



# MODÈLES D'ÉTIAGE

par J.-R. TIERCELIN

Ingénieur du  
Génie Rural, des Eaux et des Forêts  
C.E.R.A.F.E.R., Antony

## 1. — Introduction

### 1.1 Différents types de modèles d'étiage.

Le terme d'étiage recouvre des notions assez disparates, aussi est-il nécessaire de faire le tri des définitions utilisées explicitement ou non par les auteurs des études que l'on peut qualifier de « modèles d'étiage ».

Il apparaît que les modèles étudiés ces dernières années en France peuvent se ranger en deux catégories correspondant à deux conceptions du phénomène d'étiage.

Par symétrie avec la notion de crue, l'étiage peut être tout d'abord considéré comme un phénomène extrême. On cherchera par exemple à définir la loi de probabilité du débit le plus faible de l'année ou d'un débit voisin tel que la plus petite moyenne mobile de 10 jours observée chaque année.

La deuxième approche consiste à voir l'étiage comme une notion relative à la demande en eau [3]. Il s'agit ici d'une défaillance possible des débits par rapport aux besoins, défaillance que l'on cherche à définir en termes probabilistes.

### 1.2 Prévision et prédétermination.

Une deuxième distinction doit être faite concernant les types d'application en vue desquels les différents modèles ont été établis, bien qu'en principe ils soient tous destinés à permettre une certaine « prévision » au sens large.

En effet il est nécessaire de distinguer le point de vue de l'auteur de projets d'aménagements hydrauliques et celui du gestionnaire d'ouvrages.

Le premier s'intéresse essentiellement aux lois de probabilité marginales des phénomènes, tandis que le second s'intéresse surtout aux lois conditionnelles des mêmes grandeurs, en fonction des conditions hydrologiques observées au moment où s'élaborent les prévisions.

Cette délimitation n'a évidemment rien d'absolu, mais nous adopterons néanmoins deux mots différents, à savoir « prédétermination » et « prévision » (au sens strict) pour qualifier respectivement chacune de ces préoccupations [11]. Quelle qu'ait pu être l'intention des auteurs de modèles, ceux-ci se prêtent plus spécialement à l'un ou l'autre de ces deux types d'application, bien que des ambivalences existent.

## 2. — L'étiage envisagé comme phénomène extrême

### 2.1 Observations préalables.

Il paraît avant tout nécessaire de rappeler les limites de ce genre d'étude.

Une première difficulté, symétrique de celle qui concerne les crues, vient du fait que l'on ne peut extrapoler avec certitude vers des débits inférieurs aux débits observés, même si ces derniers s'ajustent bien à une forme analytique connue.

La seconde difficulté essentielle repose sur l'imprécision qui affecte généralement la mesure des faibles débits, lesquels subissent en outre fortement des perturbations dues aux ouvrages en rivière [8].

Compte tenu de cette imprécision, trois des critères classiques utilisés pour définir l'étiage ne présentent pas de différence significative, ce qui apparente entre eux les modèles utilisant l'un ou l'autre de ces critères. Il s'agit :

- du débit minimum observé chaque année;
- de la plus petite moyenne mobile de 10 jours consécutifs pour une année, «  $Q_{10}$  »;
- du débit caractéristique d'étiage « DCE » dépassé 355 jours dans l'année.

Nous allons maintenant décrire successivement trois modèles utilisant une de ces définitions.

### 2.2 La méthode de la charnière.

M. Roche a présenté ce modèle à l'assemblée générale d'Helsinki (1960) de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique [12].

Le premier point de la méthode consiste à choisir une caractéristique de débit dite « charnière », située à date fixe, choisie sur la période de décroissance des débits, mais suffisamment proche de la période de hautes eaux pour présenter une forte corrélation avec les pluies de cette période.

Cette corrélation s'établit d'une manière indirecte en reliant le débit charnière aux débits moyens des mois antérieurs, que l'on rattache eux-mêmes aux hauteurs pluviométriques des mêmes mois et de mois précédents.

