llano !

Para superficies de cuencas inferiores a 10 km², se encuentra de manera general que las cortas totales aumentan el caudal medio anual, los caudales de punta de las crecientes y mismo a veces los caudales de estiaje, pero las cortas parciales "aclaradoras" sobre 30 y hasta 40 % de la superficie de la cuenca no tienen siempre por consecuencia cambios hidrológicos significativos.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

La reforestación y la comparación entre cuencas forestales y agricolas de 20 hasta 100 km² dan resultados parcialmente contrarios a los precedentes, reconociendo el papel regulador para el regimen hidrológico del monte reconocido por los forestales con el aumento del caudal medio anual y de los caudales de estiaje.

Mas alla de 100 km², aparece necesario estudiar el papel hidrológico del monte por el sesgo del porcentage del suelo cubierto de bosques y de las regresiones multiples, por causa de las numerosas variables que intervienen simultaneamente, pero eso conduce a resultados contrarios a la teoría clásica.

Se estudia también el papel del monte respecto de las aguas subterráneas de dos maneras el caudal de base medio anual y las oscilaciones diarias del nivel de la napa freatic debidas a la evapotranspiración. Algunos resultados parecen confirmar la vieja intuición de los forestales y sobretodo de los forestales de montaña a pesar de la teoría, ahora clásica, del monte como mayor consumidor de agua que el prado.

WASSERHAUSHALTREGULIERUNG MIT DEM WALD IN ABHÄNGIGKEIT DER GRÖSSE DES EINZUGSGEBIETES.

Das Flachland verteidigt sich im Gebirge und die Hydrologie des Gebirges befehlt die Hydrologie der Flachebene.

Für Einzugsgebiete unter 10 km2 wird im allgemeinen ermittelt dass Kahlhiebe den jährlichen Mittelabfluss, den Hochwasserabfluss und mitunter auch das Minimalwasser erhöhen. Durchforstungen von 30-40% des Einzugsgebietes haben aber nicht immer bedeutungsvolle hydrologische Veränderungen zur Folge.

Die Aufforstung und Gegenüberstellung des forstlichen und landwirtschaftlichen Einzugsgebietes von 20-100 km2 ergeben teilweise widersprechende Ergebnisse insofern dass sie, mit der Steigerung vom jährlichen Mittelwasser und Minimalwasser, eine von den Forstleuten anerkannte Regulierungsfunktion des Waldes ermitteln.

Über 10 km2scheint es notwendig die hydrologische Tätigkeit des Waldes zu untersuchen und zwar mittels Aufforstungsprozentsatz und vielfache Regression aufgrund der zahlreichen,gleichzeitig ins Spiel kommende Variabel, dessen Ergebnisse aber mit der klassischen Theorie in Widerspruch stehen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die Funktion des Waldes gegenüber dem Grundwasser kann auch mit zwei Näherungen angesprochen werden: der jährliche Grundwasseranteil am Abfluss und die täglichen Schwingungen der Grundwasserhöhe durch Evapotranspiration. Einige Ergebnisse scheinen die alte Anschauung der Forstleute und besonders der Bergförster zu bestätigen, ungeachtet der klassischen Theorie des Waldes, grösserer Wasserverbraucher als die Wiese.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

REGULARISATION DU REGIME HYDROLOGIQUE PAR LA FORET EN FONCTION DE LA TAILLE DU BASSIN

La plaine se défend à la montagne et l'hydrologie de la montagne commande l'hydrologie de la plaine.

La montagne est le chateau d'eau de la plaine, surtout si la montagne est boisée, qui assure alors le mieux la conservation du sol et de l'eau.

Encore faudrait-il démontrer ce rôle protecteur de la forêt ! Vis-à-vis de l'érosion, ce rôle est universellement admis, mais qu'en est-il vis-à-vis de l'eau ?

1. BILAN ANNUEL DE L'ECOULEMENT.

Des déboisements jusqu'à 700 ha d'un seul bloc ont montré que la forêt laissait couler moins d'eau dans les rivières que l'herbe, conformément aux mesures sur cases lysimétriques.

Mais le géographe russe RAKHMANOV a prétendu, il y a dix ans, que cette relation négative forêt - écoulement s'inversait pour des bassins de surface supérieure à 10 km². Or, des américains, W.E. SOPPER et H.W. LULL (1970) ont trouvé, pour quelques 140 bassins de quelques hectares à 260 km², le résultat suivant

1.1. une corrélation positive débit moyen annuel / taux de boisement, sans croire à leur propre résultat.

(voir annexe 1)

1.2. ces auteurs n'ont pas tiré profit d'une autre donnée de leur étude : le débit moyen annuel de base, somme annuelle des débits de base pour chaque évènement hydrologique (voir annexe 2), qui présente la même corrélation positive partielle avec le taux de boisement. Cela signifie que la forêt doit influer positivement sur l'alimentation de la nappe phréatique.

Or, la plupart des expériences de déboisement sur petits bassins montraient, non seulement une augmentation du débit total annuel, mais aussi parfois du débit d'étiage débit d'étiage absolu ou de 30 jours ou selon d'autres périodes, critères sans doute moins intéressants pour rendre compte des basses eaux que ce débit moyen annuel de base.

1.3. Troisième résultat tiré de cet exemple du Nord-Est des U.S.A. : le premier groupe de 18 bassins (3 ha à 25 km²) présente un coefficient de corrélation positive (0,66) débit moyen annuel / superficie du bassin, ce qui peut signifier que le débit spécifique annuel augmente avec la surface, et offre une explication aux deux résultats précédents.

