

Pôle Grenoblois d'étude et de recherche pour la prévention des Risques Naturels



Programme de recherche 2009

Financé par le Conseil général de l'Isère

Rapport scientifique

## Prédétermination des crues sur les bassins versants torrentiels : faisabilité d'une synthèse hydrologique régionale fondée sur la prise en compte de facteurs géographiques locaux

Coordinateur :

Nicolle MATHYS (Cemagref Grenoble, UR ETNA)

Participants :

Christophe PETEUIL (ONF-RTM38), Nicolle MATHYS (Cemagref Grenoble, UR ETNA)

Avec les contributions des stagiaires : Anne-Laure MARTIN, Rodolphe ZEGRAR, Delphine PORCHERON, Annabelle RIESS (ONF-RTM38) Thomas CIPRIANI (Cemagref Grenoble, UR ETNA)

Décembre 2010





## SOMMAIRE

RI	ESUME	7
1.	INTRODUCTION	8
2.	RECUEIL ET TRAITEMENT DES DONNEES HYDROLOGIQUES DISPONIBLE	S9
	2.1. DEBITS DE CRUE	9
	2.1.1. Recensement préliminaire	9
	2.1.2. Procédures d'échantillonnage des données	9
	2.1.3. Validation préliminaire des données	11
	2.1.3.1. Test d'indépendance des crues	11
	2.1.3.2. Test de stationnarité temporelle des événements	11
	2.1.4. Estimation des quantiles	12
	2.1.5. Validation ultime des données	13
	2.1.6. Synthèse	15
	2.2. PRECIPITATIONS ET CLIMATOLOGIE	17
	2.2.1. Pluies extrêmes	17
	2.2.2. Pluie moyenne annuelle	17
	2.2.3. Type de temps	18
	2.3. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS	18
3.	DEFINITION DES ZONES HYDROLOGIOUES HOMOGENES	19
	3.1 APERCUGEOGRAPHIQUE GENERAL	19
	3.2 PERTURBATIONS A L'ORIGINE DES PLUS FORTES CRUES	20
	3.2.1. Recherche pour chaque massif des types de temps générateurs des fortes crues	
	3.2.2. Caractérisation de l'exposition d'un bassins face aux flux de perturbation dominants.	21
	3.3. EMPRISE SPATIALE DE QUELQUES EVENEMENTS HISTORIQUES	23
	3.4. Synthese	27
4.	PREDETERMINATION DES CRUES A PARTIR D'UNE APPROCHE REGIONAL	LE 30
		20
	4.1. DEMARCHE	50 20
	4.2.1 Durée caractéristique de crue	
	4.2.1. Duree curuciensuque de crue	30
	4.2.2. That yse substitute a carbon a contraction of the stations of house montaine	32
	4.2.2.2. Les stations des Préalnes du Nord	34
	4.2.2.3. Les stations des montagne sous influence méditerranéenne.	
	4.2.2.4. Les stations du piémont alpin et de la Cote d'Azur	36
	4.2.2.5. Synthèse	38
	4.3. DEBITS DE POINTE DE REFERENCE	39
	4.3.1. Relations simplifiées entre débit décennal et surface drainée	39
	4.3.1.1. Formule sommaire valable pour toute la zone d'étude	39
	4.3.1.2. Influence des bassins versants karstiques	40
	4.3.1.3. Influence de la fonte nivale	40
	4.3.1.4. Formules sommaires spécifiques à chaque zone homogène	41
	4.3.2. Liens entre le débit décennal et les débits correspondant à d'autres périodes de retou	r. 42
	4.3.3. Estimation du débit décennal à partir d'une approche globale tenant compte de l	l'aléa
	pluviométrique	43
	4.3.4. Améliorations apportées à l'estimation du débit décennal par la régionalisation	44
	4.3.5. Extension de la démarche de régionalisation aux autres périodes de retour	46

5. FACI	TENTATIVE D'AMELIORATION DE L'APPROCHE EN TENANT COMPTE I TEURS GEOGRAPHIQUES LOCAUX	DE 47
6.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	48
7.	BIBLIOGRAPHIE	50
REM	ERCIEMENTS	50
ANNI	EXES	51
Ani	NEXE 1. LISTE DES STATIONS HYDROMETRIQUES CONSTITUANT L'ECHANTILLON DE CALAGE	.52
Ani 24/(	NEXE 2. EMPRISE SPATIALE DES CRUES HISTORIQUES DU 01/11/1843, 29/05/1856, 01/11/18 09/1920, 28/09/1928, 22/10/1928, 07/06/1955, 12/06/1957, 22/09/1968, 30/04/1983, 08/10/19	59, 88,