A partir de la date charnière, les écoulements sont composés d'une fraction déterminée (que l'on peut interpréter comme l'écoulement qu'on observerait en l'absence de pluies), et d'une fraction aléatoire corrélée aux pluies (fig. 1).

Enfin les débits mensuels de la période d'étiage sont mis en relation avec des caractéristiques d'étiage : le DCE est rattaché au débit moyen du mois le plus faible et le « DC 11 » (débit dépassé 11 mois ou 335 jours dans l'année) au débit moyen des deux mois les plus faibles.

Dans les circonstances utilisées pour mettre au point la méthode (bassin de la Namorona à Vohiparara, Madagascar), les coefficients de ces deux corrélations sont supérieurs à 0,95.

Le fait de devoir se rattacher au mois, ou aux deux mois, les plus faibles de la série chronologique annuelle, ne permet pas d'appliquer ce modèle à la prévision (au sens strict) des caractéristiques d'étiage.

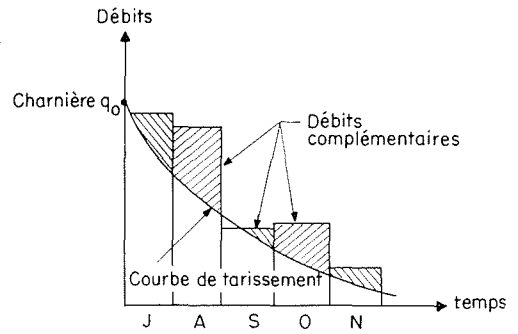
Il s'agit donc d'un modèle de prédétermination dont l'intérêt essentiel réside dans la possibilité de tirer parti d'une longue série d'observations pluviométriques pour l'extension d'une série de données hydrométriques.

### 2.3 Modèle de prévision de J. Bernier.

Cette étude a fait l'objet d'une communication au symposium de Berkeley (1963) de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique [2]. Le modèle repose sur les principes suivants :

Lorsqu'on confronte deux séries chronologiques de pluies et de débits intéressant la même période et le même bassin versant, on constate qu'un certain nombre d'épisodes pluvieux provoquent un accroissement de débit suivi à la fin de la pluie d'une première phase de décroissance brusque (décrue), elle-même suivie d'une phase de décroissance plus lente (tarissement) si l'épisode sec qui suit est suffisamment long.

On effectue le tri de ces phases de tarissement dont on retient les débits initiaux  $q_0$  apparus aux dates  $t_0$ , et dont on assimile la forme à une courbe exponentielle unique.



1/

La liaison existant entre les valeurs successives de  $q_0$  est traduite de la façon suivante. Considérons un système de coordonnées comprenant les dates  $t$  en abscisse (du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre dans le cas d'application utilisé) et les logarithmes des débits en ordonnées. On formule l'hypothèse que pour une année donnée les points  $(t_0, q_0)$  présentent une distribution homoscédastique d'écart-type  $\sigma$  autour d'une droite de régression de la forme :

$$\log q_0 = \log Q_0 - \beta t$$

dans laquelle  $Q_0$  est un débit initial fictif de l'année considérée, et  $\beta$  et  $\sigma$  des paramètres à estimer, caractéristiques de la station.

En se donnant :

- la loi de probabilité de la durée des épisodes pluvieux (ajustée à une exponentielle);
- la loi de probabilité de la durée des épisodes secs (de la même forme);
- la durée minimale de l'épisode sec à partir duquel apparaît le tarissement;
- l'exponentielle de tarissement;
- les caractéristiques de la régression précédente ( $\beta$  et  $\sigma$ );
- le débit initial fictif  $Q_0$ ;

on en déduit la loi de probabilité du débit minimal de la période concernée.

La loi obtenue est de la même forme que celle proposée par J. Gumbel [9] par application de sa théorie des valeurs extrêmes au débit minimal annuel d'une rivière, si on pose dans cette dernière formule que le débit minimal possible est égal à zéro.

L'application du modèle a été faite aux débits de la Seine à Bar-sur-Seine et aux pluies de Châtillon-sur-Seine. Nous obtenons ainsi le diagramme des lois de probabilité cherchées pour différentes valeurs de  $Q_0$  (fig. 2).