Jusqu'à une surface de 25 km² (longueur de talweg environ 10 km) mais non au delà, une partie des eaux infiltrées en amont suivrait un parcours souterrain avant de ressurgir plus bas dans le talweg.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Une expérience confirme cette hypothèse, les études du Centre Technique Forestier Tropical à Madagascar : dans des petits bassins forestiers emboités les uns dans les autres, le débit spécifique moyen annuel augmente de 8 % quand on passe de 1 à 100 ha (1974).

J'ai trouvé trois autres exemples de corrélation multiple dont encore deux exemples américains, grâce à H. ANDERSON dans l'Ouest de l'Orégon avec un résultat identique au Nord-Est des U.S.A., et le Sud-Ouest de la Californie, avec un résultat un peu différent : jusqu'à 130 km² (longueur de talweg environ 20 km), un coefficient de corrélation négatif (- 0,7) confirme ce que l'on admet en général, mais au delà de 210 km² (longueur de talweg environ 30 km), un coefficient de corrélation 0,2 qui n'est plus négatif.

1.4. Critique de la méthode des régressions multiples : une corrélation n'implique pas de relation de cause à effet, et d'ailleurs les coefficients de corrélation partielle trouvés (0,3 à 0,7) sont faibles. Néanmoins, deux explications de bon sens expliquent ces faibles valeurs

- la mesure du taux de boisement à une date déterminée est un mauvais critère, car il faudrait aussi une valeur moyenne annuelle rapportée aux mêmes périodes que les mesures de précipitation et débit, car on sait que le taux de boisement varie avec les années

- puis la localisation de l'amont vers l'aval de la forêt doit influer sur le régime hydrologique, ce qui signifie que le critère "taux de boisement" ne rend pas compte de cette localisation des forêts.

1.5. Autres études sur ce sujet.

Deux autres études paraissent confirmer nos hypothèses

- thèse de F. TOUTAIN (1966) sur les eaux fournies par les captages de la ville de Fougères en Bretagne ; pour un bassin de 20 km², la forêt donne 13 m³/ha/jour et les champs seulement 7 m³/ha/jour

- puis l'étude de M. J. GREEN (A.I.H.S. - Wellington 1970) : le reboisement de 40 % de la surface d'un bassin de 20,2 km² du Pays de Galles a entrainé une augmentation de 10 % du débit moyen annuel sans changement des précipitations. L'auteur invoque comme unique cause, les labours qui ont accompagné le reboisement.

1.6. Résumé sur le problème du débit moyen annuel.

En extrapolant la théorie communément admise des petits aux grands bassins, on pourrait augmenter les débits en aval en pratiquant des coupes par bandes en amont, comme l'imagine notamment A.R. HIBBERT (Managing vegetation to increase flow in the Colorado River Basin, 1979). Par une démarche critique toute différente de celle développée ci-dessus, à partir de l'analyse de la variabilité interannuelle des données météorologiques et hydrologiques pour les grands bassins, N. BETHLAHMY en dit "In the wast majority of cases, management a forest for more water may be likened to the actions of a man who lights brief candles to warm a chilly room" (Water supply as affected by micro and macro watershed management decisions on forest land, 1974).

(Dans la grande majorité des cas, l'aménagement de la forêt pour obtenir plus d'eau peut être comparé aux actions d'un homme qui allume des bougies

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

de courte durée pour réchauffer une chambre glaciale).

Si notre hypothèse s'avérait exacte, et s'il se confirmait que les hauts bassins boisés sont le chateau d'eau de la plaine, par des comparaisons entre bassins et d'autres régressions multiples, alors l'accroissement des surfaces boisées pour obtenir plus d'eau pourrait devenir un objectif intéressant dans les pays et régions où l'on manque d'eau.

Mais ce problème de débit moyen annuel optimum des rivières est très lié à celui de la régularisation de régime hydrologique par la forêt que nous allons maintenant développer.

2. REGULARISATION DU REGIME HYDROLOGIQUE PAR LA FORET.

2.1. Réduction des débits de pointe de crue par la forêt.

La réduction des débits de pointe est universellement admise.

L'annexe 3, établie d'après les données d'une étude de H.W. LULL et K.G. REINHART sur les inondations dans l'Est des U.S.A. (1972) montre que du défrichement à la prairie et aux plantes sarclées, le coefficient de multiplication des débits de pointe des crues varie de 3 à 10 (en haut de gauche à droite).

Dans le sens inverse, après reboisement au bout de 15 à 20 ans (en bas de droite à gauche), on revient aux résultats précédents.

On peut faire deux critiques à ce tableau

- d'abord il faudrait distinguer les crues selon leurs fréquences décennales et centenaires ;

- puis cela ne concerne encore que des petits bassins (8 km² au plus).

On ne sait pas apprécier l'effet du taux de boisement sur les débits de pointe, c'est-à-dire l'effet d'un haut bassin boisé sur les crues dans la plaine ! Sans doute il faudrait aussi passer par les régressions multiples pour l'étudier en rentrant les précipitations journalières du jour du débit de pointe et au moins des 20 jours précédents.

2.2. Augmentation des débits d'étiage par la forêt.

Le débit de base moyen annuel rend le mieux compte de l'augmentation des débits totaux d'étiage par la forêt, c'est-à-dire en dehors des périodes de pluie.

L'équipe de F. BIALKIEWICZ (voir annexes 4 et 5) a étudié deux bassins de 50 km² et cinq bassins de près de 100 km², forestiers et agricoles, dans l'Est de la Pologne (1968, 1976 et 1978) : certes, ce ne sont pas des bassins de plaine !

Pour les bassins boisés par rapport aux bassins agricoles

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

- le coefficient d'écoulement annuel varie entre + et - 8 % par rapport aux précipitations, ce qui, à priori, ne confirme pas l'hypothèse de RAKHMANOV ;

- l'écoulement de la saison de végétation (mai à octobre) augmente aux dépens du débit maximum de la fonte des neiges au printemps

seulement en année sèche pour les bassins de 50 km²,

toujours pour les bassins de 100 km².

