

# Influence du couvert végétal sur l'hydrologie des crues, modélisation à validations multiples

Gilles GALEA (1), Pascal BREIL (1), Adang AHMAD (1)

## RÉSUMÉ

*La modélisation présentée ici a subi une double validation : expérimentale, par exploitation de bassins fortement contrastés en végétation, et méthodologique, par exploitation simultanée d'un modèle régional (descriptif synthétique) à démarche ascendante (QdF) et d'un modèle conceptuel global à démarche descendante (GR3J).*

*Le bassin versant de l'Ardières à Beaujeu (54,5 km<sup>2</sup>) est un petit bassin versant montagneux, recouvert sur 90 % de sa superficie d'une forêt de sapins, de feuillus ainsi que de prairies et sur les 10 % restants de vignobles. A proximité de celui-ci (fig. 1), le bassin versant de la Vauxonne à Buyon (49,3 km<sup>2</sup>), dont 70 % de la superficie sont plantés en vigne et 30 % sont occupés par la forêt et les prairies, présente des crues bien différenciées, de celles de son voisin, en général plus rapides et deux fois plus intenses. Nous pouvons penser que cette différence de comportement hydrologique est liée au mode d'occupation des sols et plus précisément au système sol-végétation.*

*Dans un premier temps, nous montrons que la paramétrisation des modèles, fortement différenciée d'un bassin versant à l'autre, est la « signature » (toutes choses égales par ailleurs) du rôle joué par l'entité végétale sur les crues observées.*

*Dans un deuxième temps, l'exemple de simulation choisi permet de quantifier et de comparer, pour une même pluie « fictive » d'entrée, le comportement hydrologique en crue d'un petit bassin (environ 50 km<sup>2</sup>) forestier ou vignoble, dans un contexte pluviométrique bien différencié, de type océanique ou continental alpin.*

**MOTS CLÉS :** Débits de crues — Hydrologie statistique — Influence du couvert végétal — Modèles conceptuel global et synthétique (débit-durée-fréquence).

## ABSTRACT

THE INFLUENCE OF VEGETAL COVER ON FLOOD, MODELLING OF BOTH UPSTREAMING AND DOWNSTREAMING SIMULATION

*The modelling presented is subject to double validation : empirical by using basins of contrasting vegetation cover and theoretical by simultaneous use of upstream (QdF) and downstream (GR3J) models.*

*The basin of Ardieres river at Beaujeu (54.5 km<sup>2</sup>) has low mountain features, and in terms of vegetation is mainly (90 %) forested including some permanent meadows, the remaining 10 % being covered by vineyards downstream. The nearby Vauxonne river (fig. 1) at Buyon (49.3 km<sup>2</sup>) differs only through vegetation : 70 % of vineyards and only 30 % of forest and permanent meadows. Floods are more rapid and twice as intense on the second basin. We can assume that this hydrological behaviour difference depends on the vegetation-soil system.*

*Firstly, we show that the set of model parameters is very different from one basin to the other : this is the vegetation influence on the observed floods. Secondly, the simulation example quantifies and compares, for the same synthetic storm, the flood behaviour of a small forested and a vineyard basin (about 50 km<sup>2</sup>), in a contrasting rain-fall context (oceanic or alpine continental).*

**KEY WORDS :** Flood runoffs — Statistical hydrology — Influence of vegetation cover — Discharge-duration-frequency model — Conceptual model.

(1) Cemagref, Groupement de Lyon, 3 bis, quai Chauveau, 69336 Lyon cedex 09.

## 1. BUT DE L'ÉTUDE

La démarche suivie tente de montrer, à travers une double modélisation des apports des bassins versants de l'Ardières et de la Vauxonne, de type conceptuel global (modèle GR3J) et de type descriptif synthétique QdF (modèle débit-durée-fréquence), l'influence du contraste végétal forêt — vignoble sur l'hydrologie des crues. La double modélisation permet une validation croisée et complémentaire des résultats obtenus selon deux voies différentes. Cette démarche méthodologique trouve son sens, dans la mesure où nous avons pu vérifier le caractère relativement homogène des autres caractéristiques (cf. ci-après) susceptibles d'influencer l'écoulement des bassins versants. Par ailleurs, pour juger le plus objectivement possible du rôle de l'entité végétale sur les crues à travers la modélisation, nous avons privilégié des outils (conceptuel, descriptif) dont les paramètres identifiables sont indépendants des uns des autres. L'étude montre l'adéquation des modèles à restituer l'écoulement de chaque bassin versant ; il s'en suit une simulation et des résultats nuancés du rôle de l'entité végétale sur les crues selon que le contexte pluviométrique est modéré (régime pluviométrique océanique) ou plus intense (régime continental alpin).

## 2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES DEUX BASSINS VERSANTS

Les bassins versants de l'Ardières à Beaujeu ( $S = 54,5 \text{ km}^2$ ) et de la Vauxonne à Buyon ( $S = 49,3 \text{ km}^2$ ) sont situés à environ 50 km au nord-est de l'agglomération lyonnaise, au nord du département du Rhône (69), dans les monts du Beaujolais (fig. 1).

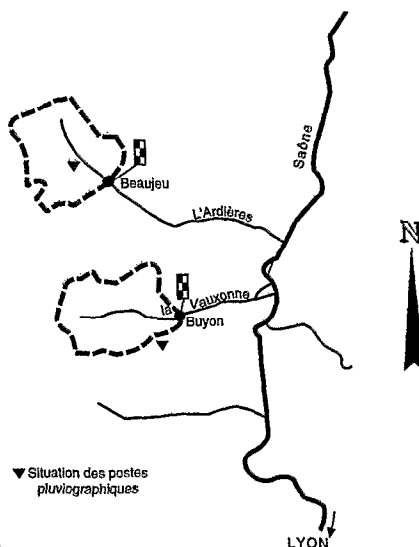


FIG. 1. — Plan de situation des bassins versants de l'Ardières et de la Vauxonne.

Chaque bassin versant est caractérisé par une entité végétale bien différenciée : la vigne (70 % de la superficie) pour le bassin versant de la Vauxonne et la forêt (90 % de la superficie) représentée majoritairement par des résineux (feuillus) pour le bassin versant de l'Ardières.

Les crues observées sur le bassin de la Vauxonne surviennent en général sur un sol nu, en dehors de la période végétative de la vigne (mai à novembre), ce qui n'est pas le cas pour le bassin versant forestier de l'Ardières. Dans la suite de notre démarche, nous considérons donc comme indissociable le doublet « entité végétale-sol ».

Bien que recevant de plus faibles précipitations que l'Ardières, le bassin versant de la Vauxonne présente comparativement des crues deux fois plus intenses et un temps de réaction aux précipitations beaucoup plus rapide.

Mise à part l'entité végétale qui les différencie, les bassins versants de l'Ardières et de la Vauxonne présentent un certain nombre de caractéristiques morphoclimatiques semblables (tabl. I). Cela est essentiel pour essayer d'expliquer le rôle du couvert végétal sur l'hydrologie des crues des bassins versants.

