

Essais d'estimation des débits de pointe de crue à partir des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants en région méditerranéenne

Le cas du Languedoc-Roussillon

Samir SAKOUT (1) et Alain GUILBOT (2)

RÉSUMÉ

Dans une vallée, la définition des aménagements est étroitement liée aux risques d'inondation, c'est-à-dire à la probabilité de voir une caractéristique de crue, en général la cote maximale, atteindre ou dépasser une certaine valeur.

Lorsqu'une station de mesure des hauteurs d'eau existe sur le site et a fonctionné suffisamment longtemps, l'analyse statistique des relevés historiques permet une évaluation correcte du degré de risque.

Ces stations sont malheureusement en nombre insuffisant. Leur emplacement correspond rarement au site étudié, voire à la rivière concernée.

Par ailleurs, les cotes sont très sensibles aux modifications topographiques (lits, ouvrages, obstacles...) et il vaut mieux travailler d'abord sur les débits, plus stables (régime hydrologique).

Il apparaît donc la nécessité de disposer de méthodes d'évaluation des risques de débit en tout point d'une rivière et en absence de contrôle systématique.

L'approche développée concerne la région Languedoc-Roussillon et consiste à estimer les débits de pointe de crues à partir de caractéristiques du bassin versant amont et de paramètres régionaux.

MOTS-CLÉS: Pointes de crues — Risques d'inondation — Caractéristiques du bassin versant — Languedoc-Roussillon.

ABSTRACT

PEAK FLOW ESTIMATES USING PHYSICAL AND CLIMATIC CATCHMENT CHARACTERISTICS IN THE MEDITERRANEAN AREA: THE LANGUEDOC-ROUSSILLON AS AN EXAMPLE

Design of projects, along a river, is closely related to flooding risks, i.e to probability of exceedance of various flood characteristics, and mainly to the probability of the maximum water level exceeding a given value.

Using water level series at a long term gauging station, the risk can be reasonably estimated by statistical analysis of historical data. However, such gauging stations are rare along a river and are not usually available at the design site.

Thus, designers require flooding risk estimation methods in any section of a river which is not covered by a gauging station.

Such a method has been developed in the Languedoc-Roussillon area: peak flood discharges are estimated using the characteristics of upstream catchments and regional parameters.

KEY-WORDS: Peak flow — Flooding risks — Characteristics of upstream catchment — Languedoc-Roussillon.

(1) Ingénieur, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II — Maroc

(2) Ingénieur CNRS — Lab. d'Hydrologie Mathématique USTL — Montpellier-France

1. INTRODUCTION

Fournir aux responsables de projets d'aménagements une méthode d'évaluation des caractéristiques d'une crue liée à un risque donné dans le cas où l'estimation directe est impossible, est un objectif qui a déjà suscité diverses études.

La SOGREAH a réalisé en 1967 une étude à des fins d'estimation des crues décennales sur des petits bassins versants de superficies comprises entre 1 et 100 km²

Une étude plus récente (1980) du CEMAGREF a proposé une synthèse nationale sur les bassins de superficie inférieure à 200 km² à partir de deux méthodes: méthode SOCOSE inspirée du Soil Conservation Service et méthode CRUPEDIX (Ministère de l'Agriculture, 1980-1982). Ces deux études se sont limitées à l'estimation des événements de fréquence décennale sur de petits bassins versants.

Dernièrement, cette approche a été élargie à l'analyse du débit instantané biennal (Crupedeux) sur des bassins du sud-est de la France de superficie inférieure à 1 000 km² (CEMAGREF/SRAE, 1985-1986).

Notre objectif consistait à étendre la connaissance du risque de débit dans le contexte de la région Languedoc-Roussillon, en tentant d'appliquer et d'adapter au climat méditerranéen une méthode développée par le Natural Environment Research Council (1975) sur l'ensemble du Royaume Uni.

Il s'agit, globalement, d'estimer la moyenne interannuelle des débits maximaux instantanés par régression progressive à partir de différents facteurs physico-climatiques.

Les débits relatifs à d'autres périodes de retour sont obtenus à partir de courbes régionales établies par analyse statistique des séries des bassins jaugés.