Pour ces bassins de 100 km², si l'on prend comme critère de régularisation le rapport entre débit maximum et débit minimum par an, par saison de végétation, mois et jour (au cours du dégel du printemps), ce rapport est toujours plus petit pour les bassins boisés, et, en outre, le classement des bassins selon ce rapport croissant est semblable au classement selon le coefficient d'écoulement annuel décroissant, ce qui fait retrouver l'hypothèse de RAKHMANOV le fonctions régularisation du régime hydrologique et augmentation du débit moyen annuel vont de pair avec la forêt !

En outre, j'ai traité un petit échantillon de 14 grands bassins polonais (Vistule) qui donne des résultats identiques à ceux trouvés pour le Nord-Est des U.S.A.

3. SYMPOSIUM UNESCO - A.I.H.S. D'HELSINKI (JUIN 1980).

A ce symposium sur l'influence de l'homme sur le régime hydrologique, j'étais seul à reprendre l'hypothèse de RAKHMANOV, car les polonais n'étaient pas là pour présenter leur travail, dont j'ai pris connaissance quelques jours après à Varsovie.

Mais sur les exemples de petits bassins présentés à Helsinki, d'autres remarques intéressantes sont à faire

Les éclaircies sur 30 - 40 % de la superficie se traduisent par une augmentation du débit moyen annuel :

1. pour les bassins inférieurs à 1 km². Exemple : en Tchécoslovaquie + 22 % maximum sur 10 ans par rapport au bassin témoin boisé ;

2. pour des bassins de près de 2,5 km² (Alberta, Canada)

   - dans un cas, il n'y a pas de changement significatif du débit annuel (coupe par blocs de 10 ha),
   - dans un autre cas, augmentation de + 5,5 % de débit annuel (coupe par taches de moins de ½ ha).

3. dans un autre cas (Québec, Canada) sur un peu moins de 4 km², il n'y a pas de changement significatif du débit annuel.

Puis une étude sur des reboisements dans des bassins de moins de 1 km² en Allemagne Fédérale (Harz) sur 29 ans, montre une diminution du débit annuel plus grande en amont et plus faible en aval, par rapport au bassin témoin laissé déboisé (l/sec./km²) :

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

amont - 0,4 / an - 11,6 / 29 ans

aval - 0,3 / an - 8,7 / 29 ans

Tout cela signifie qu'il faut tenir compte de la superficie : pour une plus grande superficie, l'écoulement diminuerait moins (après reboisement) ou augmenterait moins (après déboisement).

4. INFLUENCE DE LA FORET SUR LES EAUX SOUTERRAINES.

Nous avons déjà abordé cette question par l'intermédiaire du débit de base moyen annuel, qui est alimenté par la nappe phréatique : l'influence de la forêt sur les eaux souterraines, avec le rôle anti-pollution et épurateur de la forêt, est une recherche encore peu développée.

L'évapotranspiration diurne provoque un abaissement du niveau de la nappe phréatique pendant le jour, qui remonte pendant la nuit, oscillation qui se répercute avec un certain retard sur le niveau de l'eau dans la rivière, (voir le schéma emprunté à J. CALLEDE, thèse ORSTOM (1977) (annexe 6).

Mais le volume d'eau déplacé dans la nappe est très supérieure aux besoins en eau des plantes.

La pente moyenne de la courbe sinusoïdale traduit la somme de l'écoulement "loi de Darcy", de l'eau consommé par les plantes et... peut-être dans certains cas d'un écoulement profond,
(voir le deuxième schéma emprunté à J. JAWORSKI (I.A.H.S. Wageningen, 1968).

Comparons les oscillations journalières de la nappe pour une prairie, imperceptible sur cette courbe et une peupleraie : on remarque que les pentes moyennes des deux courbes, paraissent identiques pour une période de 4 jours sans pluie, mais diffèrent déjà pour une période de 7 jours sans pluie. Les peupliers paraissent donc moins consommer d'eau que l'herbe, ce qui rejoindrait l'hypothèse de F. BIALKIEWICZ : l'arbre seul consomme plus d'eau que l'herbe, mais l'ensemble forêt + sol (c'est-à-dire l'arbre dans la société "forêt") consomme moins d'eau que l'ensemble prairie + sol.

CONCLUSION

Beaucoup de questions restent en suspens

1. Rôles respectifs du houppier, du tronc, des racines et de l'humus forestier dans l'infiltration profonde sous forêt ;

2. Modifications dans l'écoulement causées par le drainage (surtout le drainage souterrain) : études en Finlande et Estonie (U.R.S.S.) sur l'entrainement de nitrates et phosphates provenant des engrais apportés aux terres ;

3. Augmentation possible des précipitations par la forêt mesurée par comparaison entre forêt et hors forêt et entre avant et après reboisement, qu'il est nécessaire d'étudier par le biais du taux de boisement et des corrélations multiples pour des surfaces supérieures à 1 000 km²

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

(coefficient de corrélation partielle positif 0,7 en Pologne et dans l'Orégon, précipitations moyennes annuelles / taux de boisement).

Je vous ai emmené beacoup plus bas que les petits bassins torrentiels, dans la plaine qui se défend à la montagne, comme nous l'a rappelé M. le Professeur MUNTEANU. Pour finir, je me permets de citer une phrase tirée d'une lettre que m'a adressée, en août 1980, M. le Professeur H. ANDERSON, l'hydrologue américain bien connu cité ci-dessus, maintenant retiré

> Obviously we have many small watersheds that "go dry" when the whole larger watershed has perennial flow ; sub-surface flow paths are not well understood, in my opinion.
>
> (Evidemment nous avons beaucoup de petits bassins qui sont "secs" quand l'ensemble du grand bassin a un débit continu ; les chemins de l'écoulement souterrain ne sont pas bien compris selon mon opinion).