TABLEAU I  
Présentation de quelques caractéristiques des bassins versants (BV)

| Caractéristiques                     | B.V Ardières         | B.V Vauxonne         |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| relief                               | montagneux           | montagneux           |
| superficie (S)                       | 54,5 km <sup>2</sup> | 49,3 km <sup>2</sup> |
| dénivelée totale                     | 700 m                | 670 m                |
| indice de compacité                  | 1,338                | 1,406                |
| densité de drainage                  | 0,917                | 1,004                |
| forêts et prairies                   | 90% (S)              | 30% (S)              |
| vigne                                | 10% (S)              | 70% (S)              |
| substratum                           | granite              | granite              |
| pédologie                            | arènes granitiques   | arènes granitiques   |
| pluie moyenne inter-annuelle (81-88) | 966 mm               | 818 mm               |
| écart-type                           | 128 mm               | 128 mm               |
| cf. variation                        | 0,13                 | 0,16                 |

La différenciation bien marquée de la couverture végétale, des bassins versants de l'Ardières (forêt) et de la Vauxonne (vigne), est selon toute vraisemblance le paramètre le plus significatif, toutes choses égales par ailleurs, permettant d'expliquer le régime hydrologique des crues qui les caractérise.

### 3. PRÉSENTATION DU MODÈLE CR3J

La figure 2 présente le schéma conceptuel du modèle pluie-débit CR3J mis au point par EDIATNO et MICHEL (1989). La pluie journalière et l'ETP Penman décadaire interannuelle constituent ses entrées.

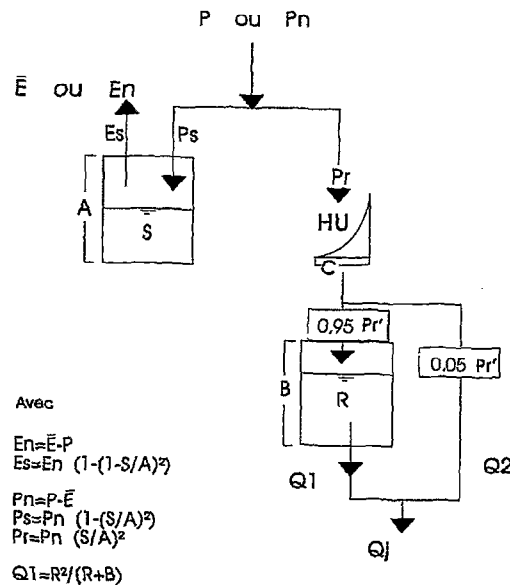


FIG. 2. — Présentation du modèle conceptuel CR3J.

Le réservoir sol (S), qui a comme seule sortie le prélèvement occasionné par l'évaporation réelle ( $E_s$ ), répartit la pluie nette ( $P_N$ ) entre lui même ( $P_S$ ) et le réservoir R ( $P_R$ ). Cette répartition est sous la dépendance de  $(S/A)^2$ ,  $A$  étant la capacité maximale de S exprimée en millimètre.

Un hydrogramme unitaire (HU), de forme parabolique, assure la fonction d'étalement de la pluie nette ( $P_R$ ) entre le réservoir de production (S) et le réservoir eau gravitaire (R). La forme continue de cet hydrogramme, si  $q(t)$  est son ordonnée en fonction de  $t$ , peut s'écrire :

$$q(t) = (3*t^2)/C^3 \quad (1)$$

où,

C est le temps de base de l'hydrogramme unitaire exprimé en jour avec :

$$\int_0^C q(t) * dt = 1$$

Le réservoir eau gravitaire (R), à vidange quadratique, délivre le débit Q1. Il est caractérisé par sa rétention maximale à un jour (B) exprimée en millimètre. Ce réservoir reçoit en début de pas de temps 95 % de la fraction de pluie nette routée ( $P_R$ ) par l'hydrogramme unitaire ; les 5 % restants introduits directement dans la rivière constituent le débit Q2.

Le débit journalier (Qj) restitué selon ce schéma conceptuel s'écrit :

$$Q_j = Q_1 + Q_2$$

#### 4. PRÉSENTATION DU MODÈLE QdF

Les travaux de GALEA et SCHUITEMA (1989), GALEA, OBERLIN et SCHUITEMA (1990), sur la synthèse régionale des crues de la région Bourgogne, ont permis d'établir un modèle (QdF) descriptif synthétique des connaissances régionales en crues au sens des VCXd (débit moyen maximal annuel sur une durée continue d).

Ce modèle QdF permet de prédéterminer des quantiles de crues en VCX(T,d) sur des sites non jaugés, de superficie très variable (quelques hectares à plusieurs centaines de km<sup>2</sup>), connaissant les paramètres locaux D (durée caractéristique de crue du bassin versant au sens de la méthode « Socose », (Cemagref, 1980) ; cf. quelques explications ultérieures) et QIXA10 (débit instantané maximal annuel décennal).

GALEA et LIXIN JIN (1990), ainsi que certains travaux en cours notamment dans le cadre du projet européen Friend, ont montré que ce modèle QdF à vocation régionale pouvait avoir une représentativité étendue à d'autres bassins versants de régions différentes.

Les équations du modèle QdF définies pour d (durée continue exprimée en heures)

$$0,0003 \leq d(h) \leq 720$$

et T (période moyenne exprimée en années de retour) sont les suivantes :

pour,

$$0,50 \leq T(\text{an}) \leq 20$$

$$VCX(T,d) = [E * \ln(T) + F] * QIXA10 \quad (2)$$

avec,

$$E = 1/(2,635*d/D + 6,19) + 0,016$$

$$F = 1/(1,045*d/D + 2,385) + 0,172$$

et pour,

$$20 < T(\text{an}) \leq 1\ 000$$

$$VCX(T,d) = VCX(T=10,d) + [G * \ln(1 + (E/G)*(T-10)/10)] * QIXA10 \quad (3)(2)$$

avec,

$$G = 1/(1,083 * d/D + 1,75)$$

## 5. DÉFINITION DES OUTILS STATISTIQUES

Dès à présent, nous définissons les outils utilisés à partir desquels sera donnée une traduction statistique (quantiles de crue) des écoulements (observés ou simulés) liés à chaque entité végétale.

### 5.1. STATISTIQUES SUR LES DÉBITS OBSERVÉS OU SIMULÉS

Sur les échantillons de débits (VCXd) supérieurs à un seuil et définis pour plusieurs durées continues d ( $1s \leq d \leq 30 j$ ), nous ajustons sur les 2n plus fortes valeurs (n = nombre d'années), par le maximum de vraisemblance, un modèle de renouvellement (binôme : loi de Poisson + loi exponentielle) d'équation générale :

$$VCX(T,d) = Gq(d) * \ln(T) + VCXo(d) \quad (4)$$

et défini pour  $0,5 \leq T(\text{an}) \leq 20$

avec,

$Gq$  = gradex des débits

$VCXo$  = paramètre de position de la loi

### 5.2. EXTRAPOLATION DES QUANTILES DE CRUES OBSERVÉS OU SIMULÉS AUX FRÉQUENCES RARES

— pour  $d > D/2$  et  $T > 20$  ans

La forme d'extrapolation (5), aux fréquences rares, de la distribution des échantillons de débits observés, par le gradex des pluies maximales est celle établie par MICHEL (1982).

