

# Influence de la couverture végétale sur l'hydrologie des crues du BVRE du mont Lozère (1)

Gilles GALEA (2), Denis BARBET (2)

## RÉSUMÉ

*L'étude hydrologique, analytique et statistique, menée sur les écoulements en crue des cinq bassins versants (3 globaux, 2 emboîtés) du Bassin versant de recherche et d'expérimentation (BVRE) du mont Lozère permet de montrer l'effet de la coupe forestière sur les crues du bassin versant de la Latte ( $S = 19.5$  ha).*

*Une démarche comparative ainsi qu'une modélisation débits-durées-fréquences (QdF) des quantiles de crues liés aux entités végétales (forêt de résineux, hêtraie, pelouse), représentatives des bassins versants, permettent de relativiser l'impact de cette coupe forestière sur l'hydrologie des crues du bassin versant de la Latte.*

**MOTS CLÉS :** Mont Lozère — BVRE — Débits de crues — Hydrologie statistique — Déboisement — Influence de la végétation — Modèle Débit-Durée-Fréquence.

## ABSTRACT

**INFLUENCE OF VEGETATION COVER ON THE FLOOD HYDROLOGY OF THE MONT LOZÈRE ERB**

*The hydrological study, both statistical and analytical, carried out on the flood runoff of five basins (three of them independents and the other two nested) from the Experimental and Research Basin network (ERB) of Mont Lozère, allows us to identify the effect of deforestation on the floods of Latte basin ( $A = 19.5$  ha).*

*A comparative approach and a QdF (Discharge(Q)-Duration(d)-Frequency(F)) modelling of flood quantiles influenced by the different types of vegetation (coniferous forest, beech wood, grass) specific to the basins, allows us to quantify the influence of the deforestation on the hydrological flood behaviour of the Latte basin.*

**KEY WORDS :** Mont Lozère — ERB — Flood runoff — Statistical hydrology — Deforestation — Influence of vegetation — Discharge -Duration-Frequency model.

## 1. PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE SUIVIE

Dans un premier temps, à partir d'une analyse descriptive des principales crues qui caractérisent l'écoulement des bassins versants globaux, nous donnons une appréciation « qualitative » de l'influence des déforestations successives du bassin versant de la Latte (35 % de sa superficie en 1987, 65 % en 1988 et 80 % en 1989) sur son écoulement en crue.

Dans un deuxième temps, nous montrons comment l'analyse statistique des observations hydrométriques relatives à chaque bassin versant permet, par le « biais » d'une modélisation QdF (débit-durée-fréquence), de quantifier l'influence de la couverture végétale (ou de son évolution) sur l'hydrologie des crues du bassin versant de la Latte.

(1) Gis BVRE mont Lozère (Bassin versant de recherche et d'expérimentation).

(2) Cemagref Lyon, Division hydrologie-hydraulique - 3 bis, quai Chauveau, 69336 Lyon Cedex 09.

## 2. SITUATION, DISPOSITIF DE MESURE ET INFORMATION DISPONIBLE

La figure 1, d'après DURAND (1989), situe le bassin versant représentatif expérimental (BVRE) du mont Lozère et présente son dispositif de mesure.

Nous distinguons :

- trois bassins versants globaux : Latte (S :19.5 ha), Sapine basse (S :54 ha) et Cloutasse basse (S :81 ha) dont l'entité végétale qui les caractérise est respectivement représentée par une forêt de résineux, une hêtraie et une pelouse.
- deux hauts-bassins versants : Sapine haute (S :20 ha) et Cloutasse haute (S :36 ha).

L'information hydrométrique traitée, via la base hydrométrique nationale Hydro, concerne essentiellement les débits à pas de temps variable (Q(t)) et représente environ dix années (1981-1991) pour les bassins versants globaux, huit années (1982-1990) pour Cloutasse haute et six années (1984-1990) pour Sapine haute.

En ce qui concerne l'information pluviographique « fine », seuls quelques rares hyétogrammes ont été dépouillés à partir des pluviogrammes. Les annuaires de pluies journalières ont constitué la base essentielle de l'information pluviométrique.

## 3. INFLUENCE DE LA DÉFORESTATION DU BASSIN VERSANT DE LA LATTE SUR LES CRUES OBSERVÉES

### 3.1. ÉTUDE DESCRIPTIVE DES PRINCIPALES CRUES OBSERVÉES SUR LES BASSINS VERSANTS GLOBAUX

#### 3.1.1. Considérations générales

Pour mettre en évidence l'influence de la déforestation entreprise dès 1987, sur l'écoulement en crue du bassin versant de la Latte, nous considérons l'écoulement des bassins versants de Cloutasse basse et Sapine basse comme « témoin » de la période observée (1981-1991).

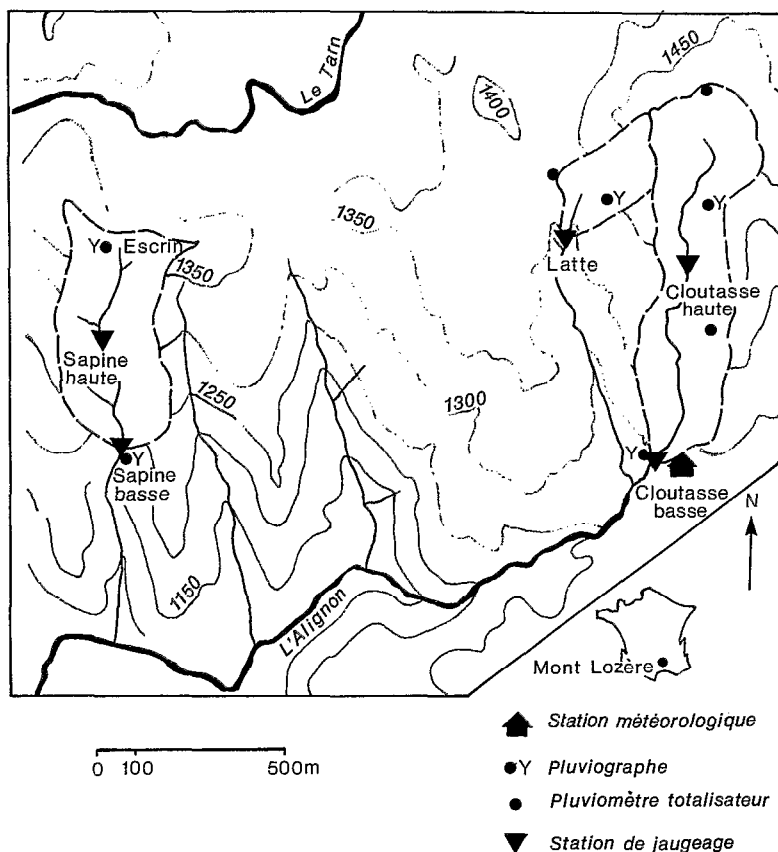


FIG. 1. — Situation des bassins versants du mont Lozère.

Cette approche descriptive porte essentiellement sur la lame écoulée relative aux différents épisodes de crues retenus. En effet la « fonction de production » peut être considérée comme objectivement dépendante, toutes choses égales par ailleurs, de l'entité végétale caractérisant chaque bassin versant.

### 3.1.2. Comparaison des crues observées le 01.12.84

Les crues observées le 01.12.84 sont données à titre d'exemple « représentatif » des onze événements étudiés, pour chaque bassin versant, sur la période 1982-1991.

La figure 2 permet de comparer les lames écoulées instantanées relatives à l'événement du 01.12.84 observé sur le bassin versant de la Latte et les bassins versants témoins de Sapine basse et Cloutasse basse.

L'événement du 01.12.84 permet de voir que la lame écoulée pour le bassin versant de la Latte est nettement moins importante que celles obtenues sur les bassins versants témoins. Autrement dit, la forêt de résineux a un rôle de stockage, toutes choses égales par ailleurs, plus important que la hêtraie et la pelouse. Si l'on associe le sol (nature, épaisseur, etc...) à l'entité végétale qui caractérise chaque bassin versant, nous entendons par « toutes choses égales par ailleurs » : le substratum qui est un sol granitique homogène, des lames d'eau précipitées comparables. L'événement du 01.12.84, observé sur le bassin versant de la Latte, est relatif à un antécédent de pluie sur 10 jours et à une lame précipitée relativement comparables à ceux des bassins versants témoins d'après GALEA et *al.* (1992).

En ce qui concerne la fonction de transfert qui détermine la forme de l'hydrogramme, elle ne peut être objectivement précisée à la simple vue de ces hydrogrammes instantanés. En effet, si celle-ci est dépendante de l'entité végétale, elle l'est tout autant par les différences de taille des bassins versants (S : 19.5 ha, 54 ha, 81 ha), de coefficients d'allongement, de forme (figure 1), de dénivelée (143 m pour Latte, 245 m pour Sapine basse, 203 m pour Cloutasse basse), etc... Cependant, compte tenu de la forme relativement comparable des crues observées sur les bassins versants globaux et des considérations précédentes, nous pouvons penser que la différenciation des couvertures végétales n'entraîne pas une profonde modification de la fonction de transfert. Selon toute vraisemblance les différences constatées au niveau des hydrogrammes instantanés semblent essentiellement liées à la production qui est différente selon l'entité végétale.