ANNEXES

1. Corrélation débit spécifique total annuel / taux de boisement dans trois régions des U.S.A.

2. Hydrogramme d'un épisode de crue élémentaire (pour la définition du débit moyen annuel de base).

3. Correspondance entre les influences du déboisement, urbanisation et reboisement sur les pointes de crues tirée des données de "Forests and floods in the Eastern United States" par H.W. LULL et K.G. REINHART, Upper Darby, Pennsylvania, U.S.A. (1972).

4. Régularisation du régime hydrologique en Pologne (4 tableaux = année, début du printemps, période de végétation et rapport entre valeurs extrêmes de l'écoulement), d'après les études de F.BIALKIEWICZ "et al."(1968, 1976 et 1978).

5. Régularisation du régime hydrologique en Pologne (3 hydrogrammes = écoulements mensuels, du début du printemps et de l'été).

6. Oscillations journalières de la nappe phréatique. Emprunts J. CALLEDE (1977) et J. JAWORSKI (1968).

CORRELATION DEBIT SPECIFIQUE TOTAL ANNUEL / TAUX DE BOISEMENT
DANS TROIS REGIONS DES U.S.A.

Tableau 1

Débit spécifique total annuel Q (pouces/an) en fonction du taux de boisement F (%)				Coefficient de corrélation		Coefficient de régression pour logarithme népérien de F	Variation de Q expliquée par la variation de F
Régions	Classe de surface (miles^2)	Nombre de bassins versants	Valeurs extrêmes de F	R multiple Q/F,S,H,P	R partiel Q/F (S,H,P)		
Nord - Est des U.S.A. 141 bassins versants	0,01 à 10	18	0* à 100	0,96	0,23	0,03	5 %
	10 à 25	17	4 à 92,9	0,96	0,68	0,12	46 %
	25 à 50	37	15,7 à 93,2	0,96	0,59	0,20	20 à 35 %
	50 à 75	33	16,9 à 97,4	0,77	0,45	0,13	
	75 à 100	36	11,5 à 96,8	0,87	0,58	0,15	
Ouest de l'OREGON U.S.A. 29 bassins versants	50 à 250	13	70 à 100	0,97	0,34	0,27	12 à 27 %
	320 à 7 300	16	33 à 99	0,89	0,52	0,58	
Sud-Ouest de la CALIFORNIE U.S.A. 26 bassins versants	10 à 50	14	47 à 97	0,81	- 0,73	- 2,28	50 %
	80 à 440	12	30 à 82	0,79	0,22	0,66	5 %

*** La valeur 0 est remplacée par 1 dans la régression logarithmique.**

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

TABLE 1

Specific annual total streamflow Q (inches/year) dependent on forest percentage F (%)				Correlation coefficient		Regression coefficient (for F neperian logarithm)	Q variation percentage explained by F variation (Partial R^2 x 100)
Country	Area class (Sq. miles)	Number of watersheds	F extreme values (%)	Multiple R Q/F,S,H,P	Partial R Q/F (S,H,P)		
North - East of U.S.A. 141 watersheds	0.01 to 10	18	0* to 100	0.96	0.23	0.03	5 %
	10 to 25	17	4 to 92.9	0.96	0.68	0.12	46 %
	25 to 50	37	15.7 to 93.2	0.96	0.59	0.20	20 à 35 %
	50 to 75	33	16.9 to 97.4	0.77	0.45	0.13	
	75 to 100	36	11.5 to 96.8	0.87	0.58	0.15	
West of OREGON, U.S.A. 29 watersheds	50 to 250	13	70 to 100	0.97	0.34	1.27	12 à 27 %
	320 to 7300	16	33 to 99	0.89	0.52	0.58	
South - West of CALIFORNIA U.S.A. 26 watersheds	10 to 50	14	47 to 97	0.81	- 0.73	- 2.28	50 %
	80 to 440	12	30 to 82	0.79	0.22	0.66	5 %

* 0 value replaced by 1 in logarithmic regression

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Schéma HYDROGRAMME D'UN EPISODE DE CRUE ELEMENTAIRE

(pour la définition du débit moyen annuel de base) ANNEXE 2

ELEMENTARY HYDROGRAPH EVENT

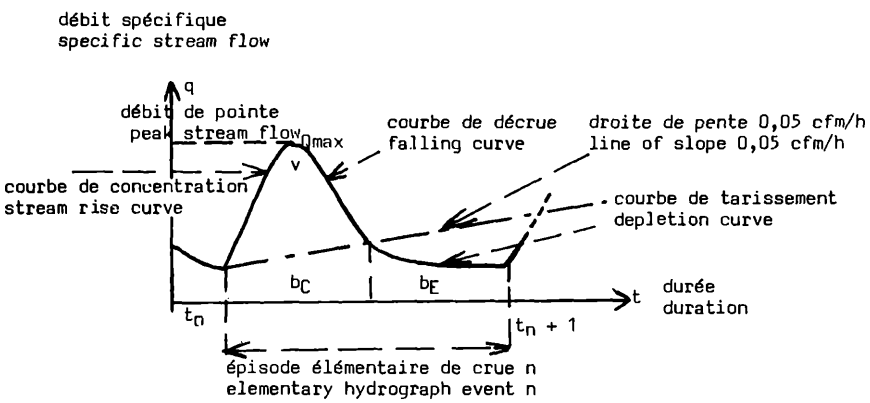
v débit direct ou rapide / direct or quick run off /

b = débit de base / base flow /

$b = b_C + b_E$

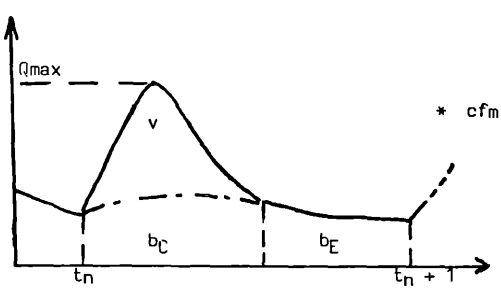
b_C = débit de base de crue / base flow of flood /

b_E = débit de base d'étiage / base flow of low flow /



Séparation entre courbe de décrue et courbe de tarissement par les auteurs américains selon la droite de pente 0,05 cfm/heure ≠ 0,55 l/sec/km²/heure *