$$VCX(T,d) = VCX(T=10,d) + Gp(d) * \ln[1 + Gq(d) * (T-10) / (Gp(d) * 10)] \quad (5)$$

où,

$Gp(d)$  = gradex des pluies maximales sur la durée continue d

— pour  $d = 1$  seconde (instantané) et  $T > 20$  ans

L'extrapolation de la distribution des débits instantanés maximaux (QIX) aux fréquences rares est effectuée à partir de la relation (6) de COLIN *et al.* (1977).

$$QIX(T) = \lambda(Cq, Cr, T) * \bar{r} * VCX(T, d=D) \quad (6)$$

où,

$\bar{r}$  = moyenne de l'échantillon  $r = QIX/VCX_D$

$\lambda$  = variable qui dépend selon COLIN *et al.* (1977) des coefficients de variation de  $VCX_D$  ( $Cq$ ) et de  $r$  ( $Cr$ ) ainsi que de  $T$

## 6. VALIDATION DU MODÈLE GR3J SUR LA VAUXONNE ET L'ARDIÈRES

### 6.1. CARACTÉRISATION DES PARAMÈTRES A, B ET C PAR L'ENTITÉ VÉGÉTALE

Le but recherché est d'identifier les trois paramètres du modèle GR3J (A, B et C) qui régissent la dynamique de l'écoulement des bassins versants de la Vauxonne et de l'Ardières. Le tableau II, déduit de l'étude réalisée par AHMAD, BREIL et GALEA (1991), récapitule les valeurs des différents jeux de paramètres (A, B, C) optimisés (au sens des moindres carrés) pour chaque année (81 à 86), ainsi que le jeu moyen (écart-type et coefficient de variation) relatif à chaque bassin versant. Les paramètres A et B (coefficient de variation) du bassin versant de la Vauxonne, comparativement à ceux du bassin versant de l'Ardières (tabl. II), montrent une plus grande sensibilité à la pluie d'entrée (tabl. I : voir coefficient de variation de la pluie annuelle). Cela n'est pas en contradiction avec le rôle de l'entité végétale sur l'écoulement qui se traduit, pour le bassin versant de l'Ardières, par une plus grande inertie des réservoirs S et (surtout) R.

Ce jeu moyen de paramètres A, B et C permet de valider (tabl. III) le modèle GR3J sur toute la période commune (pluie-débit : 81-88) aux bassins versants. Le critère de Nash est un peu moins bon pour le bassin de la

TABLEAU II  
Jeux de paramètres (modèle GR3J) optimisés pour chaque BV et chaque année ;  
jeu moyen (écart-type et coefficient de variation)

| Année              | Paramètres (GR3J)      |                       |                       |                        |                      |                       |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
|                    | B.V Vauxonne (vigne)   |                       |                       | B. V Ardières (forêt)  |                      |                       |
|                    | A(mm)                  | B(mm)                 | C(j)                  | A(mm)                  | B(mm)                | C(j)                  |
| 1981               | 217                    | 89                    | 1,010                 | -388                   | 665                  | 1,357                 |
| 1982               | 198                    | 69                    | 1,033                 | 354                    | 639                  | 1,336                 |
| 1983               | 213                    | 74                    | 1,028                 | 403                    | 652                  | 1,375                 |
| 1984               | 219                    | 81                    | 1,016                 | 330                    | 665                  | 1,403                 |
| 1985               | 240                    | 86                    | 1,010                 | 327                    | 602                  | 1,436                 |
| 1986               | 308                    | 95                    | 1,001                 | 344                    | 665                  | 1,424                 |
| moyenne            | $\bar{A}(mm)$<br>232,5 | $\bar{B}(mm)$<br>82,3 | $\bar{C}(j)$<br>1,016 | $\bar{A}(mm)$<br>357,7 | $\bar{B}(mm)$<br>648 | $\bar{C}(j)$<br>1,389 |
| écart-type<br>(mm) | 39,37                  | 9,67                  | 0,012                 | 31,25                  | 24,82                | 0,039                 |
| cf. variation      | 0,17                   | 0,12                  | 0,01                  | 0,09                   | 0,04                 | 0,03                  |

Vauxonne que pour celui de l'Ardières ; il traduit en quelque sorte la plus grande sensibilité de A et B vis à vis de la pluie d'entrée.

**Nota :** lorsque la pluie journalière locale n'est pas suffisamment représentative de la pluie moyenne de bassin, GR3J permet d'optimiser un 4<sup>e</sup> paramètre (amélioration de la fonction critère) représentant le coefficient de pondération de la pluie journalière ponctuelle locale, soit 1,23 pour le poste pluviométrique de Blace et 1,27 pour celui de St Didier. Ces coefficients de pondération relativement voisins ne sont pas susceptibles d'introduire une distorsion quant aux conclusions ultérieures.

## 6.2. RÔLE DE L'ENTITÉ VÉGÉTALE SUR L'ÉCOULEMENT JOURNALIER JUGÉ À TRAVERS A, B ET C

Le tableau II permet de montrer que les valeurs moyennes des paramètres A, B et C obtenues pour le bassin versant de l'Ardières sont significativement différentes de celles du bassin versant de la Vauxonne. Elles traduisent, dans une certaine mesure, l'influence de l'entité végétale sur les crues des bassins versants.

En effet, comparativement au bassin versant de l'Ardières, la faible capacité de stockage du réservoir S et surtout de R (huit fois plus faible) du bassin versant de la Vauxonne induit, d'une manière générale, une plus grande nervosité (volume, débit de pointe) du routage des crues.

La fonction d'étalement de la pluie, dont l'opérateur linéaire (1) mis sous sa forme discrétisée peut s'écrire :

$$Q_j = \int_{j-1}^j q(t) dt = (3j^2 - 3j + 1)/C^3, \quad (7)$$

apporte un surcroît de « nervosité » à l'écoulement en crue du bassin versant de la Vauxonne. Ainsi, si nous appliquons cette forme discrétisée de l'HU à une pluie journalière, nous constatons que :

— pour le bassin versant de la Vauxonne, 95,3 % de la pluie arrive au réservoir R le jour même et 4,7 % le jour suivant,

— pour le bassin versant de l'Ardières, seulement 37,3 % de la pluie y arriveront le jour même contre 62,7 % le jour suivant.