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Configurations typiques rencontrées lors d'un échantillonnage sup-seuil (d'après Sauquet,
Figure 2.	Exemples d'hydrogrammes normés. Pour mémoire, l'hydrogramme représenté par un trait
Figure 3.	Estimation de la durée caractéristique de crue D à partir des hydrogrammes normés
	rassemblant l'ensemble des crues maximales annuelles observees (station d'Entraigues - Isère sur la Bonne)
Figure 4.	Ajustement à une loi exponentielle des Débits moyens Caractéristiques maXimaux de différentes durées (VCXd) supérieurs à un seuil (station d'Entraigues - Isère sur la Bonne)
Figure 5.	Ajustement des débits maxima annuels de l'Arc à Pourrière (Var) à une loi de Gumbel et
Figure 6.	Exemples d'ajustement validé portant sur des données observées à différents pas de temps (en noir : débits instantanés ; en rouge : pas de temps égal à 0,25.D ; en vert : pas de temps égal à D ; en bleu : pas de temps égal à 2.D ; D étant la durée caractéristique de crue). Le graphe (a) montre un exemple d'ajustement satisfaisant à la fois au critère de dispersion et au critère de convergence alors que le graphe (b) montre un exemple d'ajustement satisfaisant uniquement au critère de dispersion
Figure 7.	Exemple d'ajustement écarté du fait de la dispersion importante des points expérimentaux autour de la droite de régression, et ce quel que soit le pas de temps considéré (en noir : débits instantanés ; en rouge : pas de temps égal à 0,25.D ; en vert : pas de temps égal à D ; en bleu : pas de temps égal à 2.D ; D étant la durée caractéristique de crue)
Figure 8.	La station de Val d'Isére (73) sur l'Isère : un exemple remarquable de dépassement des intervalles de confiance à 95% (source : banque HYDRO)
Figure 9.	Localisation des 159 stations hydrométriques retenues à l'issue de la phase de validation finale
Figure 10.	Répartition du nombre de bassins versant par gamme de superficie
Figure 11.	Fréquence au dépassement des bassins versants de l'échantillon final par rapport à la surface
Figure 12.	Fréquence au dépassement des bassins versants de l'échantillon final par rapport au nombre d'années d'observation disponibles
Figure 13.	Cartographie des pluies décennales cumulées sur 24 heures (Dierboua, 2001)
Figure 14.	Cartographie des précipitations movennes annuelles (Gottardi, 2009)
Figure 15.	Présentation schématique de la classification en types de temps établie par EDF
Figure 16.	Proportion de bassins versants dont les terrains sont concernés par des transferts karstiques
Figure 17.	Localisation et massif de rattachement des différentes entités géographiques de la zone d'étude
Figure 18.	Types de temps à l'origine des plus fortes crues sur les cours d'eau des différents secteurs constituant la zone d'étude. Les classes ont été définies sur la Figure 15
Figure 19.	Conversion de l'information « type de temps » en information « origine des flux de perturbations » pour le massif des Préalpes du Nord 21
Figure 20.	Classification de deux bassins en fonction de leur exposition aux flux perturbés dominants
Figure 21.	Exemples de crues intervenues en hiver à la suite d'une perturbation amenée par un flux océanique stationnaire (type de temps de classe 2 selon la classification EDE) 24
Figure 22.	Exemples de crues intervenues en automne à la suite d'une perturbation amenée par un flux de sud (type de temps de classe 4 selon la classification EDE)
Figure 23.	Exemples de crues intervenues entre la fin du printemps et le début de l'été à la suite d'une perturbation amenée par un flux de sud (type de temps de classe 4 selon la classification EDF).
	<i>LLI )</i> .