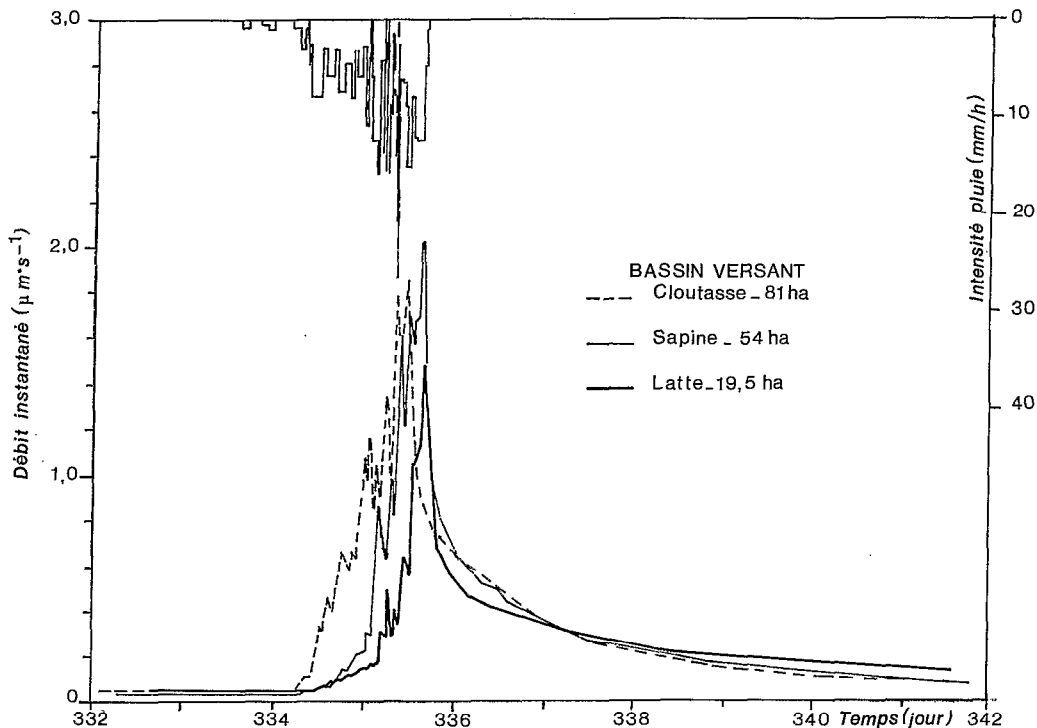


FIG. 2. — Crues du 01.12.84 observées sur les BVRE du mont Lozère et hyétogramme observé au poste pluviographique de Sapine.

Ainsi le bassin versant de pelouse réagit en moyenne plus vivement à la pluie que la hêtraie ou la forêt de résineux qui manifeste un certain retard de réaction vis à vis des bassins versants témoins. Cette constatation est à tempérer car cela suppose que le hyétogramme du poste pluviographique de Sapine soit suffisamment représentatif des bassins versants globaux, ce qui n'est certainement pas tout à fait le cas compte tenu de leur très petite taille.

### 3.2. ÉTUDE DE TENDANCE SUR L'ÉCOULEMENT DU BASSIN VERSANT DE LA LATTE

La méthode simple des doubles cumuls, en écrasant la variabilité du paramètre étudié au niveau de la moyenne, permet de montrer, toutes choses égales par ailleurs, sa tendance au cours d'une période d'observation par référence à des repères réputés « stables » dans le temps.

#### 3.2.1. Effet de la déforestation sur la lame écoulée

La figure 3 montre que comparativement aux bassins versants témoins, la tendance à partir de l'année 1987 est à une relative augmentation de la lame écoulée pour le bassin versant de la Latte. Nous ne discernons aucune tendance de la lame écoulée des bassins versants témoins.

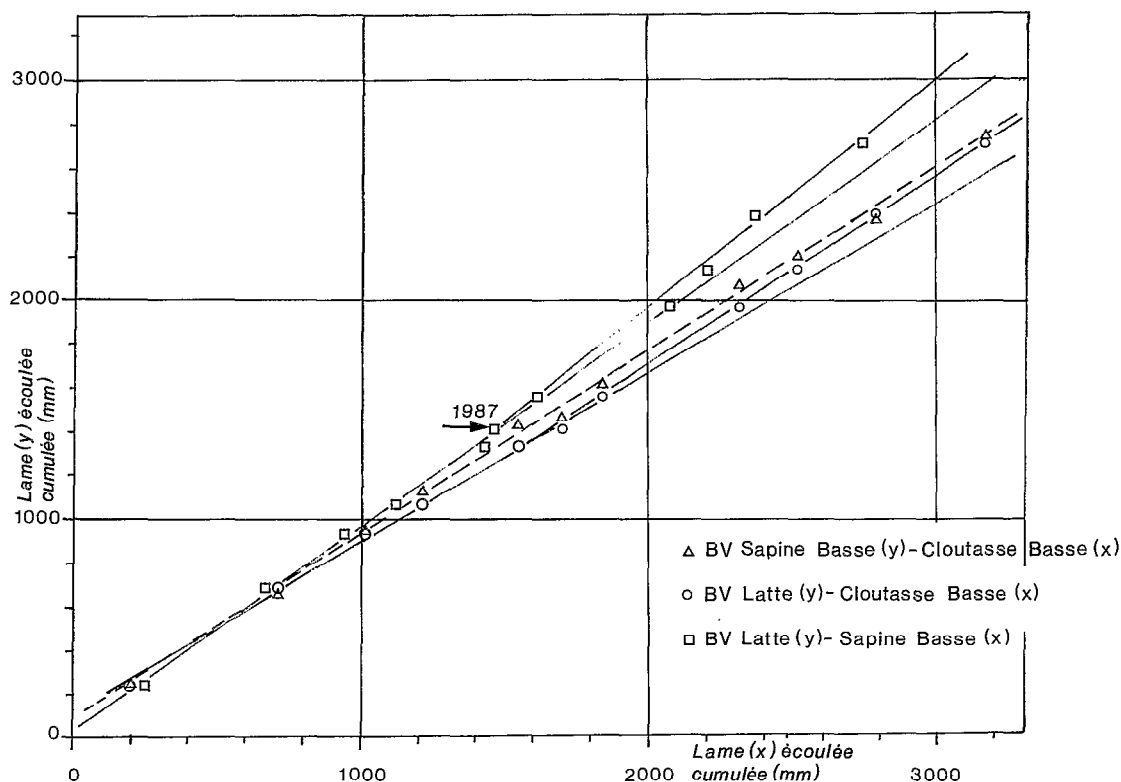


FIG. 3. — Effet de la déforestation du bassin versant de la Latte sur la lame écoulée lors des principales crues observées (1982-1991).

#### 3.2.2. Tendance pluviométrique des épisodes étudiés

Pour confirmer la tendance à l'augmentation de la lame écoulée, à partir de l'année 1987, sur le bassin versant de la Latte, il est nécessaire de vérifier que les apports pluviométriques sur le bassin versant de la Latte ne présentent

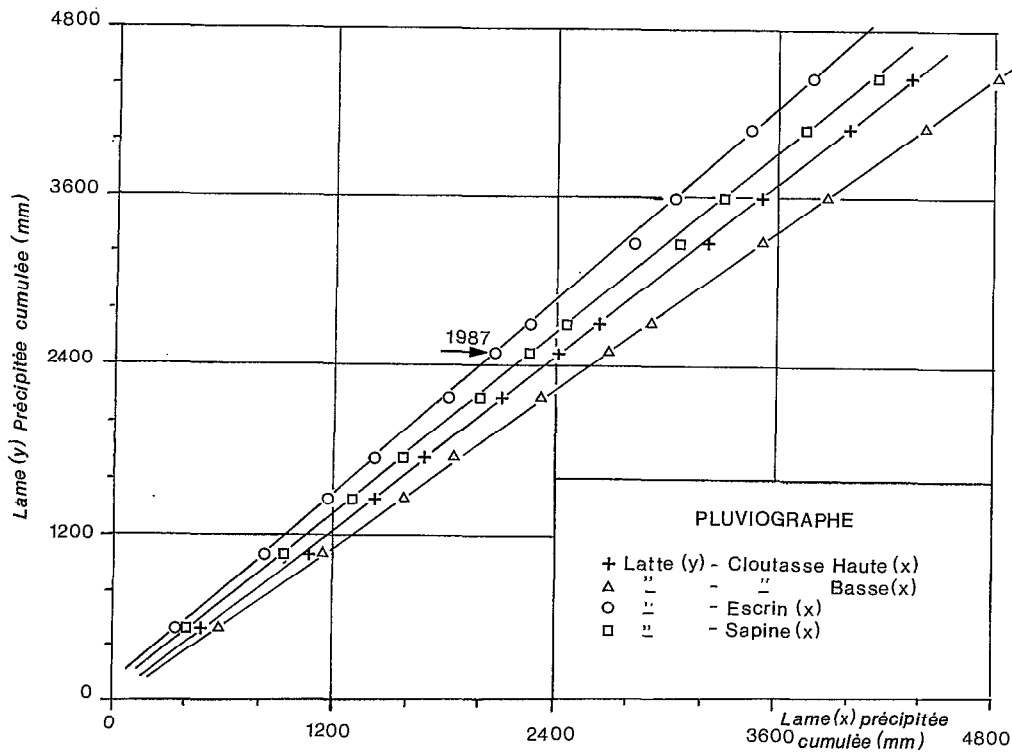


FIG. 4. — Tendance pluviométrique des épisodes pluie-débit retenus sur la période 1982-1991 pour différents postes pluviographiques.

aucune tendance vis-à-vis de ceux des bassins versants témoins. Autrement dit, il faut s'assurer que la variabilité spatio-temporelle des précipitations établie entre les cinq postes pluviographiques, depuis le début de la série d'observations (1982) n'a pas « brusquement » changé à partir de 1987, début de la déforestation sur le bassin versant de la Latte. La figure 4 permet de vérifier qu'il n'existe aucune tendance.