Separation into falling curve and depletion curve according to american authors with line of slope 0,05 cfm/heure



* cfm = pied^3/seconde/mile^2
cubic foot/ seconde/square mile

Séparation entre courbe de crue et courbe de tarissement par interpolation entre les courbes de tarissement de deux épisodes consécutifs par les hydrologues du Centre Technique Forestier Tropical à Madagascar.
Separation into falling curve and depletion curve of two consecutive events according to hydrologists of Centre Technique Forestier Tropical in Madagascar.

ANNEXE 3

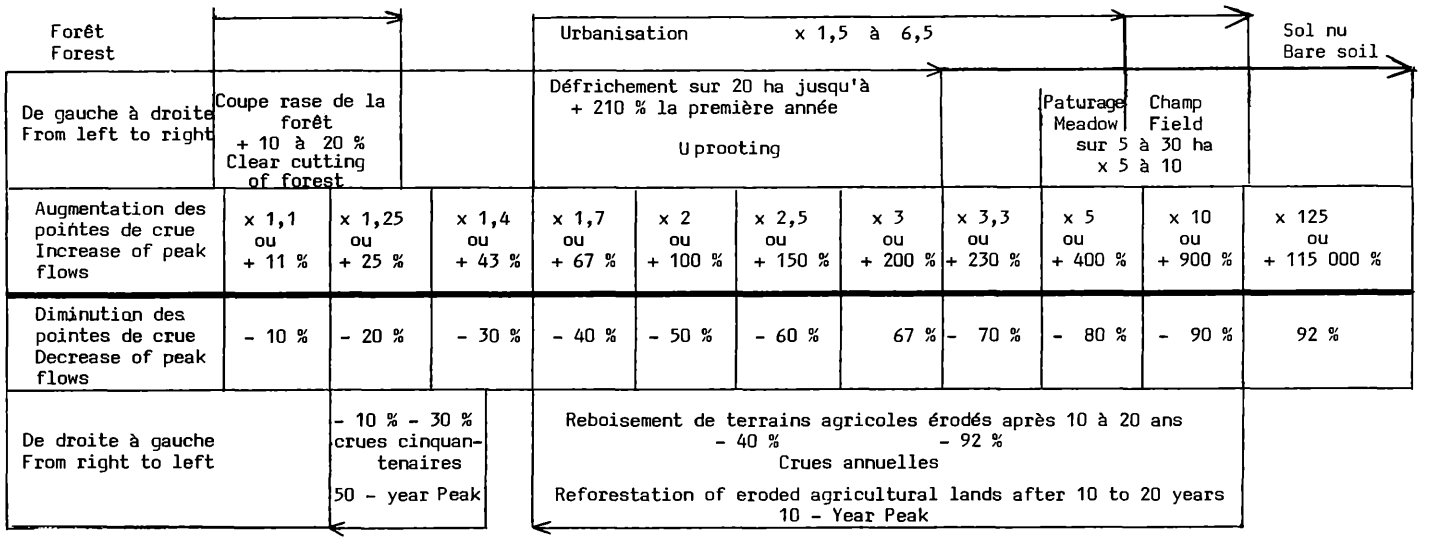
INFLUENCES DES COUPES RASES, DEBOISEMENT, URBANISATION ET REBOISEMENT SUR LES POINTES DE CRUE

INFLUENCES OF CLEAR CUTTINGS, DEFORESTATION, URBANIZATION AND REFORESTATION ON THE PEAK FLOWS

tiré des données de "Forests and floods in the Eastern United States" par H.W. LULL et K.G. REINHART, Upper Darby, Pennsylvania, U.S.A. (1972).

(Superficie de quelques hectares à 800 hectares d'un même tenant)

(Area from some ha to 800 ha in a single block)



Valeurs extrêmes des pointes de crue

Extreme values of peak flows

Cultures agricoles dans l'Est des U.S.A. 5 000 à 10 000 l/sec/km²

Agricultural lands in Eastern U.S.A.

Madagascar : forêt 9 000 l/sec/km² forest — culture et prairie après brûlis 22 000 à 27 000 l/sec/km² cultivation and meadow after burning

©Bundesforschungszentrum für Wald. Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

COMMENTAIRES SUR LES 3 ETUDES POLONAISES

de F.BIALKIEWICZ "et al" (1968,1976 et 1978)
REGULARISATION DU REGIME HYDROLOGIQUE EN POLOGNE

(4 tableaux = année, début de printemps, période de végétation et rapport entre valeurs extrêmes de l'écoulement)

En définitive, ces 3 études sur 7 bassins versants de l Est de la POLOGNE, qui comparent le comportement hydrologique de bassins de superficie égale ou supérieure à 50 km² boisés (taux de boisement F = 83 à 92 %) et agricoles (taux de boisement F = 7 %), aboutissent aux conclusions suivantes :

1/ ECOULEMENT MOYEN ANNUEL

On a réuni les résultats en regroupant les bassins qui sont répartis du Nord au Sud sur près de 300 km.