En définitive, le modèle fournit la loi conditionnelle du débit minimal d'une période donnée connaissant le débit initial fictif  $Q_0$ . Pour que cette étude passe au plan opérationnel et serve d'outil de prévision, il reste à rattacher la grandeur  $Q_0$  à des paramètres hydrologiques susceptibles d'être connus des prévisionnistes à l'instant initial de la période concernée par le modèle.

### 2.4 Modèle pour l'étude spatiale des étiages.

Les modèles précédents concernaient les débits d'une station donnée et présentaient donc en quelque sorte un caractère ponctuel. Par opposition on peut concevoir des études à caractère régional, dont l'intérêt essentiel est de permettre l'extrapolation de données ponctuelles à des points où il n'y a pas de mesures de débits (et où par consé-

quent des procédés tels que l'extension des données par corrélation sont impraticables).

Dans ce contexte J. Dauty [5] a proposé un modèle d'estimation de certaines caractéristiques d'étiages à l'échelle du bassin versant de l'Allier.

Dans une première phase la variable étudiée est la plus petite valeur annuelle de la moyenne mobile de 30 jours («  $Q_{30}$  »), pour chaque station.

Les débits mensuels d'été sont d'abord rattachés statistiquement aux pluviométries des mêmes mois et des deux mois antérieurs. Les corrélations ainsi obtenues sont de l'ordre de 0,7. Compte tenu de la période d'occurrence observée pour le  $Q_{30}$ , cette variable peut être ainsi reliée aux pluies.

L'auteur a cherché ensuite à mettre la droite de régression obtenue en relation avec les caractéristiques des bassins versants dominant les stations étudiées. Il apparaît dans ces conditions que la nature géologique du substratum influe de façon significative sur la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression, et que la surface du bassin influe uniquement sur l'ordonnée à l'origine (en raisonnant sur les débits spécifiques).

A la suite de cette étude il apparaît qu'en l'absence de données hydrométriques le modèle permet d'estimer le  $Q_{30}$  avec une erreur probable de l'ordre de 50 %. Malgré ce chiffre élevé, la méthode est valable si on considère en contrepartie la marge d'incertitude qui affecte les mesures de débits d'étiage.

La deuxième phase essentielle de l'étude consiste à relier la valeur  $Q_{30}$  à la valeur  $Q_t$ , minimum annuel de la moyenne mobile de  $t$  jours. Pour  $t$  compris entre 10 et 120,  $Q_t$  peut être déduit de  $Q_{30}$  par la relation :

$$Q_t = Q_{30} \cdot e^{n(t-30)}$$

dans laquelle  $n$  varie avec la nature géologique du bassin versant concerné.

En définitive, le modèle permet la prédétermination des valeurs  $Q_t$  en un point où il n'y a pas de mesures hydrométriques, à partir des observations pluviométriques et des caractéristiques de bassin versant.

Dans une autre étude [6] le même auteur a proposé une distribution log normale pour la variable  $Q_{10}$ . La relation précédente permet d'en déduire la distribution log normale de  $Q_t$ .

### 3. — Notion relative d'étiage

#### 3.1 Généralités.

Comme nous l'avons vu au § 1.1, la notion d'étiage résulte ici de la comparaison d'une chronique de débits et d'une chronique de demande en eau (observée ou hypothétique). Suivant les circonstances, la défaillance susceptible de se manifester sera définie par sa durée totale, le volume déficitaire, ou toute autre caractéristique dépendant des problèmes pratiques abordés.

Les modèles de cette famille relèvent d'une des deux conceptions consistant soit à intégrer la demande en eau dans le modèle, soit à établir uniquement un modèle de débits en rivière dont les résultats seront ensuite confrontés avec la demande.

#### 3.2 Modèle incluant le niveau de la demande en eau.

Un modèle de ce type a été proposé par J. Astier [1].