On remarquera qu'au niveau du cumul des précipitations pour l'ensemble des couples averse-crue retenus (période 82-91), le poste pluviographique de la Latte enregistre environ 6 % de plus de pluie que Sapine, 2 % de plus de pluie que Cloutasse basse et environ 16 % de plus de pluie que le pluviographe de l'Escrin. Le poste pluviographique de la Latte, reçoit environ 8 % de pluie de moins que celui de Cloutasse haute. Différents essais, menés par le Cemagref sur les BVRE de l'Orgeval et du Real Collobrier, ont montré qu'en dehors de toute variation spatio-temporelle des précipitations, l'erreur de captation d'un pluviographe par rapport à un pluviomètre peut atteindre 10 %.

En ce qui concerne le poste de l'Escrin, JF.DIDON, ingénieur chargé de l'exploitation du BVRE mont Lozère, considère que son défaut de captation élevé est essentiellement lié à sa situation en zone particulièrement turbulente.

Nous pouvons donc considérer, qu'hormis la structure fine des précipitations, les quantités de pluies reçues par les bassins versants sont relativement homogènes.

### 3.2.3. Tendance de « l'indice des pluies antérieures »

De même, les périodes relatives aux épisodes retenus n'entraînent pas une tendance au niveau de « l'indice d'humidité du sol » (figure 5) que représentent les pluies de 10 jours antérieures au début des couples averse-crue étudiés. Nous avons ainsi vérifié que l'état de saturation du sol ne privilégiait pas l'écoulement, relatif aux épisodes retenus, de l'un des bassins versants.

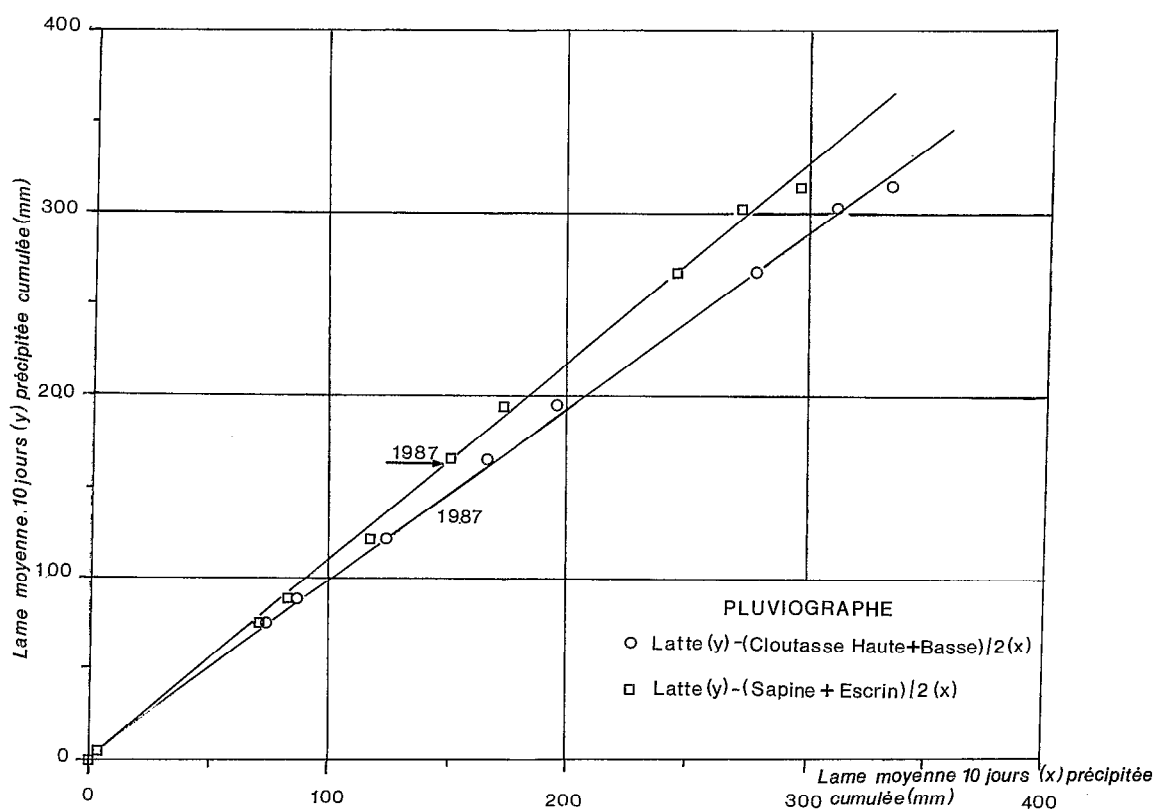


FIG. 5. — Tendance des pluies de 10 jours antérieures au début des épisodes pluie-débit retenus pour chaque bassin versant.

### 3.2.4. Tendance de la capacité maximale d'infiltration du sol ( $J$ )

Une estimation de la capacité maximale d'infiltration du sol peut être faite à partir de la fonction de production du Soil Conservation Service of USA ; pour plus de détails on se reportera à l'étude de LEFRANC (1986). La relation du SCS a pour équation :

$$R_n = (PE - 0.2 * J)^2 / (PE + 0.8 * J) \quad (1)$$

où :

- $R_n$  = écoulement net (mm), sera pris égal au volume écoulé sur la période de l'épisode (faible débit de base)
- $PE$  = pluie efficace, responsable de la crue (mm)
- $J$  = capacité maximale d'infiltration ou interception potentielle (mm)

Pour le bassin versant de Sapine basse et de Cloutasse basse nous considérons respectivement la pluie efficace du poste pluviographique de Sapine et de Cloutasse haute comme les plus représentatives de la pluviométrie relative à chaque bassin versant. Le choix de ces postes se justifie du fait de la mauvaise situation de l'Escrín (zone de turbulence) et de la situation en général reconnue comme hydrologiquement meilleure du poste pluviographique de Cloutasse haute (1/3 amont du bassin versant) vis à vis de celle du poste de Cloutasse basse (exutoire du bassin versant).

Les estimations de «  $J$  » (1) relatives aux épisodes de crues observés sur les bassins versants de la Latte, Sapine basse et Cloutasse basse nous permettent de déduire, pour chaque bassin versant, une valeur moyenne de «  $J$  » sur

toute la période d'observations (82-91) ainsi que de part et d'autre de « l'année charnière » 1987. Les résultats sont les suivants :

TABLEAU I

| BASSIN VERSANT              | « $\bar{J}$ » (mm) |       |       |
|-----------------------------|--------------------|-------|-------|
|                             | 82-91              | 82-86 | 87-91 |
| Latte (S = 19.5 ha)         | 199                | 202   | 197   |
| Sapine basse (S = 54 ha)    | 175                | 121   | 219   |
| Cloutasse basse (S = 81 ha) | 190                | 206   | 177   |

Nous rappelons que l'année charnière 1987 qui correspond au début de la déforestation du bassin versant de la Latte (35 % de sa superficie), caractérise aussi « un changement climatique » générateur d'années pluviométriques, particulièrement sèches pour la région des Cévennes.

Ceci dit, nous constatons qu'en moyenne l'indice «  $\bar{J}$  » du bassin versant de la Latte présente une bonne stabilité et ce quelle que soit la période considérée.

Pour le bassin versant de Cloutasse basse (pelouse) nous avons une pseudo-stabilité de l'indice «  $\bar{J}$  » avec une tendance à la diminution pendant les années sèches, liée peut être à la dégénérescence latente de la pelouse.

Le résultat le plus contrasté apparaît pour la hêtraie du bassin versant de Sapine basse. En effet, l'indice moyen «  $\bar{J}$  » en années dites humides (82-86) passe de 121 mm à 219 mm en années dites sèches (87-91). Selon toute vraisemblance, les années de sécheresse qui font suite à 1987 accroissent le déficit hydrique du sol et cela d'autant plus que les besoins en eau de la couverture végétale sont grands, ce qui semble être le cas de la hêtraie.