Ville voisine	Latitude (g)	Bassin (nom abrégé)	Surface (km²)	Taux de boisement (%)	Précipitations annuelles P (mm/an)	Débit moyen annuel Q (mm/an)	$\frac{Q}{P}$ x 100
AUGUSTOW	53,8	JAS LEB KAMIE	75,5 62,9 85,7	81,0 82,3 7,1	642,0 627,4 611,6	213 165 156,4	33,2 26,2 25,6
BIALYSTOK	53,4	JAL KAMIO	47,1 56,9	82,9 6,6	552,1 536,6	101,5 99,3	18,4 18,5
BIALOWIEZA	52,7	LUT	120,9	92	653	114,2	17,5
entre WLODAWA et CHELM	51,4	TAR	111,2	36,2	611,1	149,8	24,5

2/ DISTRIBUTION DE L'ECOULEMENT LE LONG DE L'ANNEE

Dégel du début du printemps (fin mars à début mai)

Les trois études mettant en évidence que

- la forêt diminue l'écoulement total au cours de cette période (en pourcentage de l'écoulement annuel)

	Bassin boisé			Bassin peu boisé	Bassin agricole
	JAL				KAMIO
Printemps 1963 peu pluvieux	12,8				20,5
Printemps 1964 très pluvieux	26,5				44,7
Moyenne 1966 - 1975	JAS	LEB	LUT	TAR	KAMIE
	22,7	24,4	25,7	29,6	33,2

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Période de végétation (mai à octobre)

La forêt augmente l'écoulement total de 10 % environ par rapport à l'écoulement annuel pour les bassins supérieurs à 50 km². Pour les bassins de 50 km², cette influence n'apparaît qu'en année sèche (pourcentages de l'écoulement annuel (%)).

	Bassins boisés			Bassin peu boisé	Bassin agricole
	JAL				KAMIO
Année sèche (1963)	38,5				35,3
Année humide	25 (1958)				43,6 (1960)
Année moyenne (1958 - 1964)	38				37,6
	JAS	LEB	LUT	TAR	KAMIE
Année moyenne (1966 - 1975)	32,9	30,9	39,5	24	23

Régularisation du régime hydrologique d'un bout à l'autre de l'année

La régularisation du régime hydrologique due à la forêt apparaît aussi dans la diminution des écarts entre valeurs extrêmes des écoulements par an, saison de végétation, mois et jour (dégel du printemps) au cours des dix années de mesure.

Amplitude = rapport $\frac{\text{écoulement maximal}}{\text{Ecoulement minimal}}$					
par	Bassins très boisés			Bassin peu boisé	Bassin agricole
	JAS	LEB	LUT	TAR	KAMIE
Année	3,4	3,8	3,1	4,7	11
Saison de végétation	4	4,2	5,8	4,6	6,8
Mois	1,9	2,3	4,6	10,7	5,1
Jour (dégel du printemps)	13,3	18,4	47,3	145,3	135,4

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

COMMENTS ON THE THREE POLISH STUDIES

REGULARIZATION OF HYDROLOGICAL REGIME IN POLAND

(4 tables = year, beginning of spring, vegetation period and ratio between extreme values of runoff)

Finally, these three studies on seven basins in eastern POLAND, which compare the hydrological processes of basins from 50 to 120 km² and with percentage of forest cover from 90 to 7 %, conduct to the following conclusions.

1/ MEAN ANNUAL RUNOFF

Résults are presented in this table regrouping the basins, which stretch from north to south on about 308 km : mean annual runoff is expressed in percentage of mean annual precipitation in the last column on the right.

Near by the town	Latitude (g)	Basin (abriged name)	Area (km²)	Percentage of forest cover (%)	Mean annual precipitation P (mm/year)	Mean annual runoff Q (mm/year)	$\frac{Q}{P} \times 100$
AUGUSTOW	53.8	JAS LEB KAMIE	75.5 62.9 85.7	81.0 82.3 7.1	642.0 627.4 611.6	213.0 165.0 156.4	33.2 26.2 25.6
BIALYSTOK	53.4	JAL KAMIO	47.1 56.9	82.9 6.6	552.1 536.6	101.5 99.3	18.4 18.5
BIALOWIEZA	52.7	LUT	120.9	92.0	653.	114.2	17.5
between WLODAWA and CHELM	51.4	TAR	112.2	36.2	611.1	149.8	24.5

2/ DISTRIBUTION OF RUNOFF ALL THE YEAR ROUND

THAW IN EARLY SPRING (from march end to may beginning)

The three studies render evident that

- forest decreases the whole runoff during this period (percentage of annual runoff).

	Forested basin	Few forested basin	Agricultural basin
Few rainy spring 1963	JAL 12.8		KAMIO 20.5
Very rainy spring 1964	26.5		44.7
Mean 1966-1975	JAS LEB LUT 22.7 24.4 25.7	TAR 29.6	KAMIE 33.2

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Vegetation period (may to october)

Forest increases this runoff of about 10 % with respect to mean annual runoff for basins larger than 50 km², whereas this influence appears only during dry years for basins of 50 km² (percentage of annual runoff).