La série de débits étudiée est assimilée à un processus stationnaire (la méthode a été appliquée au bassin de l'Allier pour la période du 1<sup>er</sup> juillet-30 septembre), et le niveau de la demande est supposé constant (fig. 3).

La période d'étiage est considérée ainsi comme une succession de périodes, excédentaires et déficitaires, que l'on caractérise par plusieurs variables aléatoires, soit essentiellement les durées  $T$  et  $T'$  des périodes excédentaires et déficitaires, les volumes  $V$  et  $V'$  excédentaires et déficitaires, le maximum de déficit  $I$ .

Le modèle ainsi construit se prête à l'application de la théorie du renouvellement, ce qui permet d'obtenir un certain nombre de résultats de façon purement analytique, en particulier pour chaque variable la loi du nombre de réalisations sur une période donnée, la loi de la somme de ces réalisations et la loi du maximum.

La deuxième phase du travail consiste à paramétrer ces diverses lois de probabilité en fonction du niveau de la demande. Une difficulté d'ajustement importante apparaît alors du fait du petit nombre de réalisations de chaque variable lorsque le niveau de la demande s'éloigne du niveau moyen des débits. Aussi est-il envisagé de poursuivre cette étude en essayant de prendre en compte un niveau de référence qui ne serait plus le niveau de la demande, mais un niveau aléatoire fonction de l'hydrogramme.

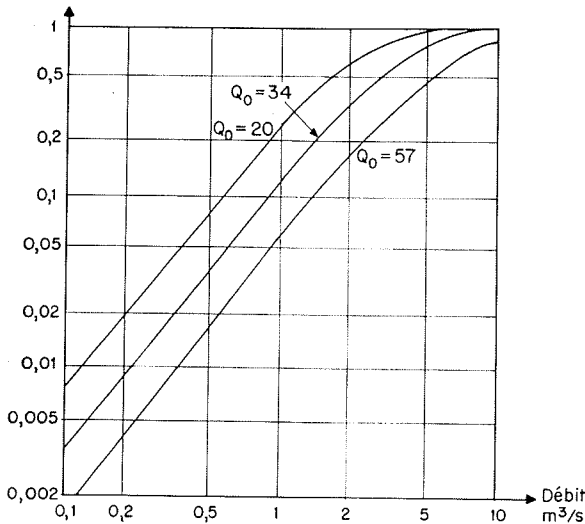
Par sa structure, ce modèle se prête à la résolution de problèmes de prédétermination.

#### 3.3 Modèles de débits pour la période de basses eaux.

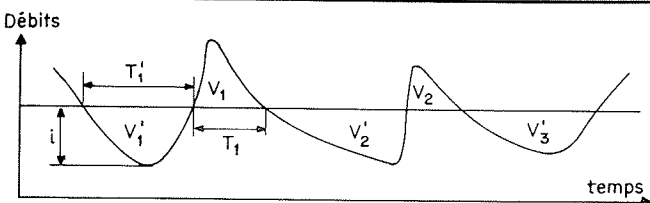
##### 3.3.1 REMARQUES PRÉLIMINAIRES.

On peut très bien concevoir que des modèles de débits non établis à l'origine pour traiter des problèmes d'étiages puissent servir à de telles applications. Tel est le cas par exemple d'un modèle proposé par D. Duband [7], qui se base sur la liaison des débits journaliers successifs par multicorrélation linéaire. Il est possible qu'un tel modèle, exploité par simulation, puisse servir à résoudre des pro-

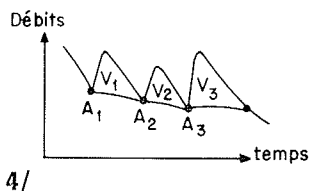
Probabilité cumulée



2/



3/



4/

blèmes de prévision et de prédétermination en matière d'étiage.

Néanmoins, il existe des modèles mis au point spécialement pour traiter ces questions, ce qui se justifie d'abord par le fait que le problème posé permet d'admettre une schématisation de la chronique des débits : on conçoit bien que la forme exacte des hydrogrammes de crues n'ait pas d'intérêt pour estimer les risques de défaillance des débits par rapport aux besoins. Ensuite les problèmes de défaillance se situent à une période bien déterminée de l'année pour un régime hydrologique donné, ce qui conduit à n'étudier que les débits journaliers de cette période, qui présente généralement une certaine homogénéité.