A l'inverse, la dégénérescence plus ou moins latente de la pelouse de Cloutasse basse et les coupes successives de la forêt de résineux de la Latte entraînent une pseudo-stabilisation de la capacité maximale d'infiltration du sol par réduction des pertes par évapotranspiration (ce n'est pas la seule raison).

La comparaison des doubles cumuls sur «  $\bar{J}$  » du bassin versant de la Latte à ceux des autres bassins témoins, selon GALEA *et al.*, montre une tendance à l'augmentation de «  $\bar{J}$  » plus grande pour la hêtraie que pour la pelouse (ce qui est normal, d'après ce qui précède) ; aucune tendance ne ressort de la comparaison des doubles cumuls sur «  $\bar{J}$  » des bassins versants de Sapine basse et Cloutasse basse.

### 3.3. INFLUENCE SUR LES QUANTILES DE CRUES

#### 3.3.1. Modèle de renouvellement

Pour chaque bassin versant global nous calons, sur les plus fortes crues (supérieures à un seuil) des périodes 81-86 et 87-91, un modèle de renouvellement présenté par MICHEL (1989) : (binôme : loi de POISSON, loi exponentielle) et d'équation générale :

$$VCX(T,d) = Gq(d) * \ln(T) + VCXo(d) \quad (2)$$

avec :

- d = durée continue (1s, 12h et 24h)
- T = période moyenne de retour (an)  
 $0.5 \leq T(\text{an}) \leq 20$
- VCXo(d) = paramètre de position de la loi
- VCX(T,d) = est le quantile de crue déduit de l'équation (2) calée sur l'échantillon de débits moyens maximaux sur la durée continue d (VCXd)

Pour ne pas introduire de « biais » lié à l'ajustement statistique, nous avons ajusté chaque modèle de renouvellement sur les 2n plus fortes valeurs (n étant le nombre d'années).

L'écart entre quantiles (de même fréquence) « humide » et « sec » établis respectivement sur les périodes 1981-1986 et 1987-1991 permet d'apprécier l'influence de la couverture végétale, dans un contexte de « changement climatique », sur quelques caractéristiques d'écoulement (pour d=1s, 12h et 24h).

Des résultats obtenus par GALEA *et al.* (1992), nous pouvons en déduire que globalement (au niveau des fréquences) la déforestation du bassin versant de la Latte, dans le contexte climatique « sec », a été sans effet

significatif sur les débits instantanés maximaux (QIX). Par contre, la comparaison des écarts sur les quantiles d'écoulement de 12h (VCX12h) et de 24h (VCX24h) permet de penser que les coupes forestières successives (entre autre) de la forêt de résineux du bassin versant de la Latte ont induit une disponibilité en eau qui a été mobilisée par l'écoulement.

#### 4. INFLUENCE DE LA COUVERTURE VÉGÉTALE SUR L'HYDROLOGIE DES CRUES DES BASSINS VERSANTS GLOBAUX

##### 4.1. CALAGE D'UN MODÈLE DE RENOUVELLEMENT SUR LES OBSERVATIONS DE CHAQUE BASSIN VERSANT

###### 4.1.1. Bassin versant de la Latte

Comme précédemment, nous calons un modèle de renouvellement (2) sur les caractéristiques d'écoulement VCXd ( $d = 1s, 3h, 6h, 12h$  et  $24h$ ) concernant toute la période d'observations (1981-1991). L'agglomération de la période avant déforestation (81-86) et après déforestation (87-91), n'entraîne pas un « biais significatif » au niveau des paramètres (gradex des débits, paramètre de position) d'ajustement du modèle de renouvellement par rapport à ceux obtenus sur la période avant déforestation. Autrement dit, nous pouvons considérer que le modèle de renouvellement calé par le maximum de vraisemblance sur les 2n plus fortes valeurs (n : nombre d'années) de toute la période d'observations (81-91) est représentatif de l'écoulement lié à l'entité végétale représentée par la forêt de résineux.

###### 4.1.2. Quantiles de crues

Compte tenu des remarques antérieures sur les autres facteurs susceptibles d'influencer l'écoulement, ces quantiles de crue, exprimés en mm (sur la durée  $d = 1s, 3h, 12h$  et  $24h$ ), traduisent une influence « bruitée » de l'entité végétale sur l'hydrologie des crues. Néanmoins, l'homogénéité relative de la lame d'eau précipitée et la forme générale peu différente des crues observées pour un même épisode confèrent à ces résultats une certaine représentativité fortement liée à l'entité végétale : forêt de résineux, hêtraie et pelouse. La figure 6 donne une représentation graphique de ces résultats.

Cette représentation des résultats sous forme d'histogrammes, relatifs à une fréquence donnée, permet de montrer comparativement à la hêtraie et à la pelouse, le rôle modérateur de la forêt de résineux sur l'écoulement.

La différenciation des quantiles pour la hêtraie et la pelouse est en général modeste pour toute durée (d) et pour toute fréquence.

##### 4.2. MODÈLES DÉBITS-DURÉES-FRÉQUENCES (QdF)

La grande difficulté à montrer l'influence de la couverture végétale sur l'écoulement en crue des bassins versants selon la démarche déontologique : toutes choses égales par ailleurs, ne nous permet, à travers les résultats précédents, d'en apprécier qu'un impact relatif.

Dans ce qui va suivre, nous allons voir comment une modélisation « QdF » des écoulements de chaque bassin versant global permet de rendre compte de l'influence de la couverture végétale sur les crues de ces bassins versants.

###### 4.2.1. Présentation des modèles QdF

Les modèles QdF selon GALEA *et al.* (1990) ont pour équation générale, définie sur le domaine des fréquences observables ( $0.5 \leq T(an) \leq 20$ ) :

$$VCX(T,d) = [ A * \ln(T) + B ] * QIXA10 \quad (3)$$

avec :

$$\begin{aligned} A &= 1 / (x1 * d/D + x2) \\ B &= [1 / (x3 * d/D + x4)] + x5 \end{aligned}$$



où :

- $D$  = durée caractéristique de crue du site non jaugé  
 $QIXA10$  = débit instantané maximal annuel décennal du site non jaugé  
 $d$  = durée continue de la caractéristique de débit

Ces modèles à représentativité régionale permettent des transferts de quantiles sur des sites non jaugés, de superficie très variable, de quelques hectares à plusieurs centaines de km<sup>2</sup>. A ce titre, nous rappelons, d'après GALEA *et al.* (1990), que les stations hydrométriques de référence des modèles QdF : Florac sur la Mimente et de Soyan sur le Roubion (Drôme) contrôlent respectivement des bassins versants de 125 km<sup>2</sup> et de 186 km<sup>2</sup>.

GALEA *et al.* (1990) ont montré que la vocation régionale de ces modèles QdF pouvait être étendue à d'autres sites de régions différentes.

Nous montrerons ci-après que les modèles QdF de Florac et de Soyan permettent de différencier respectivement les écoulements, au sens des VCX(T,d), de la forêt de résineux et de la hêtraie de ceux de la pelouse.

Les valeurs des paramètres donnant A et B pour les modèles de Florac et de Soyan sont les suivantes :

TABLEAU II

| MODÈLE QdF | PARAMÈTRES |      |      |      |      |
|------------|------------|------|------|------|------|
|            | x1         | x2   | x3   | x4   | x5   |
| Florac     | 1.12       | 3.57 | 1.15 | 3.24 | 0.05 |
| Soyan      | 0.87       | 4.60 | 1.07 | 2.50 | 0.10 |