2. LE RECUEIL ET LA MISE EN FORME DES DONNÉES NÉCESSAIRES

Compte tenu de la nécessité de disposer d'un nombre jugé suffisant de caractéristiques de débits, l'étude a porté sur des bassins versants jaugés du Languedoc-Roussillon et présentant plus de 10 années d'observations. Ces bassins sont de taille variable (de 30 à 1 000 km²) et situés dans des zones au relief relativement marqué (cf fig. 1).

- 1 l'Arre à Terrisse
- 2 le Vidourle à Sauve
- 3 le Jaur à Olargues
- 4 le Vidourle à Marsillargues
- 5 le Rebenty à St Martin Lys
- 6 le Cesse à Cantignergues
- 7 l'Orb à Herepian
- 8 l'Orb à Ceilhes
- 9 l'Orb à Truscas
- 10 la Ceze à Besseges
- 11 le Gardon de Mialet à Roucan
- 12 le Cady à Villefranche
- 13 le Tech à Amélie les Bains
- 14 Moulin D'en Canterrane

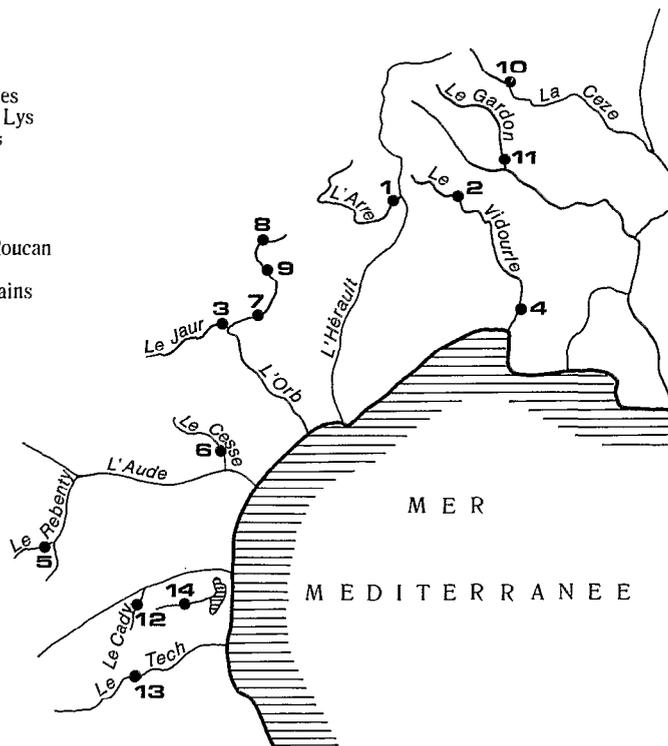


FIG. 1. — Liste des bassins étudiés et situation

2.1. LES DÉBITS

Les échantillons de deux caractéristiques de débits ont été ajustés par une loi de Gumbel:

- les maximums annuels des débits instantanés;
- les débits de pointes (maximums) des séquences continues supérieurs au seuil correspondant à la cote d'alerte lorsqu'il existe une station d'annonce de crue, ou à celui égal à sept fois le module lorsqu'il n'en existe pas.

2.2. RECHERCHE DE ZONES A CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES HOMOGÈNES

Un important travail de recueil et d'analyse de données régionales a été nécessaire afin d'isoler les paramètres éventuellement explicatifs d'une aptitude au ruissellement.

Paramètre drainage

Il exprime l'aptitude du sol à drainer l'eau vers le milieu souterrain et a été déterminé avec l'aide d'hydrogéologues de l'Université des Sciences de Montpellier. Trois classes ont été retenues:

- terrain rarement saturé (bien et moyennement drainant);
- terrain souvent saturé en hiver (peu drainant);
- terrain saturé aussi bien en hiver qu'en été (très peu drainant)

Paramètre profondeur du sol

Cette caractéristique n'est pas fréquemment disponible, en particulier en région montagneuse. Grâce aux renseignements fournis par le Service National d'Inventaire Forestier, une zonation de la profondeur du sol a permis de réaliser une cartographie de cette variable en trois classes.

