

CONSEIL
SCIENTIFIQUE
DU COMITE DE BASSIN
RHONE
MEDITERRANEE
CORSE



**DÉTERMINANTS HYDROLOGIQUES
DE CARACTÉRISATION
DU FONCTIONNEMENT PHYSIQUE
DES COURS D'EAU**

Octobre 2000



**CONSEIL SCIENTIFIQUE
COMITE DE BASSIN RHONE-MEDITERRANEE-CORSE**

**Déterminants hydrologiques de caractérisation du
fonctionnement physique des cours d'eau**

Résumé

Travaux du Groupe d'Experts « Hydrologie et Ecosystème Fluvial », composé de Messieurs

- Claude AMOROS
- Bernard CHASTAN
- Bernard CHOCAT
- Pierre CHAUVE
- Jean-Luc PEIRY

et partiellement

- Philippe BOIS
- Pierrick GIVONE
- Guy OBERLIN

Sous la Présidence de Daniel DUBAND

PREAMBULE

Le bassin Rhône Méditerranée Corse présente une diversité et une variabilité exceptionnelles de régimes hydrologiques (du régime pluvial méditerranéen au régime pluvial océanique, auxquels s'ajoutent toutes les combinaisons avec le régime nival... jusqu'au régime glaciaire). Les variations saisonnières ou l'irrégularité des étiages et des crues se répercutent sur le fonctionnement biologique et physique des cours d'eau, et à chaque régime hydrologique particulier doit correspondre un mode de gestion adapté. Mais la caractérisation d'un régime hydrologique est extrêmement complexe, et il est très difficile de résumer en quelques chiffres la variabilité d'un débit qui dépend de facteurs aussi variés que la nature géologique du bassin, l'altitude, la saison, les aléas climatiques et l'influence anthropique.

Gestionnaires aussi bien que scientifiques se heurtent fréquemment à cette complexité, ce qui a motivé la saisine par le Comité de Bassin de son Conseil Scientifique, et la mobilisation, en son sein, d'un groupe d'experts. Une réflexion de fond à caractère pluridisciplinaire, menée sur deux années, a permis d'identifier des paramètres synthétiques qui puissent rendre compte de la diversité des situations rencontrées sur les cours d'eau du bassin.

Les résultats obtenus ont d'ores et déjà été utilisés dans le cadre de la réflexion sur les objectifs de quantité préconisée par le SDAGE. Ils ont également été intégrés dans les études nationales en cours concernant la définition d'un Système d'Evaluation de la Qualité Physique des cours d'eau (SEQ Milieu Physique). Ce travail de défrichage sur un sujet d'actualité nouveau et particulièrement complexe constitue donc déjà une contribution significative aux réflexions et aux travaux menés par ailleurs. Il sera également mis à profit dans le cadre des études thématiques menées par les groupes de travail chargés du suivi du SDAGE et par les groupes techniques en charge des études inter-bassins. Il restera à en assurer la déclinaison au regard de la variété des contextes et des problématiques posés, et des mesures opérationnelles de gestion à mettre en place. Partant de considérations théoriques et encore très générales, il conviendra donc d'intégrer et de développer plus spécifiquement d'autres aspects, non encore abordés (liés à l'occupation des sols par exemple), nécessaires à la définition d'objectifs quantitatifs pertinents et réalistes.

L'objectif assigné au Groupe de Travail « Hydrologie et Ecosystème Fluvial » était de proposer une **description à base hydrologique du fonctionnement des cours d'eau du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse**, pour la définition d'objectifs de quantité préconisés par le SDAGE, en s'appuyant sur des critères quantitatifs dépassant les approches géographiques et géomorphologiques classiques de type plutôt qualitatives.

La démarche consistait à :

1. identifier des descripteurs quantitatifs pertinents de l'hydrologie des cours d'eau, selon le type de cours d'eau considéré, par sélection de débits et des régimes caractéristiques,
2. estimer les valeurs ou les plages de valeurs des descripteurs sélectionnés traduisant un « bon » fonctionnement et les écarts aux références de débits significatifs en terme de fonctionnement physique et biologique.