3.3.2 MODÈLE DE DÉBITS SEULS.

Nous avons établi un modèle de débit basé sur les principes suivants [13 et 15] :

Sur une chronique de débits (fig. 4), nous repérons les minimums relatifs  $A_1, A_2, \dots$ . Nous considérons que le processus des débits peut être assimilé à la superposition d'une tendance générale représentée par les points A et d'apports complémentaires constitués par les volumes  $V_1, V_2, \dots$

Après un changement de variable adéquat, les débits aux points A peuvent être considérés comme suivant une loi normale stationnaire dans le temps. Sur l'échelle des temps, l'apparition des points A est assimilable au processus ponctuel de Poisson. Enfin la liaison des points A successifs est considérée comme markovienne.

Les volumes V sont traités comme un facteur correctif défini par sa moyenne et sa variance liées au débit en A.

Contrairement au cas du § 3.2 l'exploitation analytique possible est ici très limitée. L'obtention de résultats intéressants sur le plan pratique [15] exige le recours à la simulation. La méthode a été appliquée aux débits du Salat à Kercabanac, et montre une bonne adéquation aux observations de départ (comparaison effectuée sur 28 années d'observations de la période 15 juin-15 septembre).

Ce modèle est avant tout destiné à résoudre des problèmes de prédétermination mais peut servir éventuellement à la prévision au sens strict lorsqu'on se trouve au

moment de cette prévision dans la période couverte par le modèle.

Des études sont poursuivies actuellement pour essayer de donner à ce modèle une dimension régionale, c'est-à-dire plus précisément une possibilité de l'appliquer à des stations où il y a peu de mesures hydrométriques dans la région considérée (sud-ouest de la France).

3.3.3 MODÈLE PLUIES-DÉBITS.

Le modèle précédent se trouve limité sur le plan des applications dans deux directions essentielles :

- impossibilité de tirer parti d'une longue série pluviométrique éventuelle pour améliorer la connaissance des débits;
- impossibilité de traiter le problème des besoins d'irrigation, qui sont aléatoires et en outre liés statistiquement aux débits [4].

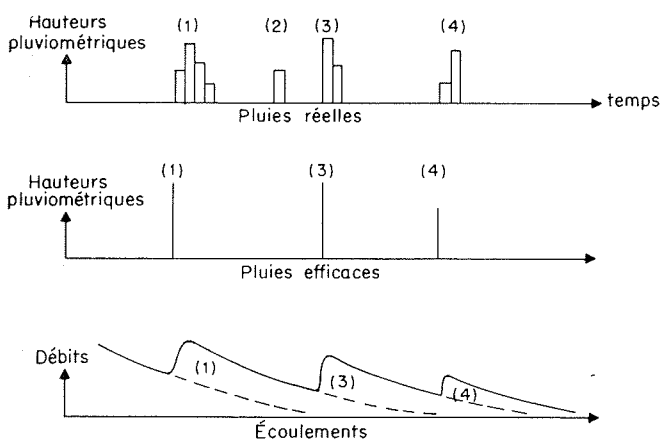
Dans ces conditions, nous avons développé un modèle pluies-débits [14 et 15], à partir d'une base mathématique fournie par J. Bernier.

Le principe de ce modèle est le suivant : considérons une succession d'épisodes secs et pluvieux. Chaque épisode pluvieux est schématisé par sa hauteur pluviométrique supposée tombée de façon instantanée (fig. 5). Certaines de ces pluies sont efficaces, dont une fraction se transforme en écoulement. Le passage pluies-débits s'effectue par une fonction de transfert unique.

Ayant défini le processus ponctuel d'apparition des épisodes pluvieux, supposé poissonnien, et la loi de la hauteur pluviométrique d'épisode, ainsi que l'équation de la fonction de transfert, il est possible d'en déduire analytiquement les moments de la loi de probabilité de l'apport total d'une période quelconque (loi marginale ou conditionnelle).