TABLEAU III  
Quelques tests d'adéquation du modèle GR3J relativement comparables d'un bassin versant à l'autre.

| Tests d'adéquation de GR3J   | B.V Vauxonne         | B.V Ardières         |
|--|----------------------|----------------------|
| NASH (%)   | 72,1                 | 83,7                 |
| erreur de bilan (%)  | -3,8                 | 3,8                  |
| contrôle en hautes eaux<br>ratio des durées cumulées (j) de<br>dépassement où $Q_j > 4 \cdot QA$ | $Q_c/Q_o$<br>104/104 | $Q_c/Q_o$<br>62/40   |
| contrôle en basses eaux<br>ratio des durées cumulées (j) de<br>non dépassement où $Q_j < QA/4$   | $Q_c/Q_o$<br>736/872 | $Q_c/Q_o$<br>563/566 |

$$\text{NASH} (\%) = 100 * [1 - \sum (Q_o - Q_c)^2 / \sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2]$$

où,

$Q_o$  = débit journalier observé

$Q_c$  = débit journalier calculé (GR3J)

Bilan (%) =  $100 * \sum (Q_o - Q_c) / \sum Q_o$

$QA$  = module interannuel

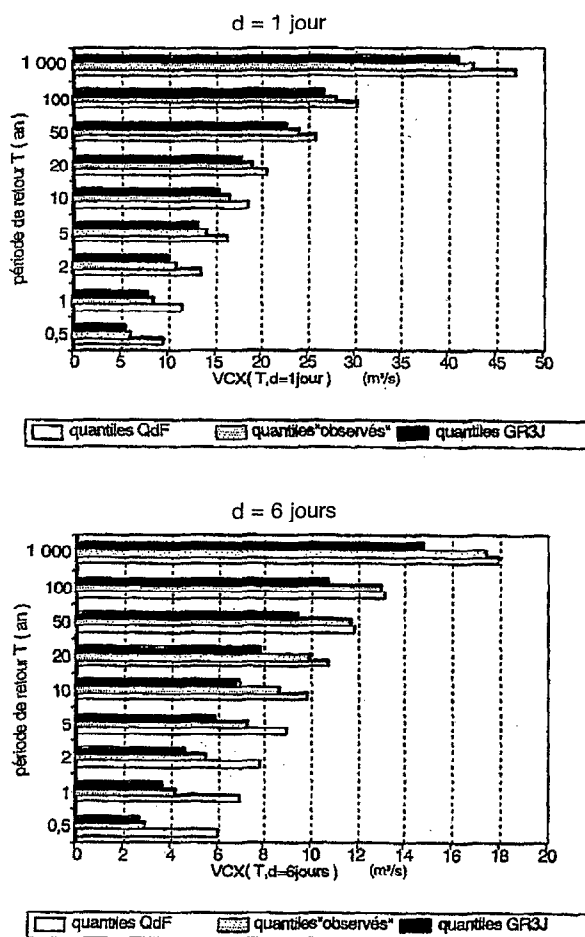


FIG. 3. — Validation des modèles GR3J et QdF sur le BV : Vauxonne à Buyon (49,3 km<sup>2</sup>) pour un pas de temps donné.

À travers ce schéma conceptuel du modèle GR3J, nous venons de confirmer le rôle modérateur qu'exerce un sol forestier (résineux, feuillus), contrairement à un sol nu de vignoble (vigne hors période végétative), sur les crues.

6.3. APPLICATION DES « OUTILS » STATISTIQUES

Le modèle GR3J permet de simuler, à partir de la série pluviométrique (1973-1988) des postes météorologiques de Blace et de St Didier, les chroniques respectives de débits journaliers de la Vauxonne à Buyon et de l'Ardières à Beaujeu.

La comparaison des quantiles de crues (fig. 3 et 4), déduits de l'application des outils statistiques aux chroniques de débits simulés (1973-1988) et observés sur la Vauxonne (1981-1989) et sur l'Ardières (1969-1989), permet de confirmer la validation du modèle GR3J (première validation (81-88), tabl. III). Nous noterons cependant que son adéquation est meilleure pour le bassin versant de l'Ardières (fig. 4) que pour celui de la Vauxonne (fig. 3). Cela est à rapprocher du fait que près de 84 % de variance sont expliqués pour le bassin versant de l'Ardières contre 72 % pour celui de la Vauxonne (tabl. III). Par ailleurs la série de débit simulée a une durée relativement équivalente à celle observée pour le bassin forestier, ce qui n'est pas le cas pour le bassin de vignoble d'où là aussi un biais statistique possible (dans le même sens). De ce qui précède, nous dirons que l'ordre de grandeur des écarts entre quantiles observés et simulés pour le bassin versant de la Vauxonne, à défaut d'être négligeable est acceptable. En définitive les simulations effectuées donnent des résultats statistiques plutôt légèrement surestimés pour l'Ardières et sous-estimés pour la Vauxonne, ceci allant dans le sens des conclusions qui seront faites ultérieurement.

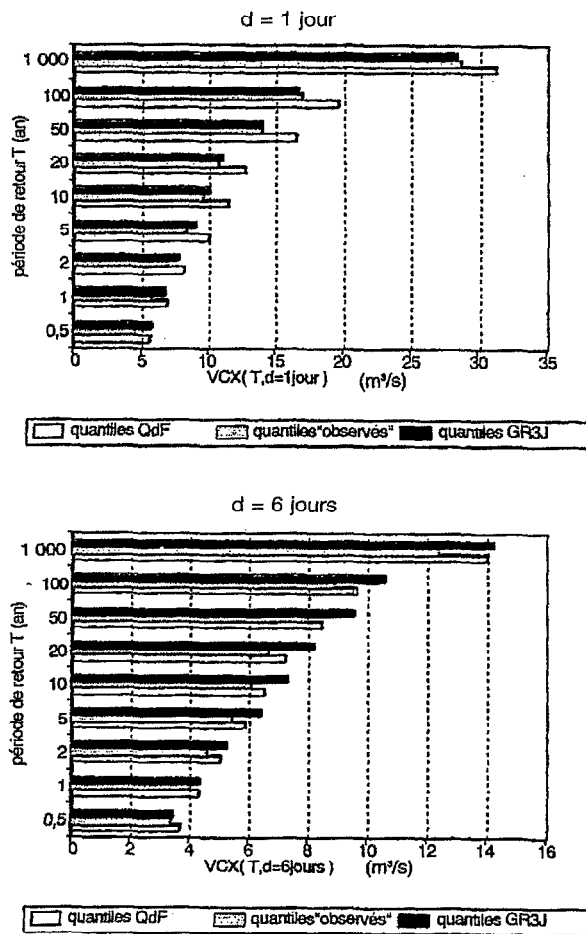


FIG. 4. — Validation des modèles GR3J et QdF sur le BV : Ardieres à Beaujeu (54,5 km<sup>2</sup>) pour un pas de temps donné.



## 7. VALIDATION DU MODÈLE QdF

Le transfert de quantiles de débit, par application des équations (2) et (3), nécessite de connaître les caractéristiques locales QIXA10 et D relatives à chaque bassin versant.

L'ajustement des valeurs de débit instantanées supérieures à un seuil, à un modèle de type renouvellement, permet d'en déduire pour le bassin versant de l'Ardières un débit instantané décennal de  $14,6 \text{ m}^3/\text{s}$  (QIXA10 =  $14,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et de  $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le bassin versant de la Vauxonne (QIXA10 =  $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). En ce qui concerne la définition statistique de D (Cemagref, 1980), relative à l'échantillon de crues inventorié d'un bassin versant, elle correspond à la valeur de la médiane conditionnelle des ds (temps ds (en ordonnée) pendant lequel la moitié du débit de pointe ( $q_s$ ) d'une crue donnée est dépassé) pour la valeur de  $q_s$  (en abscisse) égale au débit instantané décennal précédemment déterminé ( $q_s = \text{QIXA10}$ ). Ainsi, l'analyse statistique des couples ds,  $q_s$  des crues de chaque bassin versants, permet d'en déduire D = 13 heures pour le bassin versant de la Vauxonne et D = 27 heures pour le bassin versant de l'Ardières.