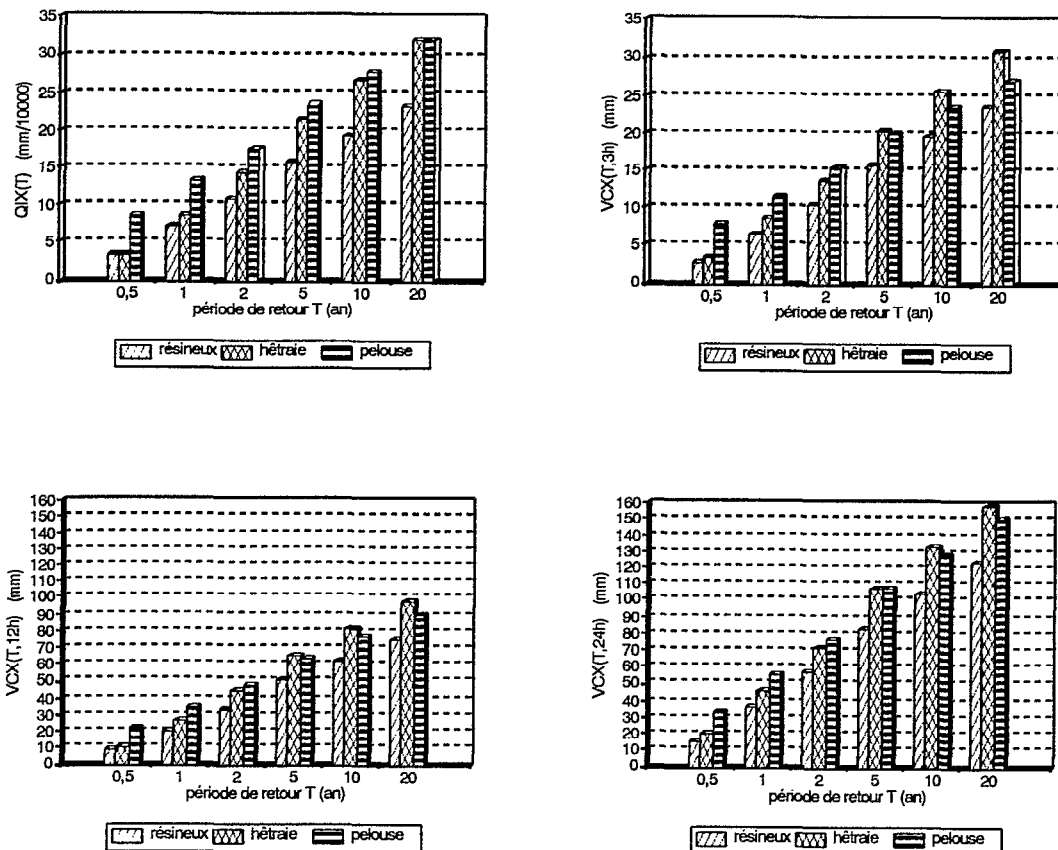


FIG. 6. — Quantiles de crues sur la période 1981-1991 Latte-Sapine basse-Cloutasse basse.

## 4.2.2. modélisation QdF du bassin versant de la Latte

Toute modélisation QdF (3), nécessite de connaître la durée caractéristique de crue (D) ainsi que le débit instantané maximal annuel décennal (QIXA10) du bassin versant.

A partir de l'équation du modèle de renouvellement (2) et de la valeur des paramètres (gradex des débits et paramètre de position) pour le pas de temps instantané, nous obtenons pour QIXA10 la valeur de  $0.376 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $QIXA10 = 0.376 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

La durée caractéristique de crue ( $D = 10\text{h}$ ) est définie statistiquement selon la méthode « SOCOSE » (1980-1982).

La figure 7 rend compte de l'adéquation du modèle QdF de Florac pour représenter les écoulements en crue, au sens des  $VCX(T,d)$ , du bassin versant de la Latte.

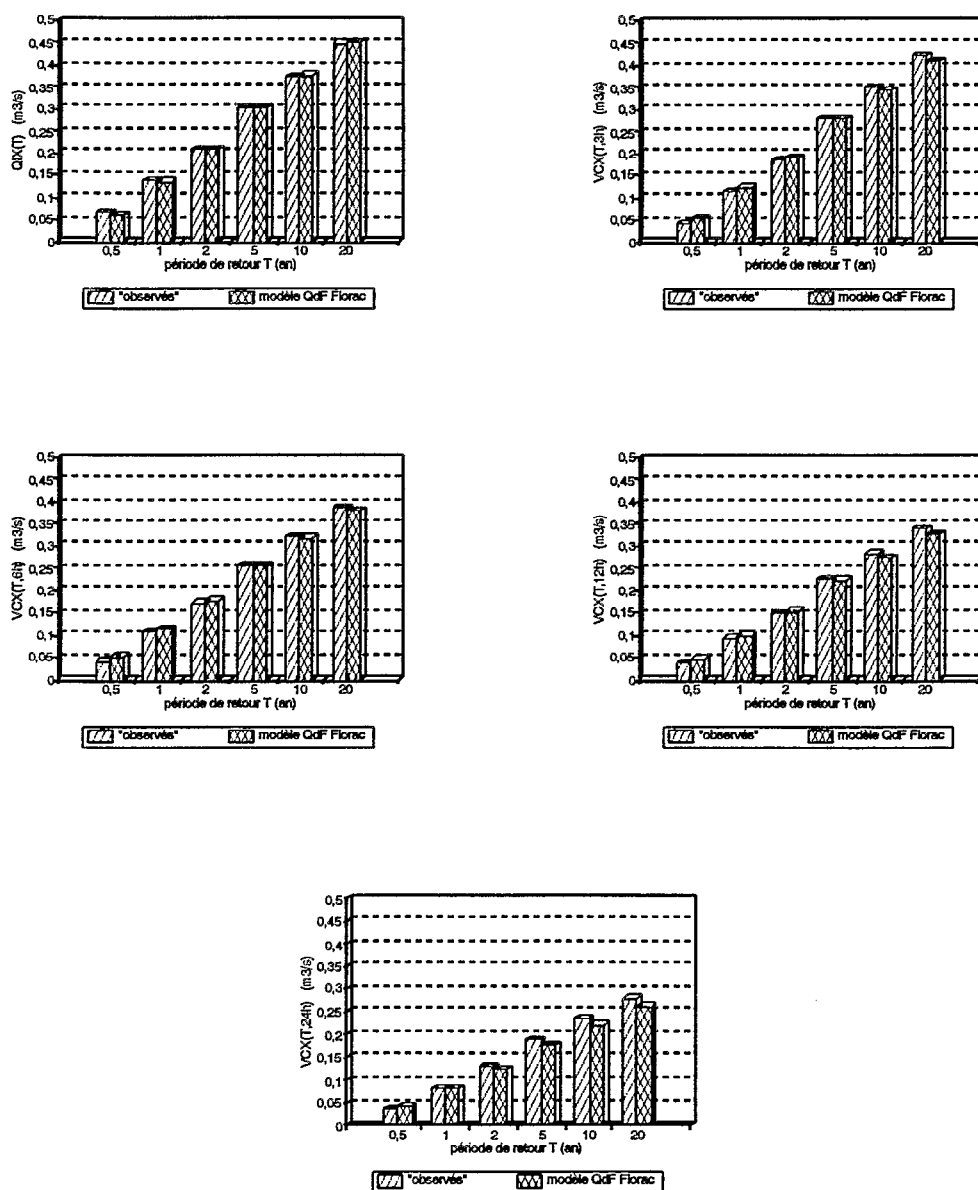


FIG. 7. — Bassin versant de la Latte — Quantiles « observés » et « modélisés ».

Les bons résultats obtenus témoignent en particulier de l'importance des paramètres locaux  $D$  et  $QIXA10$  qui dans le cas du bassin versant de la Latte ( $S=19.5$  ha) nous ont permis de typer son écoulement par référence au modèle QdF du bassin versant de Florac ( $S=125$  km<sup>2</sup>).

#### 4.2.3. Modélisation QdF du bassin versant de Sapine basse

De même que pour le bassin versant de la Latte, le modèle QdF de Florac permet de caractériser l'écoulement, d'après GALEA et al. (1992), du bassin versant de Sapine basse ( $S=54$ ha), connaissant  $D=10$ h et  $QIXA10=1.44$  m<sup>3</sup>/s.

#### 4.2.4. Modélisation QdF du bassin versant de Cloutasse basse

La durée caractéristique de crue du bassin versant de Cloutasse basse ( $S=81$  ha) est de six heures ( $D=6$ h) et  $QIXA10$  est statistiquement défini à 2.24 m<sup>3</sup>/s.

Cette durée caractéristique de crue plus faible caractérise à la fois une fonction de transfert un peu plus aiguë liée à la nature du couvert végétal (pelouse au lieu de résineux ou hêtraie) et une fonction de production qui nous venons de le voir est en général plus abondante.

Les quantiles de crues transférés sur le bassin versant de Cloutasse basse à partir du modèle QdF de Florac, connaissant  $D$  et  $QIXA10$ , sont particulièrement sous-estimés pour les périodes de retour inférieures ou égales à deux ans ( $T \leq 2$  ans). Autrement dit le modèle QdF de Florac restitue mal l'écoulement plus abondant de la pelouse, dès les fortes fréquences, par rapport à celui des forêts (résineux ou hêtraie) qui en quelque sorte « laminent » l'écoulement de faible période de retour.

Le modèle QdF de Soyan, particulièrement bien adapté aux bassins versants « ruisselants » (vignobles, Terres noires des Alpes du Sud, etc...) donne des quantiles transférés qui comparativement aux valeurs statistiques sont tout à fait acceptables.

La représentation des résultats précédents sous forme d'histogrammes (figure 8) permet de comparer pour chaque fréquence et pas de temps ( $d$ ) les quantiles de crues « observés » (dédits statistiquement des observations) à ceux transférés à partir des modèles QdF de Florac et de Soyan.

#### 4.2.5. Conclusion partielle

De ce qui précède, nous considérons que les modèles QdF de Florac et de Soyan, connaissant  $D$  et  $QIXA10$  des bassins versants, nous permettent de caractériser respectivement les écoulements des bassins versants dont l'entité végétale est représentée par la forêt (résineux ou hêtraie) et par une pelouse.

## 5. INFLUENCE DE LA COUVERTURE VÉGÉTALE SUR L'HYDROLOGIE DES CRUES DES HAUTS-BASSINS VERSANTS

Quelques points, à titre de vérification, de la démarche hydrologique suivie précédemment pour les bassins versants globaux, ont été appliqués aux hauts-bassins versants de Sapine haute ( $S=20$  ha) et de Cloutasse haute ( $S=36$  ha).