Pour que le modèle ainsi défini s'avère suffisamment fidèle aux observations, il a fallu introduire un certain nombre de complications. Les deux principales résident dans le fait que d'une part la relation entre pluies observées et pluies efficaces génératrices de débits ne peut être que statistique et non déterministe, et que d'autre part il faut se donner les conditions initiales du processus. Pour estimer les paramètres des conditions initiales, nous avons d'ailleurs utilisé notre modèle de débits seuls.

Comme dans celui-ci, les résultats d'application pratique ne pourront être obtenus que par simulation, laquelle n'est pas encore au point actuellement mais ne devrait pas soulever de difficulté. Les applications concernent les domaines de la prédétermination et de la prévision à courte échéance comme dans le cas précédent.



5/

4. — Conclusion

Les recherches récentes effectuées en France en matière de modèles d'étiages se sont orientées suivant deux tendances : une approche « classique » du phénomène d'étiage tendant à définir celui-ci par un paramètre, et une approche globale concernant l'ensemble du processus des débits de basses eaux en vue de les confronter à des demandes en eau actuelles ou hypothétiques.

Dans l'ensemble, les études de ce domaine sont moins avancées que celles d'autres branches de l'hydrologie [10]. Le travail le plus rentable dans l'immédiat semble d'ailleurs reposer beaucoup plus sur le perfectionnement des modèles existants, que sur la création de nouveaux modèles susceptibles de s'ajouter à l'arsenal déjà abondamment pourvu dans ce domaine en France et à l'étranger.

## 5. — Bibliographie

N.B. — « GHLNH » signifie : Groupe Hydrologie du Laboratoire National d'Hydraulique, Faculté des Sciences, (34) Montpellier.

- [1] ASTIER (J.). — « Essai de construction de modèles probabilistes sur les étiages ». Note interne, réf. 41.67, *GHLNH* (1967).
- [2] BERNIER (J.). — « La prévision statistique des bas débits ». Publication n° 63, Assemblée générale de Berkeley de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique (1963).
- [3] CORMARY (Y.). — « Prévision des étiages ». Note interne, réf. 6.68, *GHLNH* (1968).
- [4] CORMARY (Y.). — « Etude du risque de concomitance entre les étiages et certains besoins saisonniers en eau ». Note interne, réf. 27.67, *GHLNH* (1967).
- [5] DAUTY (J.). — « Estimation des débits d'étiage à partir des précipitations et des caractéristiques physiques du bassin versant ». Note interne, réf. 56.67, *GHLNH* (1967).
- [6] DAUTY (J.). — « Ajustement des lois de Galton à l'ensemble des stations ». Note interne, réf. 43.67, *GHLNH* (1967).
- [7] DUBAND (D.). — « La corrélation en chaîne des débits journaliers ». 10<sup>e</sup> Journées de l'Hydraulique, *S.H.F.* (1968).
- [8] GOUBET (A.). — « Méthodes de mesure des faibles débits d'étiage ». Deuxième Session de Recyclage interécoles en

hydrologie, *Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts* (1967).

- [9] GÜMBEL (E. J.). — « Statistical forecast of droughts ». *Bulletin de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique*, 8<sup>e</sup> année, n° 1 (1963).
- [10] HLAVEK (R.). — « L'étude hydrologique des étiages ». Deuxième Session de Recyclage interécoles en hydrologie, *Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts* (1967).
- [11] JAMME (G.). — « Exposé introductif sur la prévision hydrologique ». Troisième Session de recyclage interécoles en hydrologie, *Ecole Nationale des Ponts et Chaussées* (1968).
- [12] ROCHE (M.). — « Méthode d'estimation des débits d'étiage de faible fréquence. Application à une rivière de Madagascar ». Assemblée générale de Helsinki de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique (1960).
- [13] TIERCELIN (J. R.). — « Exemple d'étude probabiliste des étiages ». Note interne, réf. 31.68, *GHLNH* (1968).
- [14] TIERCELIN (J. R.). — « Recherche d'un modèle probabiliste climatologie-débit pour la période estivale ». Réf. 1.69 et 6.69, *GHLNH* (1969).
- [15] TIERCELIN (J. R.). — « Modèles probabilistes d'étiage ». BTGR n° 108. Centre National d'Etudes Techniques et de Recherches Technologiques pour l'Agriculture, les Forêts et l'Equipement Rural (CERAFER) (1971).