- $P > 60$ cm
- $40 < P < 60$ cm
- $P < 40$ cm

Paramètre perméabilité

Ce paramètre concerne la couche superficielle du sol. Comme pour le paramètre drainage, et à partir des cartes géologiques des différents bassins étudiés, trois classes ont été distinguées:

1. rapide
2. moyenne
3. faible

Paramètre relief

C'est un facteur a priori de grande importance sur la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains. Il peut modifier la répartition entre infiltration et ruissellement estimés sous le simple aspect de la perméabilité. Trois classes ont été retenues:

1. 0 à 2°
2. 2° à 8°
3. > 8°

Un tableau synthétique de classification des sols par rapport au ruissellement a ensuite été construit à partir des valeurs des paramètres précédents (tabl. I).

Selon les combinaisons, un classement de zones homogènes de ruissellement ou d'infiltration potentiels a été proposé (tabl. II).

TABLEAU I

| Classes de drainage | Profondeur du sol | Classes des pentes | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|---|---|---------|---|---|------|---|---|
| | | 0 - 2° | | | 2° à 8° | | | > 8° | | |
| | | Perméabilité du sol | | | | | | | | |
| | | R | M | F | R | M | F | R | M | F |
| 1 bien drainant | > 60 cm | | | | 1 | | | 1 | 2 | 3 |
| | 40-60cm | 1 | | | 2 | | | 3 | | 4 |
| | < 40 cm | | | | | | | | | |
| 2 moyen- nement drainant | > 60 cm | 2 | | 3 | | | | | | |
| | 40-60cm | | | | | 4 | | | | |
| | < 40 cm | 3 | | | | | | | | |
| 3 très peu drainant | > 60 cm | | | | | | | | | |
| | 40-60cm | | | 5 | | | | | | |
| | < 40 cm | | | | | | | | | |

TABLEAU II

| Classe | Infiltration potentielle | Ruissellement potentiel |
|--------|--------------------------|-------------------------|
| S1 | Très élevée | Très faible |
| S2 | Elevée | Faible |
| S3 | Moyenne | Moyen |
| S4 | Faible | Elevé |
| S5 | Très faible | Très élevé |

2.3. RECHERCHE DE PARAMÈTRES INFLUANT SUR LES DÉBITS DE CRUE

La superficie S

Elle a été mesurée par planimétrie des bassins versants sur des cartes topographiques au 1/100 000.

La densité de jonction D_j

Elle est obtenue en comptant le nombre d'intersections des différents ruisseaux de tous les ordres entre eux.

La pente S_{10-85}

C'est la pente du chemin hydraulique le plus long entre 10 et 85% de la longueur totale du thalweg principal mesurée à partir de la station de jaugeage. Elle est obtenue en portant sur un graphique en abscisse la distance en kilomètres par rapport à la station de jaugeage et en ordonnée l'élévation en mètres.

Indice de sol ISOL

La prise en compte de l'aptitude des sols à l'écoulement est effectuée en estimant le coefficient de rendement annuel Q/P (rapport de la moyenne interannuelle des débits écoulés en mm à la pluie moyenne interannuelle en mm) en fonction des différents pourcentages de chaque classe des sol définie à partir de la grille du paragraphe précédent (tabl. II).

La relation obtenue s'écrit:

$$ISOL = Q/P \text{ (en \%)} = 822 - 7.7 S_1 - 7.59 S_2 - 8.10 S_3 - 8.03 S_4 - 7.50 S_5$$

avec un coefficient de corrélation de 0.91 (fig. 2). Les pourcentages des classes 3 et 4 expliquent à eux seuls plus de 90% de la variance.