Dans cette première phase de réflexion, le groupe de travail s'est attaché à **élaborer, à dire d'expert, une liste de descripteurs hydrologiques** qui lui semblent pertinents. Cette liste a fait l'objet d'une analyse fine et d'une application à six cours d'eau du Bassin RMC, essentiellement sur des chroniques historiques de débits moyens journaliers.

Il a permis d'amorcer la deuxième phase de réflexion relative à la quantification des descripteurs et d'en dégager quelques principes méthodologiques qui, consolidés par les travaux menés par ailleurs à l'échelle nationale, pourront déboucher à terme sur un référentiel opérationnel.

1. Description des régimes hydrologiques : principes et méthodologies

1.1. Notion de régime hydrologique

L'évolution permanente du débit d'un cours d'eau, selon les saisons, subit l'influence de nombreux facteurs : certains aléatoires comme les événements d'origine météorologique (pluie, neige, température, rayonnement, ...) et d'autres plus pérennes et caractéristiques du bassin versant (relief, géologie, végétation, nappes phréatiques, ...) ainsi que l'influence anthropique.

C'est cette variabilité temporelle des écoulements que s'attache à caractériser le régime hydrologique.

« S'intéresser au régime hydrologique de la rivière, s'interroger sur la probabilité d'occurrence d'un débit à une date donnée, c'est étudier la variation des débits, des écoulements, selon la saison dans l'année et au cours de l'année » (définition EDF-CEMAGREF).

Le régime hydrologique d'un cours d'eau peut s'exprimer à différentes échelles. Outre la fluctuation aléatoire, l'analyse du débit en fonction du temps nécessite de prendre en compte une composante temporelle déterministe adaptée au pas de temps choisi pour l'étude : composante à long terme (tendance) pour un pas de temps annuel, saisonnière pour un pas de temps mensuel à journalier, diurne pour des pas de temps horaires.

1.2. Méthodes de caractérisation du régime hydrologique

Elles ne sont pas nombreuses dans la littérature scientifique et seul un inventaire non exhaustif est ici présenté.

• Les classifications

Il en existe plusieurs types, mais elles sont cependant toutes basées sur l'hypothèse que la variation temporelle de l'écoulement dépend de deux facteurs : l'influence du régime climatique (distribution saisonnière de la pluie et de l'évaporation, de l'arrivée et de la fonte des neiges, ...) et l'influence physiographique du bassin versant (présence ou non d'aquifères, de marais, de lacs, ...).

Elles sont effectuées sur les débits moyens mensuels et annuels d'après une chronique d'un nombre important d'années.

La classification de Pardé (France, 1955) adaptée aux rivières françaises distinguent plusieurs régimes :