### 5.1. ÉVÉNEMENT DU 01.12.84

Comparativement au même épisode observé sur les bassins versants globaux (fig. 2), GALEA et al. (1992) ont constaté que la forme générale des crues est conservée ainsi que la capacité de chaque bassin versant à réagir plus ou moins vite. Ils ont de même observé que les crues des hauts-bassins versants sont moins volumineuses et les débits de pointe plus faibles. Autrement dit, la production des hauts-bassins est plus faible que celle des bassins globaux. Quant à la forme des crues, nous avons vu antérieurement que l'entité végétale et le sol qui lui est lié ne sont pas les seuls facteurs qui peuvent influencer la fonction de transfert. Dans le cas présent, certains de ces facteurs tels que : la forme des hauts-bassins versants (fig. 1), leur taille et leur dénivelée sont relativement proches de ceux

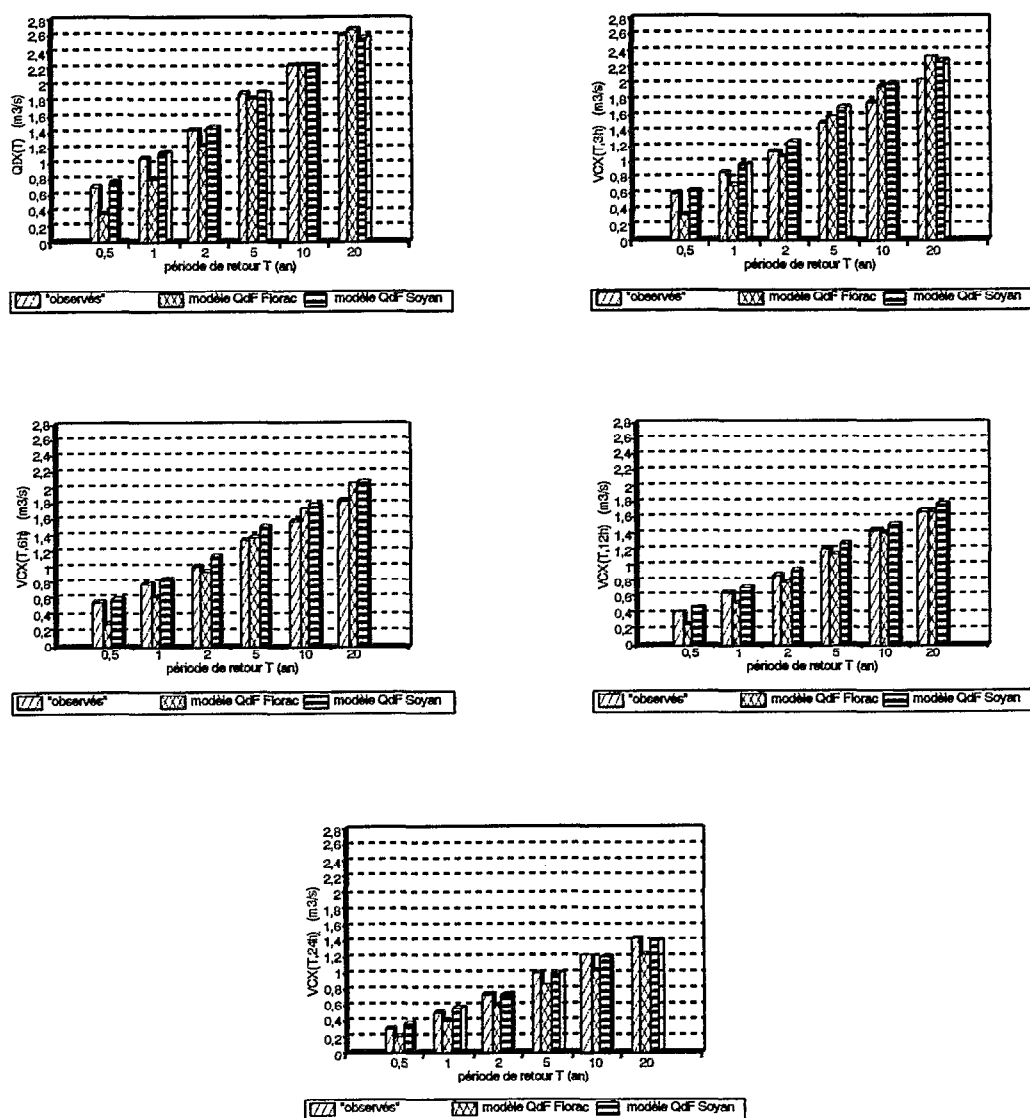


FIG. 8. — Bassin versant de Cloutasse basse — Quantiles « observés » et « modélisés ».

du bassin versant de la Latte. Ceci est particulièrement vrai pour le bassin versant de Sapine haute dont la superficie est de 20 ha (19.5 ha pour la Latte) et la dénivelée est de 145 m (143 m pour la Latte). En ce qui concerne le bassin versant de Cloutasse haute, par sa superficie (36 ha), sa forme et sa dénivelée (93 m), il « s'éloigne » sensiblement des caractéristiques physiques du bassin versant de la Latte. Il faut aussi noter que ce bassin versant présente une couverture végétale relativement moins homogène (lande et pelouse) que celle observée à l'échelle du bassin versant global (pelouse).

## 5.2. QUANTILES DE CRUES

Le calage d'un modèle de renouvellement (2), pour chaque durées (d), sur toute la période d'observation de la Latte et des hauts-bassins versants permet de comparer les quantiles de crues (fig. 9) établis sur le domaine des fréquences observables ( $0.5 \leq T(\text{an}) \leq 20$ ).

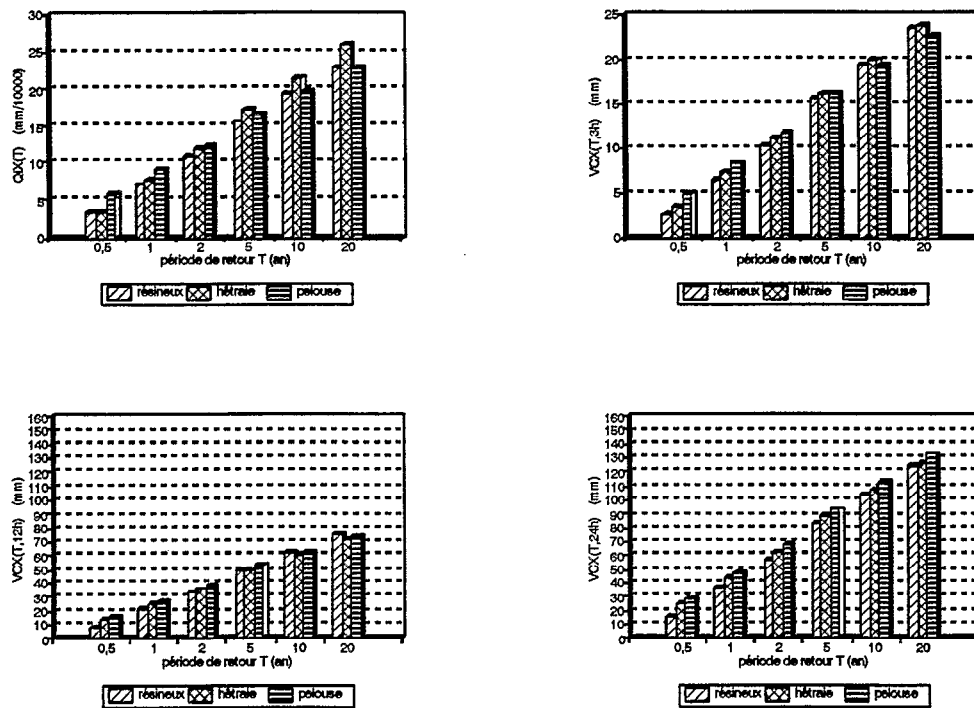


FIG. 9. — Quantiles de crues des bassins versants Latte-Sapine haute-Cloutasse haute.

La figure 9 permet de se rendre compte que la différenciation des quantiles de crues pour une même durée et une même fréquence n'est pas significative que pour la durée continue de 24 heures.

Cela dénote, d'une certaine manière, que les fonctions production et transfert des hauts-bassins versants sont globalement comparables à celles du bassin versant de la Latte.

### 5.3. MODÉLISATION « QdF » DES HAUTS-BASSINS VERSANTS

#### 5.3.1. Estimation des paramètres locaux

La démarche statistique sur les séries d'observations des bassins versants de Sapine haute et Cloutasse haute nous permet de déduire les paramètres locaux : D et QIXA10 ci-après.