Du fait de la relation $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = 100$, le remplacement de la variable la « moins explicative » conduit à une relation équivalente :

$$ISOL = 72 - 0.6 S_3 - 0.53 S_4 - 0.2 S_1 - 0.09 S_2$$

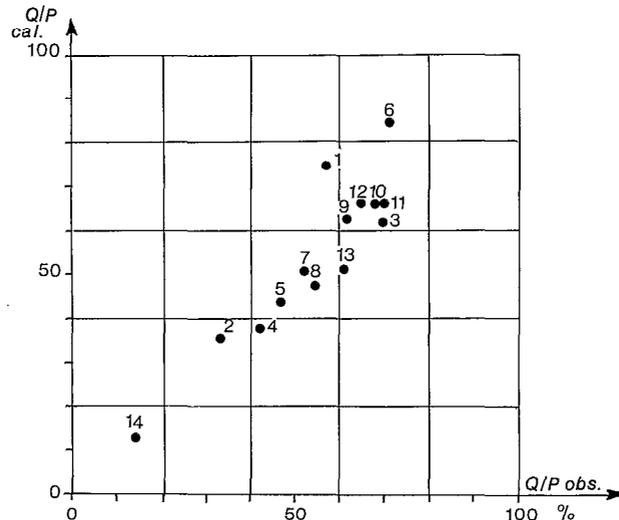


FIG. 2. — Calcul du rapport Q/P moyen annuel en fonction des caractéristiques de sols (période 1963-1980). L'indice correspond au numéro de bassin

Pluie journalière décennale P10

La méthode du National Environment Research Council préconise l'utilisation de l'excès de pluie, disponible pour l'écoulement, de période de retour 5 ans. Pour raison de commodité, nous avons retenu la pluie journalière décennale, estimée à partir de la précipitation moyenne annuelle et d'un « coefficient de tempérance » (Ministère de l'Agriculture, 1980-1982).

Pourcentage des terres occupées par forêt % F

Ce facteur a été calculé à partir des cartes d'occupation des terres au 1/200 000.

Gradex des pluies maximales locales journalières G

Cette variable est soit extraite directement quand elle a été calculée par ailleurs soit estimée à partir de la carte établie par le CEMAGREF (Ministère de l'Agriculture et Ministère des Transports, 1979).

3. ESTIMATION DE LA MOYENNE DES DÉBITS MAXIMAUX DE CRUE

Le principe d'estimation est simple: il s'agit d'ajuster sur les observations de caractéristiques de débit dont nous disposons des relations où entrent tout ou partie des variables jugées a priori explicatives et présentées dans le paragraphe 2.3.

Or, le nombre de ces variables approche le nombre d'observations et il est nécessaire de faire un choix.

Une technique utilise des tests statistiques liés à l'hypothèse de normalité: tests F partiels ou test t de nullité des coefficients de régression, ces deux tests étant équivalents si le F partiel a un degré de liberté égal à 1 au numérateur.

L'utilisation de ces tests peut se faire de manière ascendante: on rentre une variable, puis une seconde, puis une troisième... et on teste à chaque introduction. On peut opérer aussi de manière descendante: on prend d'abord toutes les variables et on teste ensuite celles à éliminer. Nous avons retenu la régression progressive ou méthode «Stepwise» avec, à chaque étape de la méthode ascendante, les tests de la méthode descendante (DRAPER et SMITH, 1966).

Comme pour les autres méthodes de régression multiple, son utilisation nécessite quelques précautions sur lesquelles tout le monde s'accorde: vérification de la variance des résidus (homoscédasticité et indépendance) et de la linéarité des régressions partielles.

Les principales expressions obtenues figurent dans le tableau III.

TABLEAU III

| | | | |
|--|--|-----|-------|
| Moyenne interannuelle des débits maximaux instantanés | $Q_M = 2.253 \times 10^{-4} \times S^{1.01} \times P_{10}^{1.626}$ | (1) | 0.956 |
| | $Q_M = 3.32 \times 10^{-3} \times S^{0.973} \times P_{10}^{1.376} \times \%F^{-0.327}$ | (2) | 0.966 |
| Moyenne interannuelle des débits instantanés maximaux de séquences continues supérieurs à un seuil | $Q_M(s) = 1.541 \times 10^{-3} \times S^{0.923} \times P_{10}^{1.310}$ | (3) | 0.977 |
| | $Q_M(s) = 8.69 \times 10^{-3} \times S^{0.899} \times P_{10}^{1.15} \times \%F^{-0.210}$ | (4) | 0.983 |

Si les résultats obtenus à partir de ces équations peuvent être jugés satisfaisants en regard de l'intervalle de confiance, (à l'exception des résultats sur le Tech à Amélie — bassin n° 13 — et sur le Vidourle à Sauve — bassin n° 2), ils sont un peu décevants quand on se réfère à l'important travail préalable sur la caractérisation des sols (fig. 3 et 4).