Régimes hydrologiques		Caractéristiques essentielles	Exemples
Surtout pluies	Pluvial océanique	Hautes eaux de saison froide ; basses eaux de saison chaude (maximum de janvier à mars, minimum de août à septembre) Deux saisons hydrologiques.	<i>Plaines sédimentaires</i> (Seine, Meuse) <i>Façades océaniques</i> (Blavet, basse Loire) <i>Pleine de l'Est</i> (Saône)
	Pluvial méditerranéen	Hautes eaux de saison froide ; basses eaux d'été. Des étiages sévères. Type géographique très limité.	<i>Basse-Provence, Maures, Esterel</i> (Arc, Argens)
Pluie et neige	Pluvio-nival	Les deux modes d'alimentation de l'écoulement sont sensibles. Cependant prédominance de l'alimentation pluviale. Hautes eaux d'hiver et de printemps ; basses eaux d'été	<i>Jura, Massif Central</i> (Ain, Doubs, Tarn à Albi, Lot à Cahors) <i>Cévennes</i> (Ardèche à Vallon) <i>Pyrénées</i> (la Nive)
	Nivo-pluvial	Rôle accru de la neige dans l'écoulement. Pénurie d'hiver (rétention nivale), gonflement printanier (fonte des neiges), basses eaux de fin d'été (rôle de l'évaporation), recrudescence automnale à caractère pluvial.	<i>Préalpes</i> (Fier, Chéran, Guiers, Bourne, Asse, Bléone, Verdon) <i>Pyrénées</i> (Bas Gave d'Oloron à Oloron, Bas Gave d'Ossau)
	Nival atténué	Le rôle de la neige devient important. Il se combine cependant encore largement avec celui des pluies.	<i>Alpes</i> (Drac au Sautet) <i>Pyrénées</i> (Neste, Pique, Salat, Ariège, Haute Garonne, etc.)
	Nival majeur	Le rôle de la neige devient majeur. D'où glissement des hautes eaux sur la fin du printemps ou l'été (mai à juillet)	<i>Alpes</i> (Haute Durance et ses tributaires, Isère après Bourg Saint Maurice)
Neige et glace	Glaciaire	Intervention de l'englacement des bassins versants. Les glaciers prennent une importance majeure, dès lors que leur surface occupe au moins 15 à 20% de celle des bassins versants. Report des hautes eaux sur l'été.	<i>Alpes</i> (Arve à Chamonix, les Arveyron, l'émissaire du glacier du Bionnassay, etc.)

Tableau n°1 : Les régimes hydrologiques en France (D'après Pardé, légèrement modifié).

• Les méthodes probabilistes

Elles ont pour objectif de calculer la probabilité pour un débit Q de ne pas être dépassé (crues) ou bien d'être dépassé (étiages).

Ces méthodes ne définissent pas le régime d'un cours d'eau, mais en éclairent certains aspects. Elles permettent également d'intervenir sur le dimensionnement des ouvrages.

• La méthode des courbes de débits classés

Elle donne une «vision concise de la variabilité hydrologique d'un bassin versant et fournit une information essentielle pour la gestion de la ressource en eau » (Digman, 1978).

Ces courbes sont obtenues en classant les débits mesurés instantanés ou journaliers par ordre décroissant, sans tenir compte des saisons et de la dépendance temporelle, afin de rendre compte d'un pourcentage de temps pendant lequel ils ont été dépassés au cours de toute la chronique des mesures.

• La méthode de synthèse développée par EDF

Basée sur le régime des débits selon la saison, le principe de cette méthode est d'étudier la répartition des débits moyens journaliers enregistrés à l'exutoire d'un bassin versant.

Les résultats sont présentés sous un graphe sur lequel figurent les quantiles remarquables, les débits moyens journaliers, la valeur dépassée en moyenne 1 année sur 10 par le débit journalier le plus fort du mois (QJXM10) et toutes les valeurs de débits moyens journaliers supérieures à la valeur décennale.

L'avantage de ces graphes est qu'ils proposent une vision très claire et synthétique de l'hydrologie d'un cours d'eau et en particulier de l'évolution annuelle du débit, tout en intégrant les notions d'étiage et de crue.

Un exemple de résultat de l'application de cette méthode est donné sur la figure n°1.