	Forested basins			Few forested basin	Agricultural basin
	JAL				KAMIO
Dry year (1963)	38.5				35.3
Wet year	25 (1958)				43.6 (1960)
Mean year (1958-1964)	38				37.6
	JAS	LEB	LUT	TAR	KAMIE
Mean year (1966-1975)	32.9	30.9	39.5	24	23

Regularization of the hydrological regime all the year round

The regularization of the hydrological regime due to the forest appears also in the decrease of variation between extreme values of runoffs per year, vegetation season, month and day (thaw in early spring) during the 10 years of measure :

Amplitude ratio between maximum and minimum runoffs					
per	forested basins			Few forested basin	Agricultural basin
	JAS	LEB	LUT	TAR	KAMIE
Year	3.4	3.8	3.1	4.7	11
Vegetation season.	4	4.2	5.8	4.6	6.8
Month	1.9	2.3	4.6	10.7	5.1
Day (spring thaw)	13.3	18.4	47.3	145.3	135.4

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

REGULARISATION DU REGIME HYDROLOGIQUE EN POLOGNE
(3 hydrogrammes = écoulements mensuels
du début du printemps et de l'été)

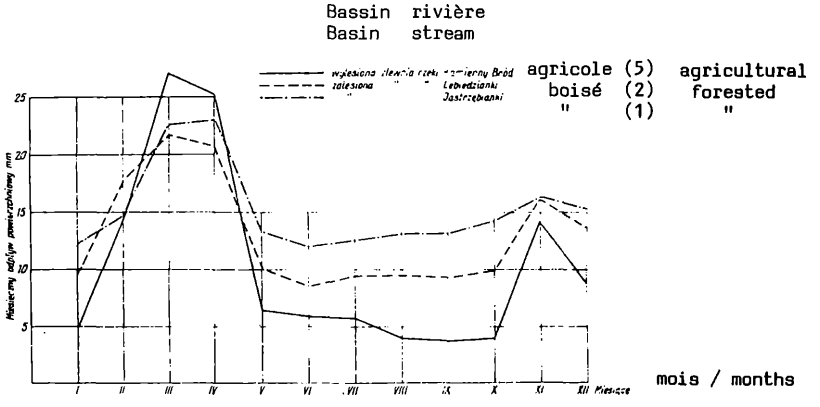
ANNEXE 5

Surface et occupation des sols

Areas and land uses

Tabela 1
Powierzchnia i struktura użytkowania

Zlewnia rzeki	Powierzchnia km²	Struktura użytkowania %			Długość rzeki km	Spadek %		
		grunty orne	użytki zielone	lasy		podłużny	średni poprzeczny	średni zlewni
Bassin	Surface	Occupation des sols Land uses			Longueur de talweg Stream length	Pente Slope		
Basin	Area	Culture Crop	Prairie Pasture	forêt forest		en long. longitudinal	en travers transverse	Moyenne Mean
Kamienny Bród (5)	85,7	74,9	18,0	7,1	20,7	2,20	6,64	4,42
Lebiedzianka (2)	62,9	7,4	10,4	82,2	11,3	1,14	0,90	1,02
Jastrzebianka (1)	75,4	4,3	14,7	81,0	14,2	0,72	1,89	1,30



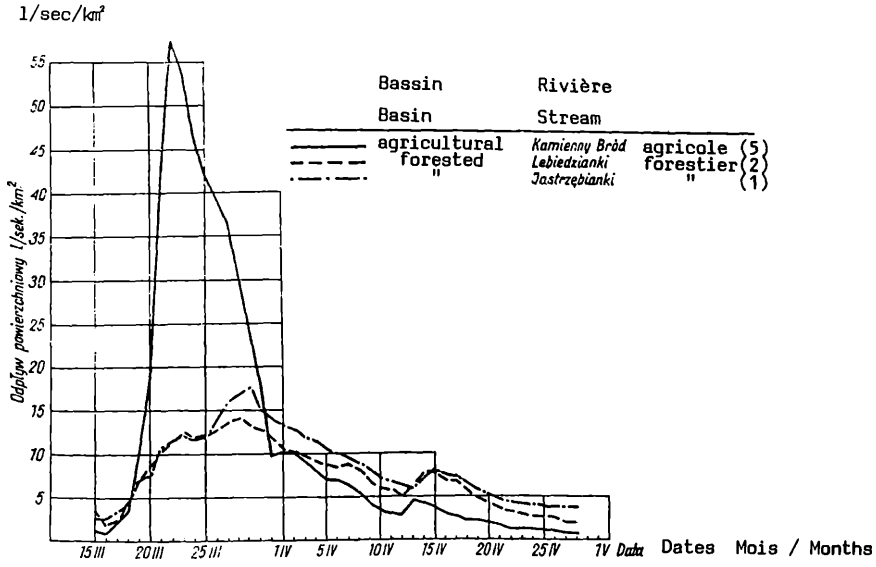
Ryc. 1. Miesięczny odpływ powierzchniowy (średni z lat 1966—1973)

Ecoulements spécifiques mensuels (moyenne 1966 - 1973)

Monthly specific runoff (means of years 1966 - 1973)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

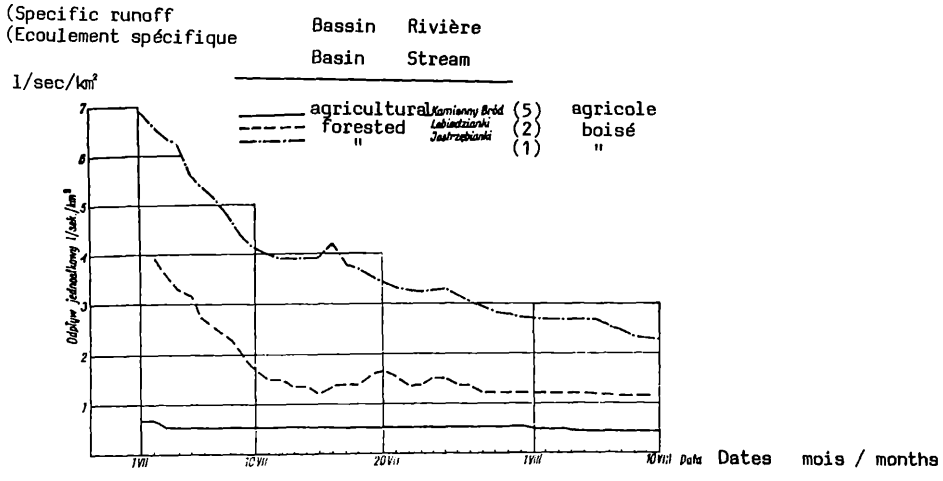
Ecoulement spécifique
Specific runoff



Ryc. 2. Odpływ powierzchniowy ze zlewni w okresie roztopów pozimowych w 1968 r.