Les figures 3, 4 et 5 illustrent l'adéquation acceptable du modèle QdF à représenter l'écoulement en crue observé des deux bassins versants, avec cependant une moins bonne restitution des quantiles de crue de la Vauxonne (fig. 3) pour  $T \leq 2$  ans. Par ailleurs, son adéquation est relativement comparable à celle du modèle GR3J.

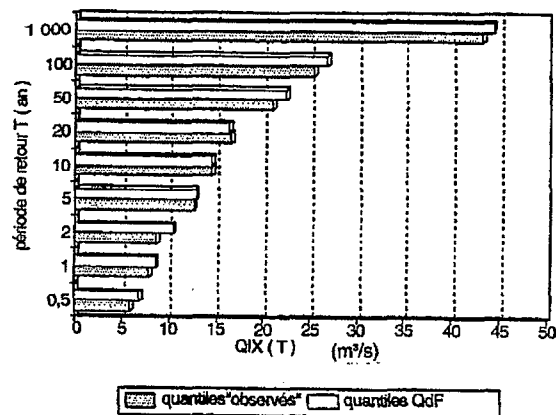
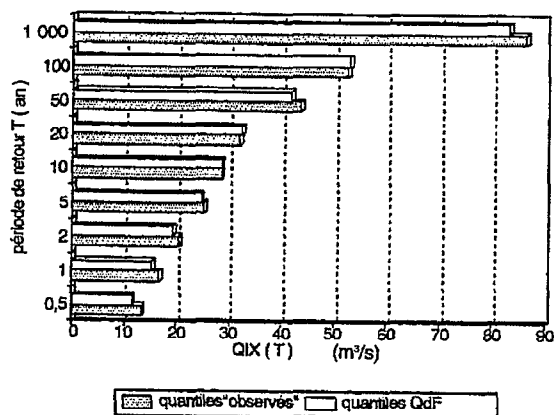
BASSIN VERSANT DE L'ARDIERES A BEAUJEU (S = 54,5 km<sup>2</sup>)BASSIN VERSANT DE LA VAUXONNE A BUYON (S = 49,3 km<sup>2</sup>)

FIG. 5. — Validation du modèle QdF sur le pas de temps instantané.

## 8. EXEMPLE DE SIMULATION DU RÔLE DU COUVERT VÉGÉTAL SUR LES CRUES

### 8.1. CHOIX DE LA PLUIE « FICTIVE »

Nous venons de montrer que l'approche par modèle, de type conceptuel global (GR3J) ou régional (QdF), de l'écoulement en crue observé sur les bassins versants de la Vauxonne et de l'Ardières, a permis l'identification d'un jeu de paramètres représentatif de chaque régime observé, fortement différencié d'un bassin à l'autre de par le contraste végétal (vigne-forêt) en présence.

La suite de notre démarche consiste à simuler à partir des deux modèles, pour une même pluie « fictive » d'entrée, les écoulements relatifs à chaque entité végétale. Lors de la simulation nous tiendrons compte du caractère plus ou moins modéré du régime pluviométrique pour nuancer, en particulier, l'effet du contraste végétal (vigne-forêt) sur les quantiles de crues. Pour cela, nous retiendrons les postes pluviométriques de Nantes et des Chartreux (nord-est de Grenoble), gérés par Météo-France depuis environ quinze ans (1973-1987), respectivement représentatifs d'un régime pluviométrique modéré (type océanique) et d'un régime pluviométrique plus intense (type continental alpin).

### 8.2. CARACTÉRISATION DES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES

Les figures 6 et 7 permettent de différencier les régimes pluviométriques, respectivement au niveau de la pluie annuelle et des quantiles de pluies maximales (1 j et 3 j) établis pour les fréquences observables ( $0,5 \leq T(\text{an}) \leq 20$ ).

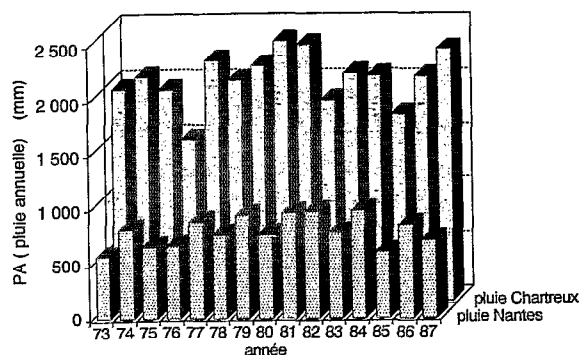


FIG. 6. — Régime pluviométrique des deux postes. Pluie annuelle.

En moyenne interannuelle (1973-1987), il est enregistré au poste pluviométrique de Nantes 796 mm, contre 2 042 mm au poste des Chartreux ; le rapport des quantiles de pluies maximales est bien supérieur à deux (fig. 7).

### 8.3. COMPARAISON DES QUANTILES DE CRUES JOURNALIERS SIMULÉS GR3J ET QdF

L'analyse statistique des simulations effectuées à partir de GR3J permettent de constater (fig. 8 et 9) que, quelle que soit l'entité végétale, le passage d'un régime pluviométrique (fig. 7) dit modéré (Nantes) à plus intense (Chartreux) se traduit par des quantiles ( $0,5 \leq T(\text{an}) \leq 20$ ) de débits journaliers de crue environ quatre fois plus forts.

La modélisation QdF est essentiellement mise en œuvre ici pour pouvoir passer aux quantiles de crues instantanés (cf. ultérieurement) ; ce que ne permet pas GR3J. Celle-ci a nécessité la définition préalable, pour chaque contexte pluviométrique « fictif », des nouvelles caractéristiques locales D et QIXA10 (tabl. IV) relatives à chaque bassin versant. Compte-tenu des résultats d'adéquation des deux modèles, présentés antérieurement (fig. 3, 4 et 5),

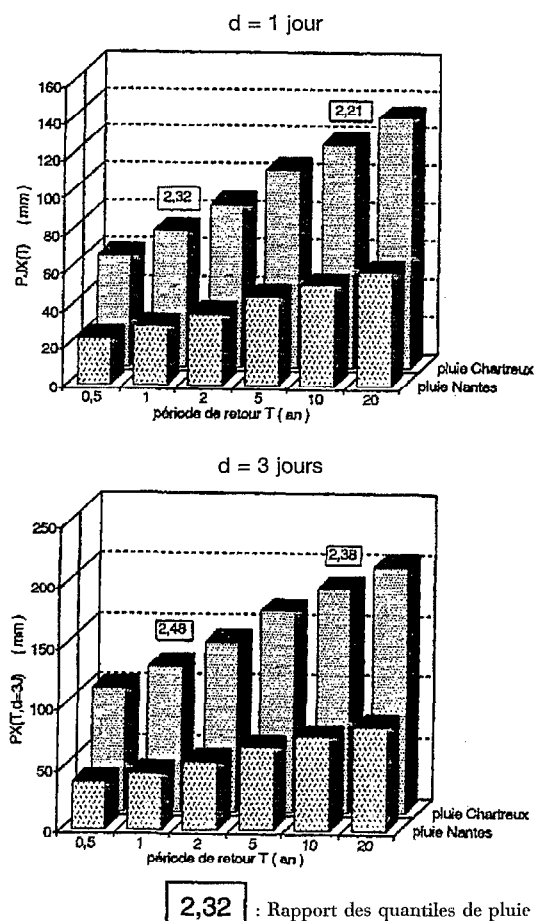


FIG. 7. — Caractérisation du régime pluviométrique des deux postes par les quantiles de pluies respectifs.