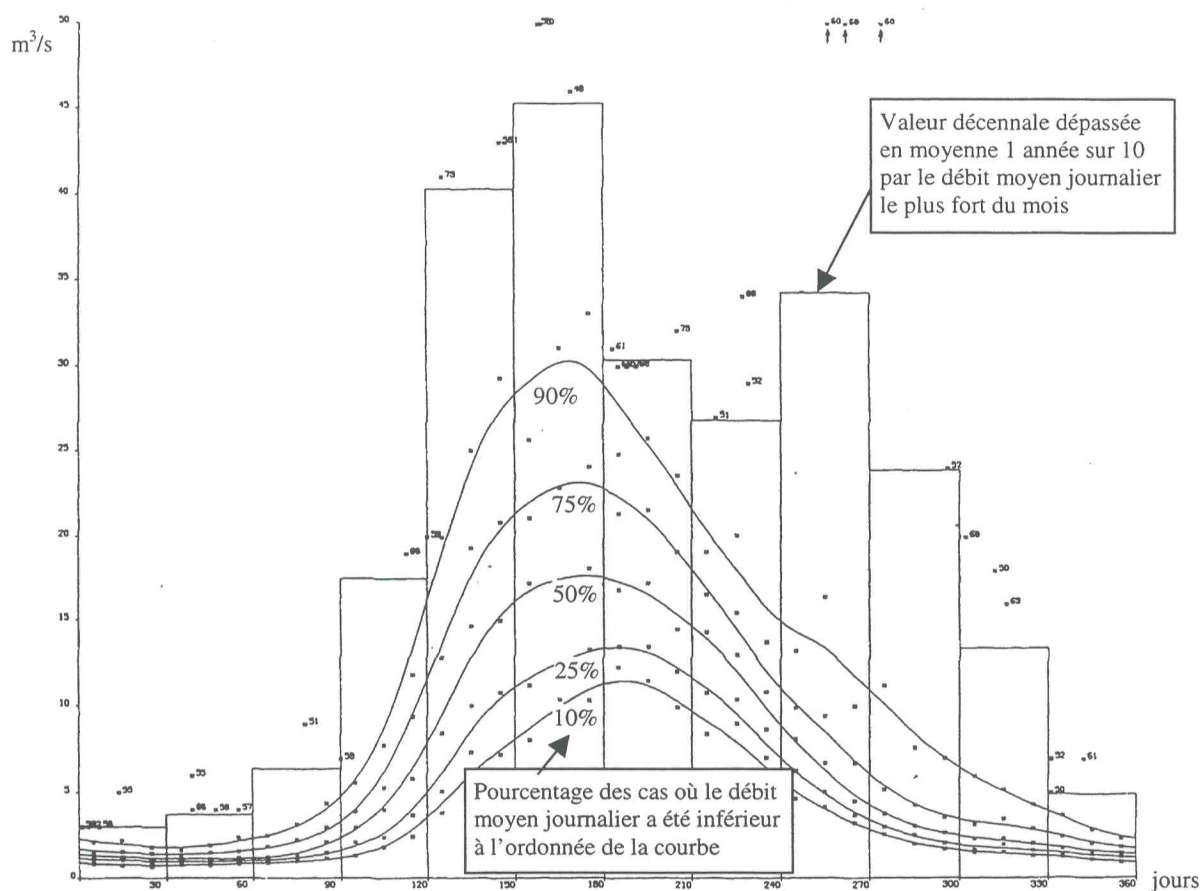


Figure n°1 : Exemple d'application de la méthode de synthèse développée EDF
Répartition des débits moyens journaliers suivant l'époque de l'année sur la période 1948 - 1976

• **Les méthodes de synthèses tenant compte de la durée de la crue : courbes Débit-Durée-Fréquence (QdF)**
Depuis quelques années, le CEMAGREF a développé des modèles QdF afin de caractériser les régimes hydrologiques. Ces modèles simples à caler et faciles à utiliser permettent globalement de procéder à une analyse fréquentielle des crues et des étiages sur un bassin versant donné et de produire une relation analytique entre débits (en un point donné) et durées (de quelques heures à plusieurs dizaines de jours selon la taille du bassin versant considéré), ceci pour n'importe quelle fréquence souhaitée (de l'annuelle à la millénaire par exemple). Le graphique résultant, sur lequel figurent des courbes QdF, traduit simplement le fait qu'une valeur de la variable hydrologique (un débit seuil) est susceptible d'être dépassée pendant une durée continue d , en un site donné, avec une probabilité d'occurrence qui est en moyenne d'une fois toutes les T années (fréquence). Afin que cette méthode permette de caractériser le régime hydrologique d'un bassin versant, ces modèles ont été normés (en tenant compte de deux autres variables, la durée caractéristique de la crue (d/D) et le débit instantané maximal annuel décennal de la crue $QIXA10$) pour obtenir des modèles de synthèse QdF de référence.