Diagram

2 - Specific runoff during the thaw after winter for the year 1968
- Ecoulements spécifiques pendant le dégel après l'hiver 1968



Ryc. 3. Odpływ powierzchniowy ze zlewni w okresie bezdeszczowym w 1968 r.

Diagram

3 - Specific runoff during period without rain for the year 1968.
- Ecoulements spécifiques pendant une période sans pluie en 1968.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ANNEXE 6

OSCILLATIONS JOURNALIERES DE LA NAPPE PHREATIQUE

emprunts J. CALLEDE (1977) et J. JAWORSKI (1968)

Schémas empruntés à J. CALLEDE dans Cahiers ORSTOM, série hydrologie, vol. XIV, nº 3, 1977, p. 231 et 253

Pictures borrowed from J. CALLEDE in Cahiers ORSTOM, hydrology, vol. XIV. nº 3, 1977, p. 231 and 253

Schema depth of ground - water

Courbe tangente à la courbe sinusoïdale
Tangential curve to sinusoidal curve
Depth of ground-water table

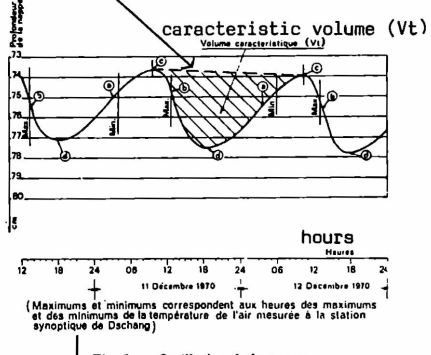
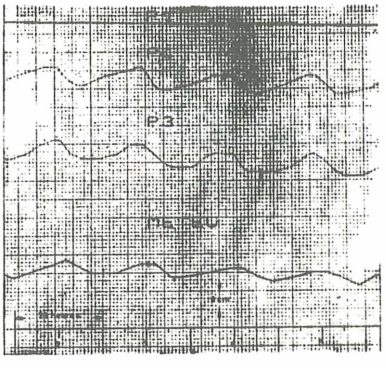


Fig. 5. — Oscillation de la nappe
Bassin de Baleng (Cameroun)
Piézomètre P 3

(Maxima and minima squaring with the hours of maximum and minimum air temperatures at the synoptical station of Dschang)

Oscillation of ground-water
Baleng basin (Cameroons)
Piezometer P 3



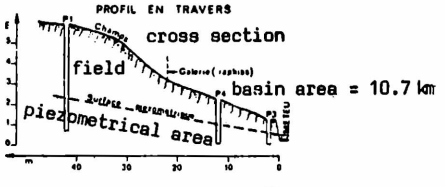


Fig. 21. — Enregistrement des hauteurs d'eau aux piézomètres P1, P3, P4 et du niveau de la Meteu (tracé à la table Benson)

Recording of water heigth at the piezometers P1, P3, P4 and the Meteu stream.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Proceedings of the Wageningen Symposium
edited by
P.E. Rijtema and H. Wassink

Actes du Symposium de Wageningen
édités par
P.E. Rijtema et H. Wassink

Water in the unsaturated zone
Eau dans la zone non saturée

Published in 1968 by the International Association of Scientific Hydrology Braamstraat 61 Gentbrugge and by Unesco, Place de Fontenoy, Paris 7e

Printed by Ceuterick, Louvain, Belgium

vol. II 736

Jerzy Jaworski

Evapotranspiration of plants and fluctuation of the groundwater table

Slope =
Mean daily lowering of groundwater table

Jerzy Jaworski
State Hydrological and Meteorological Institute,
Water Physics Division, Warsaw, Poland

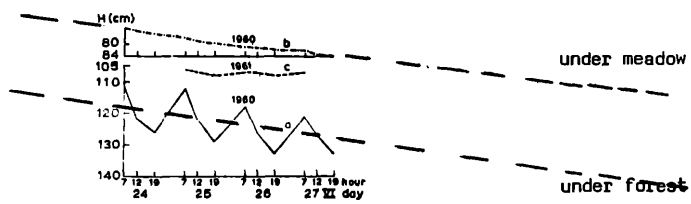


FIGURE 7. *Short-term fluctuations of the groundwater level in the periods* 24-27 *June* 1960 *and* 25-26 *June* 1961
(a) under the poplar nursery; (b) under the meadow surface; (c) under potatoes (25-26 *June* 1961) *the potatoes were planted in spring* 1961 *on the area of the cleared poplar nursery*

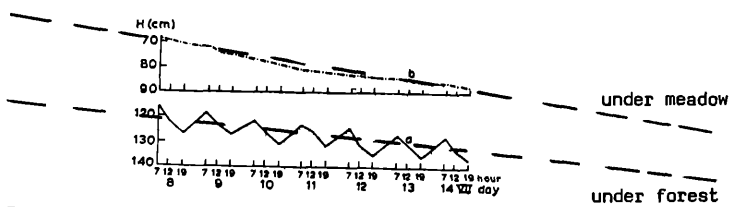


FIGURE 8. *Short-term daily fluctuations of the groundwater level (observations at* 7, 12, 19 *hrs.) in the period from* 8 *to* 14 *July* 1960 *(a) poplar nursery; (b) meadow*

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: 144_1982

Autor(en)/Author(s): Garczynski Francois

Artikel/Article: Regularisation du regime hydrologique par foret en fonction de la taille du bassin 55-76