à simuler l'écoulement naturel des bassins versants, celles-ci ont été estimées pour satisfaire au mieux l'ordre de grandeur des quantiles de crues ( $1 \leq d(\text{jour}) \leq 30$ ) déduits de l'analyse statistique des chroniques de débits journaliers simulées par GR3J. Les résultats issus du modèle QdF (fig. 8 et 9) sont donc donnés à titre de vérification des caractéristiques locales identifiées. Autrement dit, le modèle QdF peut traduire au niveau des quantiles de crues l'évolution des caractéristiques locales D et QIXA10.

TABLEAU IV  
Identification des caractéristiques locales pour chaque contexte pluviométrique

| Bassin Versant | Poste pluviométrique | QIXA10<br>(m <sup>3</sup> /s) | D<br>(h) |
|----------------|----------------------|-------------------------------|----------|
| Vauxonne       | Nantes               | 15                            | 15       |
|                | Chartreux            | 55                            | 11       |
| Ardières       | Nantes               | 7,5                           | 40       |
|                | Chartreux            | 32                            | 27       |

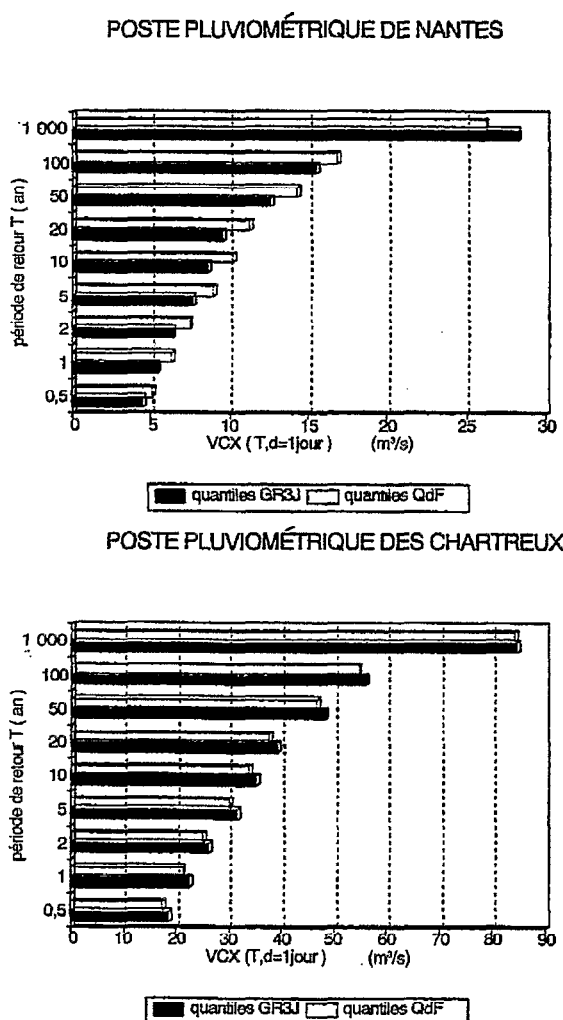


FIG. 8. — Comparaison des quantiles de crues journaliers « vignoble » simulés à partir de GR3J et QdF pour un poste pluviométrique donné.

## 9. EFFETS COMPARATIFS DU RÔLE DE L'ENTITÉ VÉGÉTALE SUR LES QUANTILES DE CRUES

### 9.1. CHOIX DE L'UNITÉ D'EXPRESSION (M<sup>3</sup>/S) DES QUANTILES DE CRUES

Les quantiles de crues, liés à chaque entité végétale, sont exprimés en m<sup>3</sup>/s et sont relatifs aux superficies des bassins versants correspondants. Nous avons considéré que la différence de superficie (5,2 km<sup>2</sup>), à l'avantage de l'Ardières, ne biaisait pas significativement les résultats issus des comparaisons de quantiles. Nous admettons donc que la superficie de référence est d'environ 50 km<sup>2</sup>.

### 9.2. QUANTILES DE CRUES (0,5 ≤ T (AN) ≤ 1 000) INSTANTANÉS (QdF)

Le modèle QdF permet, connaissant QIXA10 relatif à chaque bassin versant, de simuler les quantiles de crues instantanés, pour un contexte pluviométrique donné. Le changement de régime pluviométrique (fig. 10) a une inci-

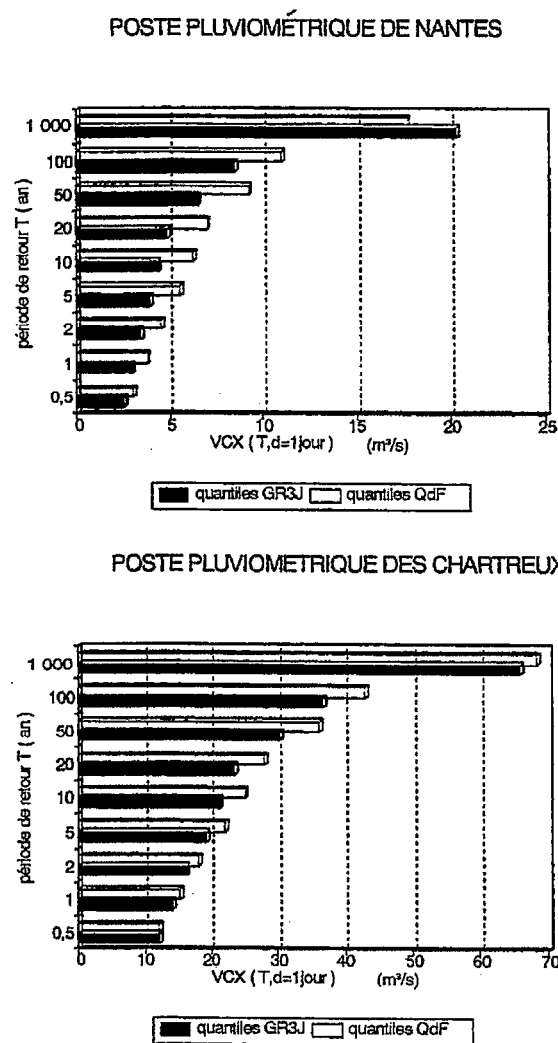


FIG. 9. — Comparaison des quantiles de crues journaliers « forêt » simulés à partir de GR3J et QdF pour un poste pluviométrique donné.

dence plus marquée sur les quantiles de crues de la forêt (4,3 fois plus forts) que sur ceux des vignobles (3,7 fois plus forts).

Autrement dit (fig. 10), le passage d'un régime pluviométrique modéré à plus intense se traduit par une diminution du pouvoir de régulation de la forêt (rapport de 2 à 1,72) sur les quantiles de crues instantanés.