## Discussion

Président : M. F. VALIRON.

M. le Président remercie M. TIERCELIN pour son intéressant exposé qui précise les possibilités actuelles des divers modèles d'étiage et ouvre la discussion.

Utilise-t-on, dans ce domaine, d'autres lois de distribution que celle de Gumbel, demande M. LARRAS ?

En réponse, M. TIXERONT signale que d'après « Water Resources Research », un groupe de travail américain a été chargé d'établir, il y a deux ou trois ans, des règles uniformes pour l'application des lois statistiques des valeurs extrêmes, applicables par les diverses « agences » des Etats-Unis. La loi recommandée pour son utilisation par les agences, de préférence à la loi de Gumbel, est la loi log-normale ou la loi log-Pearson n° III, qui « contient » comme cas particulier, la loi log-normale. On peut se demander si la loi de Galton-Gibrat, d'usage courant en France, n'a pas des avantages analogues à la loi de Pearson. Comme elle, c'est une loi à trois paramètres contenant la loi log-normale comme cas particulier.

Revenant à la communication de M. TIERCELIN, M. TIXERONT poursuit : « La confrontation des besoins et des débits d'étiage, en vue de fixer les performances et les régimes d'exploitation d'un barrage, se fait facilement quand on a des données sur un assez grand nombre d'années par établissement d'une comptabilité d'exploitation (cela a été fait sur une période de cinquante ans pour la Loire à l'amont de Gien et au confluent de l'Allier), on peut d'ailleurs faire varier les systèmes d'apports d'eau envisagés et les objectifs. Comme cela donne lieu à des calculs assez longs, il faut exécuter ces calculs pour lesquels des « programmes » existent, sur ordinateur. En ce qui concerne les besoins, essentiellement constitués en étiage par les prélèvements pour l'irrigation, on a pu dans le cas considéré établir très facilement un calendrier mensuel des besoins pour une période de cinquante ans. Il ne semble pas qu'une méthode statistique donnerait des informations significativement plus intéressantes.

« Par contre, dans un cas où on ne peut constituer une série chronologique de longue durée, la solution ne serait-elle pas de constituer des séries fictives d'apports probables suivant des méthodes du genre de celles étudiées par le groupe d'études de Montpellier. »

M. CAYLA observe que les études sur les étiages semblent pouvoir utiliser les « modèles généraux » utilisés en hydrologie moyennant quelques adaptations. Ainsi, certains modèles probabilistes devraient être modifiés afin de ne pas donner aux étiages des débits négatifs; les modèles déterministes devraient prendre plus précisément en compte les phénomènes qui sont prépondérants en étiage : déstockage des nappes souterraines, en particulier le long des berges, par exemple.

M. GUILLOT donne quelques informations sur les travaux d'un chercheur israélien, M. MILU ROSENBERG, qui doit présenter bientôt à Grenoble une thèse sur les cours d'eau d'Israël :

« M. ROSENBERG, dit-il, a établi des équations de corrélations multiples qui expliquent l'écoulement des cours d'eau de son pays; il y parvient par des régressions linéaires de même type que celles que je vous ai montrées ce matin pour le Drac ou la Cère en utilisant la racine carrée des débits. Or, il s'agit de cours d'eau de régions arides qui ne coulent que pendant l'hiver, et pourtant il explique ces écoulements par une équation de régression multiple faisant intervenir les pluies des mois d'hiver plus des facteurs qui traduisent la concentration dans le temps de ces pluies.