TABLEAU III

| BASSIN VERSANT  | S<br>(ha) | D<br>(h) | QIXA10<br>(m <sup>3</sup> /s) | QIXA10/S<br>(l/s/ha) |
|-----------------|-----------|----------|-------------------------------|----------------------|
| Latte           | 19.5      | 10       | 0.376                         | 19.3                 |
| Sapine haute    | 20        | 10       | 0.431                         | 21.6                 |
| Cloutasse haute | 36        | 10       | 0.704                         | 19.6                 |

La durée caractéristique de crue (D) des hauts-bassins versants ne peut être significativement différenciée de celle du bassin versant de la Latte et confirme donc une certaine homogénéité de la fonction de transfert. La différenciation des crues semble être essentiellement sous la dépendance de la fonction de production. Nous pouvons constater ci-dessus que celle-ci, traduite en terme de débit instantané spécifique décennal, est peu différente d'un bassin versant à l'autre.

### 5.3.2. Validation des modèles QdF

De même que pour les bassins versants globaux, GALEA et *al.* (1992) ont pu constater la bonne adéquation des modèles QdF de Florac et Soyan à représenter respectivement les quantiles des écoulements en crue des bassins versants de Sapine haute et Cloutasse haute.

## 6. SIMULATION « QdF » DE L'INFLUENCE DE LA VEGETATION SUR LES CRUES D'UN BASSIN VERSANT

Nous venons de souligner la difficulté qu'il y a à apprécier objectivement, c'est-à-dire toutes choses égales par ailleurs, l'effet du paramètre « couverture végétale homogène » sur l'hydrologie des crues d'un bassin versant.

En effet, nous venons de voir que la différenciation des écoulements, traduits en quantiles de crues, est plus ou moins significative selon que l'on considère les bassins versants globaux ou les hauts-bassins versants.

Il ressort tout de même, par le biais de la modélisation « QdF » qu'une caractérisation de l'écoulement en crue de type forêt (résineux, feuillus) et pelouse a pu être faite sans ambiguïté.

Pour se faire une idée un peu plus objective de l'impact du couvert végétal sur les crues d'un bassin versant, nous simulons une évolution de la végétation (liée au sol) du bassin versant de la Latte : forêt de résineux puis forêt de hêtres et pour finir pelouse.

La simulation « QdF » nécessite de déterminer les caractéristiques locales (D et QIXA10) du bassin versant associées à chaque entité végétale. Ces caractéristiques locales sont déduites, pour une première simulation, de celles obtenues sur les bassins versants globaux et, pour une deuxième simulation, de celles obtenues sur les hauts-bassins versants. Le tableau IV suivant récapitule ces caractéristiques locales.

TABLEAU IV

| BASSIN VERSANT DE LA LATTE (S = 19.5 ha) |             |         |             |         |             |                     |             |         |             |         |             |
|------------------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| Première simulation                      |             |         |             |         |             | Deuxième simulation |             |         |             |         |             |
| résineux                                 |             | hêtraie |             | pelouse |             | résineux            |             | hêtraie |             | pelouse |             |
| D<br>10                                  | Q10<br>.376 | D<br>10 | Q10<br>.520 | D<br>10 | Q10<br>.539 | D<br>10             | Q10<br>.376 | D<br>10 | Q10<br>.420 | D<br>10 | Q10<br>.381 |

où : D = durée caractéristique de crue du bassin versant (h)

et Q10 = QIXA10 (m<sup>3</sup>/s)

En ce qui concerne la durée caractéristique de crue (D), compte-tenu des résultats obtenus sur les bassins versants globaux et de tête, nous prendrons D=10h quelle que soit l'entité végétale.

Les valeurs du QIXA10 « hêtraie et pelouse » sont respectivement déduites du débit instantané spécifique décennal de Sapine basse (26.67 l/s/ha) et de Cloutasse basse (27.65 l/s/ha) pour une première simulation et de Sapine haute (21.6 l/s/ha) et Cloutasse haute (19.6 l/s/ha) pour une deuxième simulation.

Seuls les débits instantanés spécifiques décennaux, des bassins versants globaux témoins, sont significativement différents de celui de la Latte. En effet, nous pouvons constater que pour des caractéristiques de situation géographique, de forme et de taille de bassins versants plus proches de celles du bassin versant de la Latte, leur différenciation est faible (tableau III). Nous pouvons aussi noter la similitude des débits instantanés spécifiques décennaux amont ainsi qu'aval des bassins versants de Sapine et Cloutasse.

Les figures 10 et 11 récapitulent respectivement les résultats de la première simulation et de la deuxième simulation effectuées sur le bassin versant de la Latte (S=19.5 ha).

La première simulation montre que les quantiles de crues d'une durée (d) donnée (VCX(T,d)) relatifs à la hêtraie et à la pelouse sont d'autant moins différenciés que la période moyenne de retour est supérieure à deux ans (T>2ans). Nous pouvons constater, comparativement à la hêtraie et à la pelouse, le rôle modérateur de la forêt de résineux sur l'écoulement.

La deuxième simulation montre une différenciation moins contrastée entre les quantiles liés au trois entités végétales. Nous notons cependant une prépondérance de l'écoulement lié à la hêtraie qui s'estompe progressivement avec la durée (d).

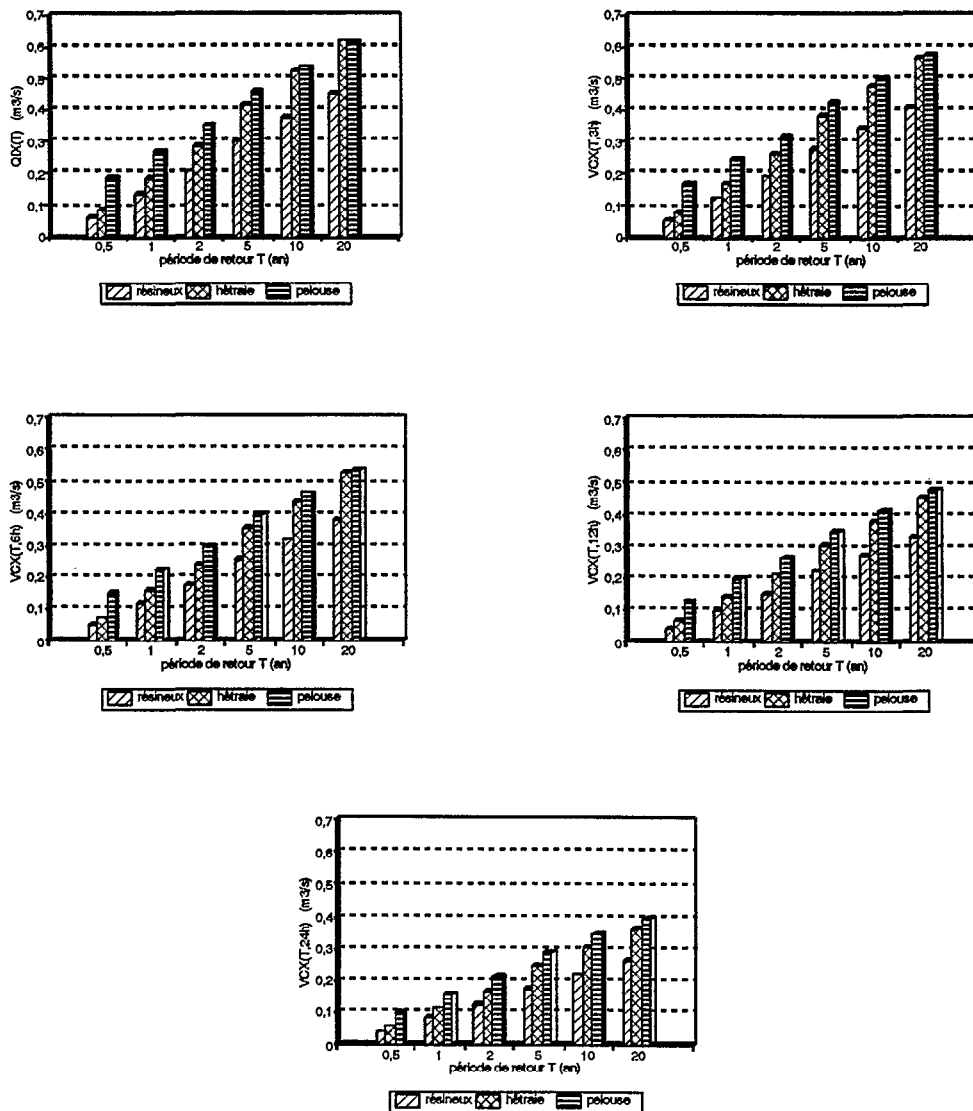


FIG. 10. — Simulation de l'influence de la végétation sur les quantiles de crues du bassin versant de la Latte.

Nota : 1<sup>re</sup> simulation déduite des résultats ( $D$ ,  $QIXA10$  et modèles  $QdF$ ) obtenus sur les bassins versants de Cloutasse basse (81 ha) et Sapine basse (54 ha).

## 7. CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude hydrologique des cinq bassins versants (3 globaux et 2 de tête) selon une démarche statistique homogène, sur la variable  $VCXd$  ( $1s \leq d \leq 24h$ ), de type modèle de renouvellement a permis de traduire l'écoulement relatif à ces cinq bassins versants sous forme de quantiles de crues établis sur le domaine des fréquences observables ( $0.5 \leq T \text{ (an)} \leq 20$ ).