En période de crue, trois modèles de référence (figure n°2) caractéristiques de trois régimes hydrologiques différents ont été retenus. Pour déterminer le modèle QdF représentatif du bassin versant étudié, on reporte sur le graphe les couples (d/D , $G_p/QIXA10$) (où G_p est le gradex des pluies de durée d) du bassin versant considéré pour plusieurs valeurs de d , et selon leur position dans l'une des trois parties délimitées par les deux courbes tracées, le bassin versant appartient à l'une ou l'autre des familles hydrologiques (le modèle de Vandenesse caractérise un régime hydrologique en crue soutenu alors que celui de Soyans un régime d'écoulement rapide).

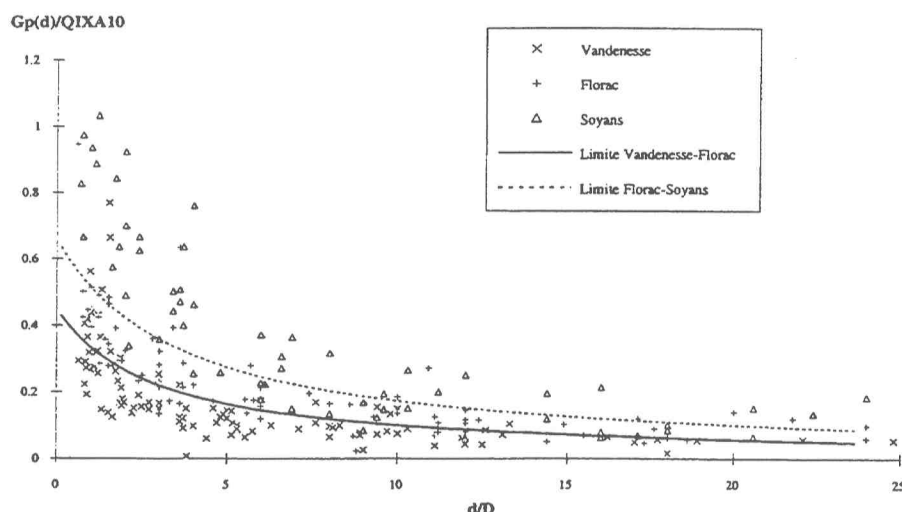


Figure n°2 : Critère de choix du modèle QdF de crue représentatif du bassin versant étudié.

En étiage, les régimes hydrologiques sont définis selon quatre modèles de référence. Le critère de choix du modèle QdF représentatif du bassin versant étudié est l'écart-type de l'échantillon de débit - volume journalier d'étiage annuel.

S (écart-type)	Régime d'étiage peu soutenu
1	Modèle de Force
0.8	Modèle de Vaubarlet
0.54	Modèle de Saint-Floret
0.4	Modèle de Ménétréol
	Régime d'étiage bien soutenu

Figure n°3 : Critère de choix du modèle QdF d'étiage représentatif du bassin versant étudié.

Dans le cadre de ses réflexions, le groupe de travail se propose de retenir les deux dernières méthodes (EDF et CEMAGREF) qui lui apparaissent comme les **plus intéressantes**. Elles permettent en effet de considérer de façon synthétique les événements extrêmes (crues - étiages) aussi bien que les événements courants selon la saison (en faisant évoluer QdF dans cette perspective). De plus, elles prennent en compte la durée des phénomènes et permettent d'intégrer les variations journalières de débit, ainsi que les écarts aux valeurs moyennes de paramètres caractéristiques.

1.3. Notions de variabilité et de stationnarité d'un régime

L'étude de la variabilité d'un régime permet de répondre à la question suivante : quelle probabilité a-t-on d'identifier chaque année la même variation saisonnière des écoulements ?