A la limite, les seuls paramètres surface et pluie décennale pourraient être retenus (équations 1 et 3).

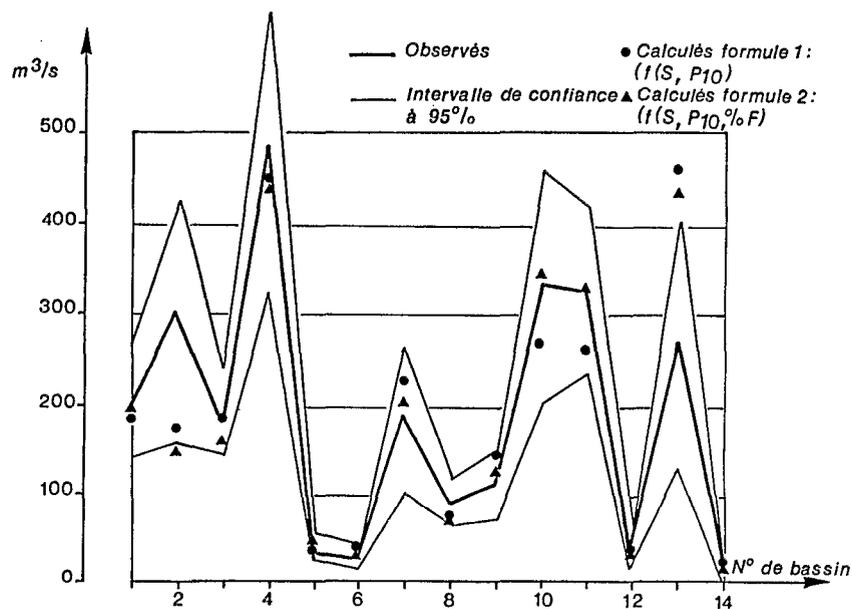


FIG. 3. — Moyenne interannuelle QM des débits maximaux annuels

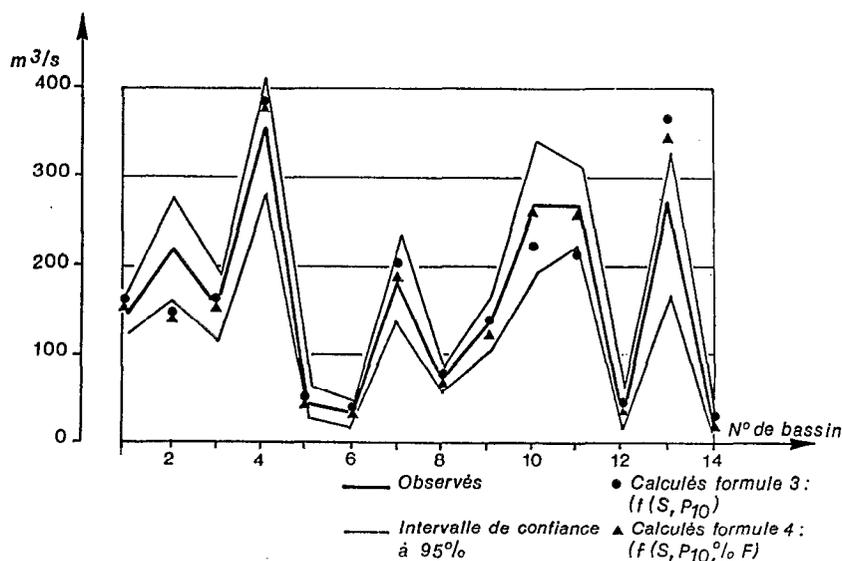


FIG. 4. — Moyenne des débits supérieurs à un seuil

TABLEAU IV

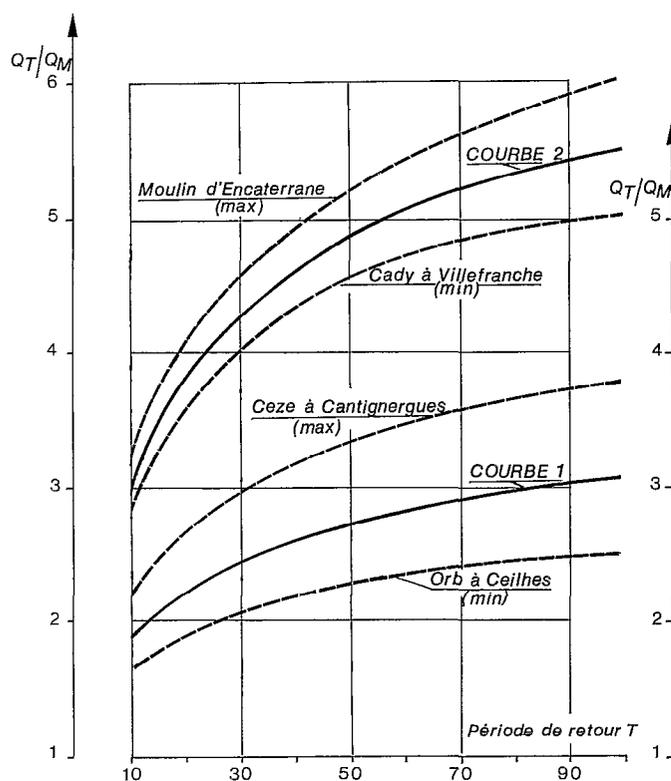
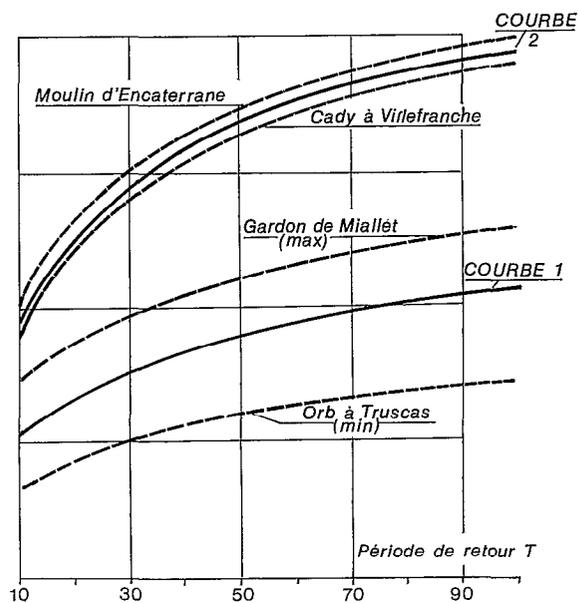
| | | Pourcentage d'erreur relative |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| Moyenne interannuelle des débits maximaux instantanés | Formule 1 $f(S, P_{10})$ | 25 % |
| | Formule 2 $f(S, P_{10}, \%F)$ | 18 % |
| Moyenne interannuelle des débits instantanés maximaux de séquences continues supérieurs à un seuil | Formule 3 $f(S, P_{10})$ | 14 % |
| | Formule 4 $f(S, P_{10}, \%F)$ | 11 % |

4. ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUES DE PÉRIODES DE RETOUR DONNÉE (10, 20, 50 et 100 ANS)

L'ajustement de lois de Gumbel aux historiques de débits disponibles permet d'estimer la valeur des débits Q_T de période de retour T .

Le rapport du débit Q_T de période de retour T à la moyenne des débits maximaux s'organise en fonction de la période de retour selon deux courbes régionales moyennes (fig. 5 et 6). La première de ces courbes regroupe la quasi-totalité des stations étudiées. La seconde concerne deux petits bassins ($S < 100 \text{ km}^2$) des Pyrénées Orientales qui a priori semblent constituer un groupe à part. Cette hypothèse reste à vérifier sur un échantillon d'observations supplémentaires.

L'estimation du débit de crue de période de retour T s'effectue à partir de la valeur Q_M obtenue par les équations précédemment proposées et la courbe régionale correspondant au bassin étudié.