### 9.3. QUANTILES DE CRUES ( $0,5 \leq T \text{ (AN)} \leq 1\,000$ ) JOURNALIERS (GR3J)

La figure 11 représente, pour chaque entité végétale prise dans un contexte pluviométrique donné, l'évolution des quantiles de débits journaliers maximaux avec la période de retour. De même que précédemment, nous constatons que le rôle de régulation (quantile vignoble/quantile forêt) de la forêt est, pour toute période de retour, plus faible en régime pluviométrique intense (continental alpin) que modéré (océanique).

Compte-tenu des hypothèses d'extrapolation (6) des débits aux fréquences rares ( $T > 20$  ans), il semblerait que, comparativement au vignoble, seule la période de retour millénale montrerait un rôle modeste de régulation de la forêt et ce d'autant plus que le régime pluviométrique serait plus intense (1,39 à 1,28).

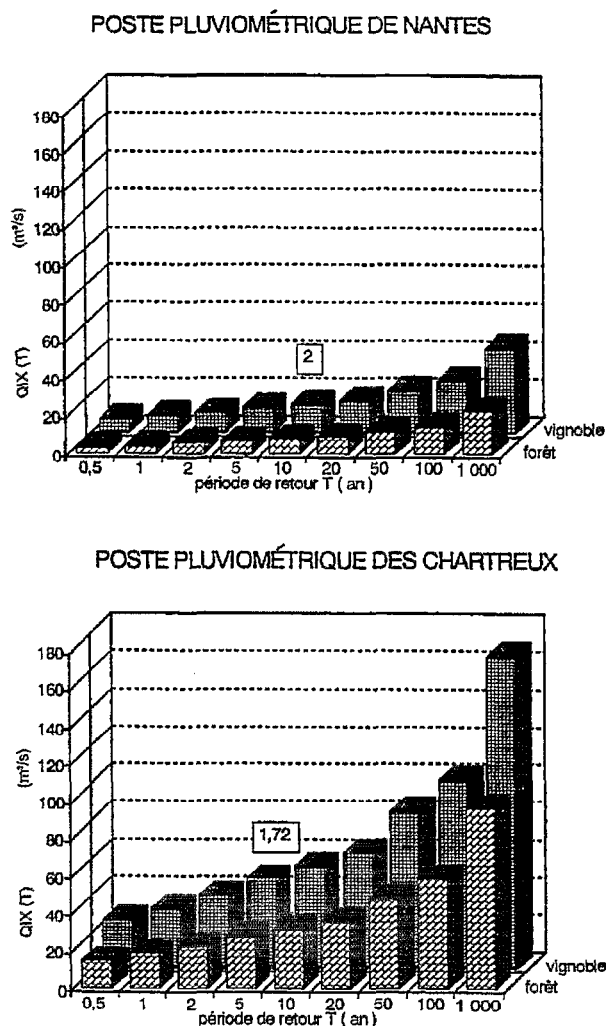


FIG. 10. — Simulation à partir de QdF de l'influence de la végétation sur les quantiles de crues instantanées pour un poste pluviométrique donné.

9.4. QUANTILES DE CRUES QUINQUENNAL ET CENTENNAL DE DIFFÉRENTES DURÉES ( $1s \leq d \leq 30 j$ )

Les figures 12 et 13 montrent respectivement l'effet relatif de l'entité végétale, sur un quantile de crue quinquennal et centennal de différentes durées ( $1s \leq d \leq 30 j$ ), pour un contexte pluviométrique donné.

9.5. CONCLUSION PARTIELLE

Au pas de temps instantané, la forêt, comparativement au vignoble, exerce pour toute période de retour (fig. 10) un rôle d'écrêtement majeur du débit de pointe et ce d'autant plus que le régime pluviométrique est modéré.

Au pas de temps journalier (fig. 11), la tendance précédente avec le régime pluviométrique est en général conservée avec cependant un rôle modérateur de la forêt plus modeste pour les fortes ( $T > 100$  ans) périodes de retour.

Si l'on considère le rôle de l'entité végétale dans le temps, les figures 12 et 13 montrent (respectivement pour  $T = 5$  ans et  $T = 100$  ans) qu'en régime pluviométrique modéré, la forêt conserve un rôle de régulation sur l'écoulement.

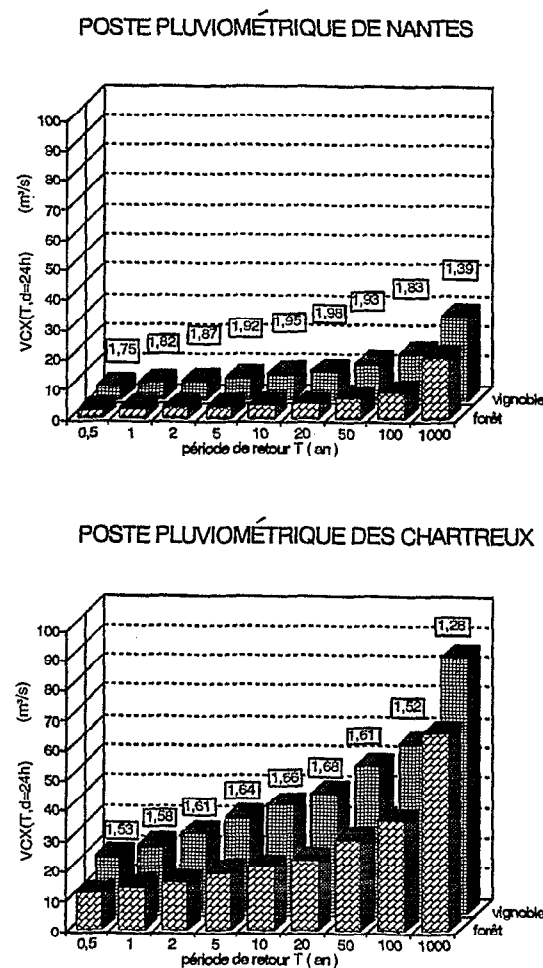


FIG. 11. — Simulation à partir de GR3J de l'influence de la végétation sur les quantiles de crues pour le pas de temps de 24 heures et un poste pluviométrique donné.

ment en crue jusqu'à 30 jours (relativement plus important pour  $T = 5$  ans que pour  $T = 100$  ans). Cela ne semble pas être le cas pour un régime pluviométrique plus intense où dès une durée supérieure à 3 jours, nous pouvons considérer que les entités végétales (vignoble-forêt) donnent des écoulements relativement comparables (quel que soit  $T$ ).

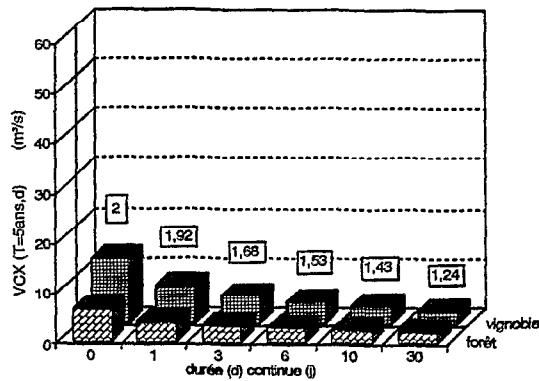
## 10. CONCLUSION GÉNÉRALE

La convergence des résultats obtenus à partir des deux modèles d'origine très différente (GR3J : conceptuel global et QdF : régional, descriptif synthétique), tant en validation qu'en simulation, permet de conforter l'approche, à travers une modélisation de l'écoulement de petits bassins versants du Beaujolais ( $S = 50 \text{ km}^2$ ), de l'effet du contraste végétal (forêt-vignoble) sur l'hydrologie des crues.