La modélisation « QdF » nous a permis de caractériser respectivement par les modèles de « Florac » et de « Soyan » les quantiles de crues statistiques relatifs aux bassins versants dont l'entité végétale est représentée par la forêt (Latte, Sapine) et par la pelouse (Cloutasse).

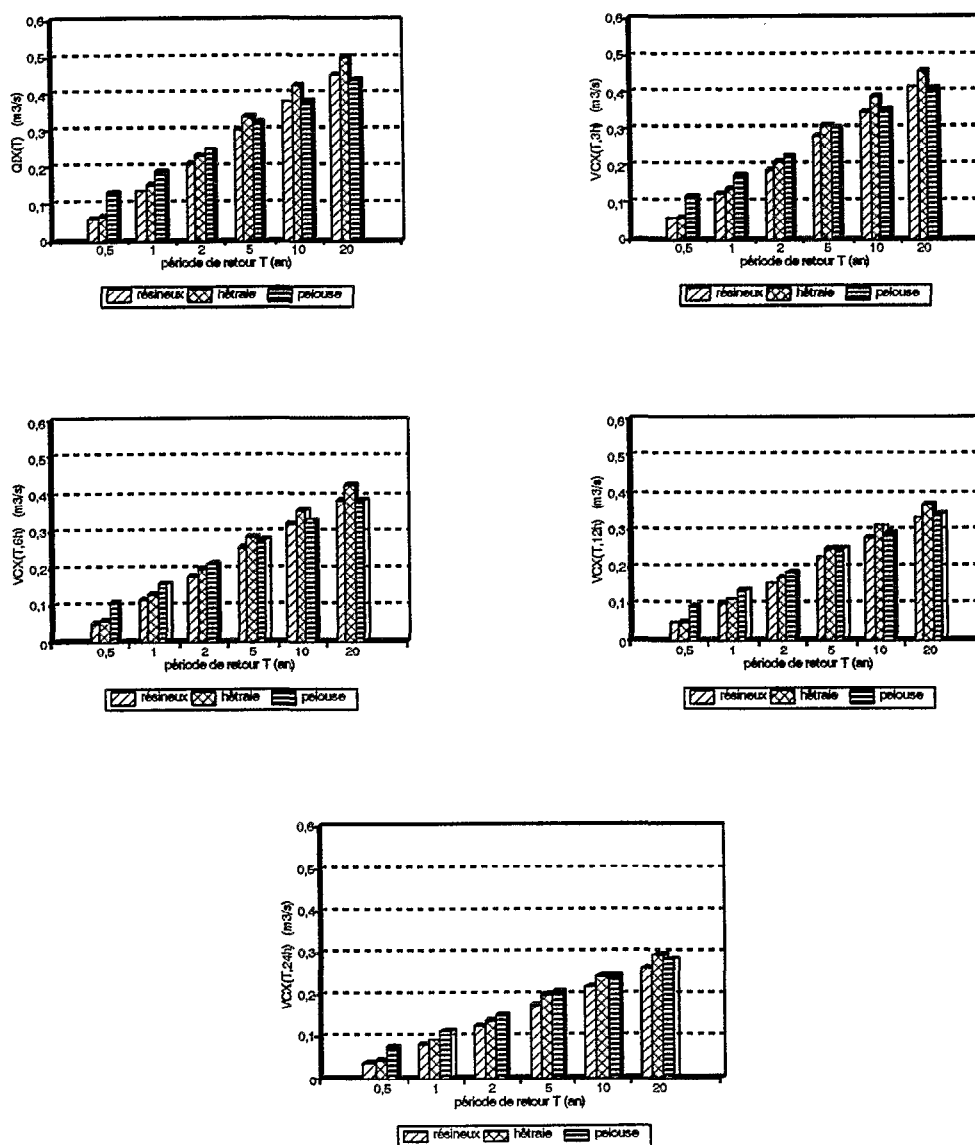


FIG. 11. — Simulation de l'influence de la végétation sur les quantiles de crues du bassin versant de la Latte.

Nota :  $Z'$  simulation déduite des résultats ( $D$ ,  $QIXA10$  et modèles  $Qdf$ ) obtenus sur les bassins versants de Cloutasse haute (36 ha) et Sapine haute (20 ha).

La différenciation des deux modèles «  $QdF$  » (pour le domaine de validité pré-défini) en fonction de l'entité végétale (forêt, pelouse) porte essentiellement sur l'écoulement correspondant aux faibles périodes de retour ( $T \leq 2$ ans).

A partir de ces modèles il a été possible de simuler pour le bassin versant de la Latte les quantiles de crues correspondants aux entités végétales (résineux, hêtraie, pelouse). Cette simulation nécessite de connaître les paramètres locaux «  $D$  » et «  $QIXA10$  » liés à l'entité végétale.

En ce qui concerne l'estimation de «  $D$  » ( $D = 10h$ ), nous avons considéré que les résultats obtenus sur les bassins versants ne permettaient pas une différenciation significative de «  $D$  » avec l'entité végétale.

Cette simulation montre des résultats sensiblement différents selon que le paramètre local «  $QIXA10$  » est déduit de la caractéristique d'écoulement instantanée décennale aval (bassins globaux) ou amont (hauts-bassins).



— Dans le premier cas le rôle modérateur de la forêt de résineux sur l'écoulement apparaît nettement comparativement aux autres entités végétales (hêtraie, pelouse) dont l'écoulement se différencie d'autant moins que la période moyenne de retour est supérieure à deux ans ( $T > 2$ ans).

— Dans le second cas, la caractéristique locale QIXA10 déduite des hauts-bassins (qui présentent des caractéristiques physiques plus comparables à celles de la Latte) nous semble moins « bruitée » par la fonction de transfert sensiblement différente des bassins versants globaux, en particulier pour le bassin versant de Cloutasse basse ( $D = 6$ h). L'écoulement simulé, moins contrasté que dans le premier cas, montre une prépondérance de la hêtraie qui s'amenuise avec la durée (d).

Bien entendu les caractéristiques locales ( $D$ , QIXA10) relatives à chaque entité végétale, que nous avons définies précédemment, ne sont que des estimations qui à notre sens sont les plus probables.

Les résultats comparatifs des quantiles de crues du bassin versant de la Latte avec ceux des bassins versants globaux (fig. 6) et de tête (fig. 9) montrent tout de même que nous sommes dans un domaine de différenciation des écoulements relativement faible et cela d'autant plus que les caractéristiques physiques des bassins versants se rapprochent de celles de la Latte ; cela est d'ailleurs confirmé par les simulations effectuées. Nous pouvons donc nous demander, si le « bruit » lié à la mesure, aux hétérogénéités d'ordre physique, climatique, végétale (entre bassin amont et global de Cloutasse) etc... n'est pas de l'ordre de grandeur de l'influence que nous recherchons ? Peut-être que cette différenciation d'écoulement liée à l'entité végétale nécessite-t-elle des bassins versants beaucoup plus grands (quelques  $\text{km}^2$ ) où l'intensité du signal (crue) est bien au dessus du « bruit » ?

Cette différenciation peu marquée des quantiles de crues relatifs aux entités végétales permet de relativiser l'effet de la coupe forestière du bassin versant de la Latte (tendance à l'augmentation de la lame écoulée / à celle des bassins versants témoins) sur les crues observées de la période 1987-1991. En effet, de toute évidence la coupe forestière n'a pas entraîné l'évolution de la couverture végétale (et du sol) simulée : résineux  $\rightarrow$  hêtraie  $\rightarrow$  pelouse.

#### REMERCIEMENTS

L'équipe de gestion du BVRE du mont Lozère et particulièrement Monsieur Jean-François DIBON, a aimablement mis ses données à disposition, et fourni les réponses aux questions posées. Elle ne souscrit pas nécessairement aux conclusions.

#### BIBLIOGRAPHIE

- CTGREF, SRAE, Diame, SH, 1980-1982. — Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants, fascicule 2 : La méthode Socose, janvier 1980. *Information Technique* n° 38-2 (juin 1980).
- DURAND (P.), 1989. — *Biogéochimie comparée de trois écosystèmes (pelouse, hêtraie, pessière) de moyenne montagne granitique (mont Lozère, France)*. Doctorat de sciences de la terre, université d'Orléans.
- GALEA (G.) et JIN (L.), 1990. — *Modèles descriptifs synthétiques des connaissances régionales en crues ; représentativité spatiale et domaine de validité*. Cemagref, Lyon, division hydrologie hydraulique ; DEA ULPS/ENITRTS, Strasbourg.
- GALEA (G.), BARBET (D.), 1992. — *Influence de la couverture végétale sur les crues du BVRE du mont Lozère, approche descriptive et quantification par modèles QdF*. Cemagref-Lyon, division hydrologie hydraulique HHLY.
- LEFRANC (P.), 1986. — *E.T.C : un modèle d'érosion des torrents en crue*. Mémoire de 3<sup>e</sup> année de L'ENITRTS, Cemagref-Grenoble, ENITRTS 1986.
- MICHEL (C.), 1989. — *Hydrologie appliquée aux petits bassins versants ruraux*. Cemagref-Antony, division hydrologie hydraulique, 429 p.