FIG. 5. — Courbes régionales du rapport Q_T/Q_M (débits maximaux annuels)FIG. 6. — Courbes régionales du rapport Q_T/Q_M (débits de crue supérieurs à un seuil)

A titre d'exemple, si nous nous référons aux valeurs de Q_M obtenues pour les équations les plus simples (formules 1 et 3), les pourcentages d'écarts absolus relatifs observés sur les principaux débits caractéristiques sont les suivants :

TABLEAU V

| | Moyenne des écarts absolus relatifs (en pourcentage) | |
|--|---|------|
| | Q_{10} | |
| Débits maximaux annuels instantanés (Q_M calculé par l'équation (1)) | Q_{10} | 18 % |
| | Q_{20} | 17 % |
| | Q_{50} | 16 % |
| | Q_{100} | 16 % |
| Débits instantanés maximaux de séquences continues supérieurs à un seuil (Q_M calculé par l'équation (3)) | Q_{10} | 18 % |
| | Q_{20} | 17 % |
| | Q_{50} | 18 % |
| | Q_{100} | 18 % |

Précisons bien que ces « erreurs » concernent des représentations « par formules » des quantiles et qu'elles ne sont pas significatives des erreurs effectives sur l'estimation des quantiles, erreurs beaucoup plus importantes, en particulier sur les Q_{50} et les Q_{100} .

CONCLUSION

L'objectif d'obtention d'une méthode régionale de débit de crue pour un cours d'eau non jaugé de la région du Languedoc-Roussillon peut-être considéré comme atteint.

Il est toutefois un peu décevant que le facteur indice de sol, obtenu après une analyse fine de classes de sol, ne soit pas pris en compte dans les équations retenues.

Les formulations proposées offrent par contre l'avantage d'une simplicité d'utilisation compte tenu des paramètres intervenants.

Elles présentent un léger progrès par rapport à la méthode Crupedix. Cette dernière conduit en effet à un pourcentage d'écart relatif de 30% sur les débits instantanés de crue de fréquence décennale pour l'échantillon des 14 bassins étudiés. L'autre avantage par rapport à Crupedix réside dans la possibilité d'estimer les débits relatifs à d'autres périodes de retour que la décennale. (Il faut toutefois rappeler ici l'important travail réalisé sur l'analyse du débit instantané biennal (Crupeux) par les équipes du CEMAGREF, du CNRS (LAMA) et du SRAE Rhône-Alpes et Provence-Côte-d'Azur dans la région du sud-est de la France (1985-1986). Il reste pourtant beaucoup à faire au niveau de l'amélioration des courbes régionales et de la vérification des formulations proposées sur des bassins hors échantillon d'ajustement. Cela ne pourra se faire que lorsque nous disposerons d'informations supplémentaires suffisantes.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 4 janvier 1988

BIBLIOGRAPHIE

- CEMAGREF/SRAE Rhône-Alpes et Provence-Côte-d'Azur, 1985-1986. — Crues des petits bassins de moins de 1 000 km² du sud-est de la France (du Léman à la Méditerranée). Plusieurs rapports intermédiaires.
- DRAPER et SMITH, 1966. — Applied regression analyses; John Wiley and Sons Inc.
- MASSON (J.M.), 1983. — La loi de Gumbel. LHM 43/83 — USTL. Méthode générale adaptée pour calculer l'intervalle de confiance d'un quantile. LHM 6/83 — USTL.
- Ministère de l'Agriculture et Ministère des Transports, 1979. — Crues et assainissement: Analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains, juillet 1979 (France).
- Natural Environment Research Council, 1975. — Flood Studies, vol. 1: Hydrologic Studies.
- SOGREAH, 1967. — Crues décennales des bassins versants de 1 à 100 km², Rapport: 9861.
- Ministère de l'Agriculture, 1980-1982. — Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants. Fascicule 1, juin 1980 — Eléments de pluviométrie; fascicule 2, janvier 1980 — La méthode SOCOSE; fascicule 3, juillet 1980 — La méthode CRUPE-DIX; fascicule 4, février 1982 — Etude des caractéristiques Averses-crues.