Le schéma conceptuel de GR3J nous a permis de mettre en évidence, comparativement au vignoble, certains aspects modérateurs de la forêt sur les crues. En particulier une plus faible production de pluie nette, par le réservoir S ( $A = 358 \text{ mm}$  pour  $233 \text{ mm}$ ), participant à l'écoulement du jour même pour seulement 37 % (63 % le jour suivant) au lieu de 95 % dans le cas du vignoble et la grande capacité de stockage (à un jour) du réservoir R ( $B = 648 \text{ mm}$  pour  $82 \text{ mm}$ ) dont le rôle est prépondérant dans la genèse des crues.

Les traitements statistiques des simulations effectuées à partir de GR3J et QdF, pour une pluie « fictive » à caractère modéré (régime océanique) ou plus intense (régime continental alpin), ont permis de montrer l'influence du

POSTE PLUVIOMÉTRIQUE DE NANTES



POSTE PLUVIOMÉTRIQUE DES CHARTREUX

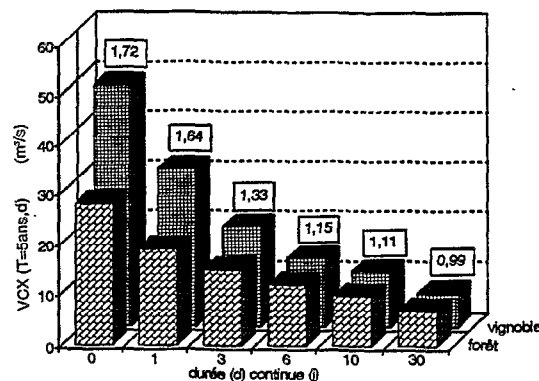


FIG. 12. — Simulation à partir de GR3J de l'influence de la végétation sur le quantile de crue quinquennal (T = 5 ans) de différentes durées et pour un poste pluviométrique donné.

couvert végétal, toutes choses égales par ailleurs, sur les quantiles de crues. Des résultats obtenus il s'en suit, pour un petit bassin versant ( $S = 50 \text{ km}^2$ ) du Beaujolais, qu'un sol forestier, comparativement à un sol de vignoble, a un rôle d'autant plus modérateur sur les crues que le régime pluviométrique est peu intense et que la durée (d) des quantiles de débit VCX(T,d) est courte. Nous avons pu constater que la forêt conserve un rôle majeur d'écrêtement des débits de pointe pour toute période de retour, rôle qui est plus nuancé pour les quantiles non instantanés.

Les résultats obtenus ne doivent pas être généralisés car il s'agit là d'un cas particulier voulant illustrer, à travers la méthodologie mise en œuvre, un ordre d'idée des différences de comportement en crue de divers types d'occupation des sols. La méthodologie, quant à elle, pourrait être transposée sur d'autres sites dont la forte différenciation des écoulements (ex : BVRE du Mt Lozère) permettrait des comparaisons intéressantes.

REMERCIEMENTS

Les données hydrométriques, disponibles sur la banque nationale Hydro, et pluviométriques ont été pour l'essentiel recueillies par le SRAE Rhône-Alpes. Une version en langue anglaise de cette note a été présentée à la 4e assemblée générale du réseau euro-méditerranéen de BVRE, à Oxford, en septembre-octobre 1992.

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 5 octobre 1993*



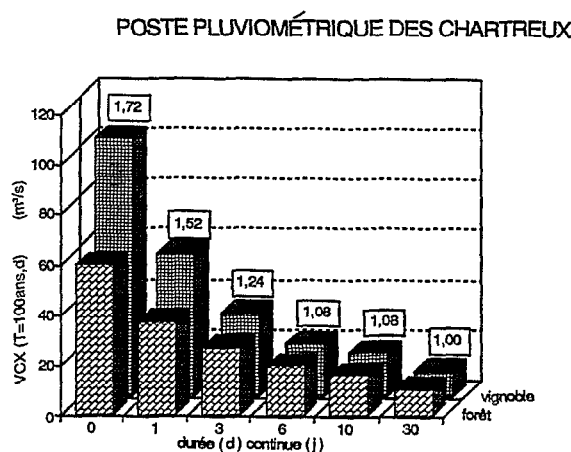
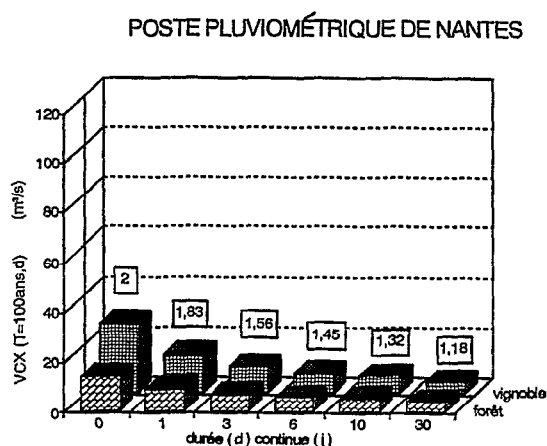


FIG. 13. — Simulation à partir de GR3J de l'influence de la végétation sur le quantile de crue centennial ( $T = 100$  ans) de différentes durées et pour un pluviométrique donné.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AHMAD (A.), BREIL (P.), GALEA (G.), 1991. — *Caractérisation de l'influence du couvert végétal sur les crues de l'Ardières à Beaujeu et de la Vauxonne à Buyon par les modèles GR3J et QdF*. Cemagref Lyon, Division hydrologie hydraulique ; ENITPE Lyon.
- Cemagref (1980). — Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants, *Fascicule 2 : la méthode « Socose »*. SRAE, Diame, SH, CTCREF, I.T n° 38-2 (Juin 1980).
- COLIN (E.), MICHEL (C.) et OBERLIN (G.), 1977. — Application du calcul de la distribution d'une fonction de deux variables à l'estimation des crues. *BTGR* n° 120, CTCREF d'Antony.
- EDIJATNO, MICHEL (C.), 1989. — Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche* n° 2.
- GALEA (G.), SCHUTTEMA (N.), 1989. — *Aménagement hydraulique rationnel, courbes débits-durées-fréquences, validation d'une formulation sur la région Bourgogne et extrapolations*. Cemagref Lyon, Division hydrologie hydraulique et Landbouw Universiteit Wageningen.
- GALEA (G.), LIXIN JIN, 1990. — Modèles descriptifs synthétiques des connaissances régionales en crues, représentativité spatiale et domaine de validité. Cemagref Lyon, Division hydrologie hydraulique ; Enittrts, université Louis Pasteur, Strasbourg.
- GALEA (G.), OBERLIN (G.), SCHUTTEMA (N.), 1990. — *Modèle descriptif synthétique tri-dimensionnel des connaissances régionales en crues*. International symposium on regionalisation in hydrology April 23-26 1990 Ljubljana, Yugoslavia.
- MICHEL (C.), 1982. — *Extrapolation par la méthode du Gradex*, note interne KC.03/05/82. Cemagref d'Antony, Division hydrologie.