Plusieurs études ont démontré qu'une même rivière peut, selon les années, évoluer d'un type de régime à l'autre. Pour étudier cette variabilité, le concept d'entropie, fondé sur un index d'instabilité dont la valeur augmente lorsque la probabilité d'occurrence d'un certain type de régime pour un bassin diminue, a été mis en avant. Sous condition de stationnarité, la stabilité des régimes dépend du régime lui-même : un régime pluvial, très dépendant de la variabilité climatique, est en général moins stable qu'un régime nival.

Ainsi, sous condition d'instabilité, il est possible de mettre en évidence le facteur qui intervient (et au contraire ceux qui n'ont qu'une faible contribution) dans la variabilité du régime du cours d'eau (cf. exemple du Riul Negru en Roumanie par Pretorian et al., 1997).

Dans l'objectif de proposer une description à base hydrologique du fonctionnement des cours d'eau, le groupe de travail a constitué une liste des descripteurs hydrologiques qui lui semblent pertinents pour fonder cette typologie.

2. Propositions de descripteurs

2.1. Liste de descripteurs utilisables

Les descripteurs les plus appropriés sont de deux types :

- les **descripteurs « Toile de fond »**, qui sont des caractéristiques du bassin versant indépendantes de toute influence anthropique (surface géographique, hydrographie, morphométrie, géologie, ...),
- les **descripteurs sensibles à une variation, d'origine naturelle ou anthropique** (régime hydrologique au sens de Pardé, des événements rares - crues et étiages, nappes, degré d'artificialisation ou d'anthropisation, ...).

Ces descripteurs sont accessibles par divers moyens (modèle numérique pour la géomorphologie du terrain, banque Hydro pour les données hydrologiques, Atlas du bassin Rhône-Méditerranée-Corse en ce qui concerne les nappes et l'anthropisation, banque Pluvio pour ce qui concerne la météorologie).

La liste de ces descripteurs n'est ni exhaustive, ni définitive et peut être complétée, modifiée en fonction des redondances ainsi que de son adéquation aux objectifs recherchés.

2.2. Choix des descripteurs en fonction du contexte : quelques orientations

Les premières réflexions du groupe de travail ont permis d'envisager l'utilisation d'un double crible pour sélectionner les descripteurs les plus pertinents vis à vis du fonctionnement physique et biologique du milieu.

La sélection des descripteurs pourrait se faire par grand critère ou fonction du cours d'eau (fonction ressources en eau, aptitude à la vie aquatique, connectivité, potentiel de régénération), par type d'action anthropique auquel les descripteurs sont sensibles (pompages, prélèvements, dérivation, stockage, imperméabilisation, endiguement, recalibrage, curage, extraction de matériaux, ...).

Cette réflexion constitue un préalable à la seconde phase de ce travail : estimer les valeurs ou les plages de valeurs des descripteurs sélectionnés traduisant un « bon » fonctionnement et les écarts aux références de débits signifiants en terme de fonctionnement des cours d'eau.

3. Conclusions et suites à donner

La réflexion relative à l'incidence de l'hydrologie sur les milieux physiques et biologiques, permettant d'aboutir à des recommandations concernant les valeurs de ces descripteurs qui traduisent un bon fonctionnement écologique, reste à poursuivre. Par ailleurs la liste actuelle est pour l'instant essentiellement hydrologique. Elle appelle une liste complémentaire de descripteurs hydrauliques, interface entre l'hydrologie et les habitats, essentielle pour évaluer la qualité physique des cours d'eau (débits de plein bord, largeur au miroir, profondeurs maximales, aires des sections de plein bord, descripteurs de champs de vitesses, etc.).

Le travail mené par le groupe d'experts du Comité Scientifique, s'il peut déjà servir d'appui aux travaux plus directement opérationnels déjà engagés, devra nécessairement trouver des prolongements dans le cadre des programmes de recherche en cours et à venir sur ce thème.