« M. ROSENBERG arrive à des coefficients de corrélation de 0,96 et 0,98, ce qui montre bien que la méthode dont je vous parlais ce matin pour évaluer les risques et les débits d'étiage est applicable même en pays aride, pour des cours d'eau dont les coefficients d'écoulement, dans certains cas, sont de l'ordre de quelques pour cent.

« Il avait paru choquant à M. PARDE et à M. ROSENBERG qu'en appliquant la formule visée plus haut pour certaines années sèches, on trouve un écoulement faiblement négatif. Aussi, M. ROSENBERG a-t-il calculé les valeurs optimales de son ajustement aux moindres carrés avec la contrainte de ne jamais obtenir sur son échantillon des valeurs négatives de l'écoulement.

« C'est un problème de programmation linéaire (recherche d'un optimum avec contrainte) que M. ROSENBERG a correctement résolu. Ce dernier raffinement n'a pas, dans cette application pratique, d'intérêt évident car pour une année future très sèche, la formule pourra bien encore donner un écoulement faiblement négatif. »

Se référant à la première partie de l'intervention de M. TIXERONT, résumée ci-dessus, M. GUILLOT déclare :

« Certains hydrologues aux Etats-Unis et ailleurs continuent à se poser des questions sur ces problèmes, aujourd'hui dépassés, des lois de distribution optimales des débits extrêmes; je pense que surtout en matière de bassins de petite taille, il faut se référer aux pluies.

« En ce qui concerne les étiages, il existe aussi une série de travaux des « probabilistes » consistant essentiellement à tenter d'ajuster une loi de probabilité aux plus faibles débits connus de l'année; la même illusion a régné et continue peut-être à régner dans l'esprit de certains en ce qui concerne la possibilité d'extrapoler une forme limite d'une loi de distribution particulière (loi Fisher-Tipett, type III, par exemple) aux débits d'étiage.

« Il faut répéter qu'il n'y a aucune raison pour qu'on puisse extrapoler une prétendue forme limite de distribution des valeurs extrêmes. Une forme limite de distribution, par définition, concerne la partie centrale de la distribution et n'est pas extrapolable en dehors de l'intervalle 10-90 %.

« C'est une des raisons pour lesquelles nous estimons préférable de ne plus les utiliser et qu'il vaut mieux là aussi appuyer l'évaluation des risques d'étiage sur les calculs de risque de pluies extrêmes faibles. »

M. le Président remercie M. GUILLOT d'avoir bien montré les limites des méthodes en cours de discussion.

M. DUJARDIN signale un autre genre de difficulté :

« Les modèles d'étiage, dit-il, ont généralement pour but de définir les ressources en eau en saison sèche pour les comparer aux besoins actuels ou projetés. Une difficulté survient souvent du fait qu'il existe déjà des pompages ou des captages dont il est difficile de connaître le volume et que de ce fait, on ne peut pas connaître les étiages naturels. »

## Abstract

### Low-water flow models

The term "low-water flow" conveys a variety of meanings and ideas, which can, however, be summed up under two main headings : 1) the extreme case or extreme conditions and 2) insufficient flow available to meet the demand. In addition, models are more especially suitable for 1) discharge prediction for the design of river structures and 2) discharge prediction (in the strict sense of the word) for flow management purposes.

Among the models recently designed in France for the extreme case, the following merit closer attention :-

- (i) A model for the determination of the characteristic low-water discharge, which offers the possibility of extending measured flow series by observed rainfall series (M. Roche).
- (ii) A regional model enabling the annual minimum of a mobile mean of given length to be estimated in terms of rainfall and catchment area characteristics (J. Dauty).

- (iii) A model for use in attempting to predict the minimum annual discharge (J. Bernier).

Models designed to compare available supplies with requirements are based on the two following possible principles :-

- (i) Determination of discharge with respect to a given requirement level in order to be able to predict short-supply conditions (J. Astier).
- (ii) The construction of discharge models, which are then compared with the requirements, with the same object in view (J. R. Tiercelin). A discharge model has been developed for this purpose and a rainfall/runoff model is now being prepared, to enable measured flow series to be extended by observed rainfall series, and in order to be able to allow for irrigation requirements.