5	
٦.	
$\sim$	

Figure 24. Localisation des zones hydrologiques homogènes définies dans le cadre de cette étude27 Figure 25 Répartition des stations par zone homogène.
Figure 26 Départition des combins de horsies sourcents par zone homogène et par comme de superficie
Figure 20. Repartition du nombre de bassins versants par zone nomogene et par gamme de superficie
Figure 27. Relation entre la durée caractéristique médiane et la superficie des bassins versants30
Figure 28. Relation entre la durée caractéristique médiane et le débit de pointe décennal30
Figure 29. Relation entre la durée caractéristique médiane et la superficie des bassins versants31
Figure 30. Relation entre la durée caractéristique médiane et le débit de pointe décennal
Figure 31. Relation débit / durée par saison : Hiver (Bleu), Printemps (Vert), Eté (Rouge), Automne
(Noir)
Figure 32. Exemple d'hydrogrammes normés de deux stations, retenu pour l'analyse (à gauche) ou
écarté (à droite)
Figure 33. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (la Bonne à Entraigues)34
Figure 34. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (le Chéran à Allèves)35
Figure 35. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (L'Issole à Saint André les Alpes)36
Figure 36. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (Le Réal Martin à La Crau)
Figure 37. Evolution de la valeur du débit décennal de pointe des bassins versants de la zone d'étude
en fonction de la superficie drainée
Figure 38. Influence des débits observés durant la période de fonte nivale sur l'estimation du débit de
crue de période de retour décennale41
Figure 39. Liens entre le débit décennal et les débits correspondant aux périodes de retour égales à 2, 5,
20 et 50 ans pour l'ensemble de la zone d'étude
Figure 40. Cartographie du rapport entre les débits décennaux estimés et les débits calculés par la
relation présentée dans le paragraphe 4.3.3

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Quantiles théoriques estimés pour différents pas de temps et différentes périodes de retour
	à partir de l'ajustement à une loi exponentielle des Débits moyens Caractéristiques
	maXimaux (VCX) supérieurs à un seuil (station d'Entraigues - Isère sur la Bonne)13
Tableau 2.	Définition de l'occurrence des types de temps pour une région ou un massif considérés21
Tableau 3.	Densité de sites jaugés par zone homogène
Tableau 4.	Axe général des perturbations à l'origine des plus fortes crues par zone homogène et par sous massifs. Pour mémoire, la convention suivante a été adoptée pour qualifier l'influence
	des flux perturbés : ++ influence prépondérante ; + influence secondaire ; • influence
	négligeable
Tableau 5.	Etude saisonnière sur les quatre stations de haute montagne
Tableau 6.	Etude saisonnière sur quatre stations des Préalpes du Nord
Tableau 7.	Etude saisonnière sur quatre stations de montagne à influence méditerranéenne
Tableau 8	Etude saisonnière sur quatre stations du piémont alpin et azuréen 37
Tableau 9	Performance de la relation entre le débit décennal de pointe ( $\Omega_{10}$ en m <sup>3</sup> /s) et la surface
Tuoleau 7.	drainée (S en $km^2$ ) valable nour l'ensemble de la zone d'étude
Tableau 10	Influence de la prise en compte des bassins versant karstiques sur la performance d'un
Tubleau 10	modèle simple reliant le débit décennal de pointe ( $\Omega_{10}$ en m <sup>3</sup> /s) et la surface drainée (S en
	$km^{2}$
Tablaan 11	Relations simples entre le débit décennel de nointe ( $\Omega_{\rm ent} = m^3/c$ ) et le surface ( $S_{\rm ent} = m^2$ )
Tableau 11	. Relations simples enue le debit decennar de pointe ( $Q_{i10}$ en m /s) et la sufface (s en km <sup>2</sup> )
Tablaan 10	Evolution du rennort entre le débit décennel et les débits correspondent eux nérie des de
Tableau 12	. Evolution du l'apport entre le debit decennal et les debits correspondant aux periodes de retour égales $2.5$ , 20 et 50 ens nour les différents sectours de la zone d'étude 42
T-1.1	retour egales a 2, 5, 20 et 50 ans pour les différent le miner le miner le miner le miner le miner de débit de miner
Tableau 13	Matrice des correlations entre les variables expliquant le mieux la valeur du debit de pointe
	de periode de retour decennale, ou : $Q_{i10}$ debit de pointe de periode de retour decennale
	$(m^3/s)$ ; S superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ); P périmètre du bassin versant (km); Z <sub>50</sub>
	altitude médiane (m); Kc coefficient de compacité au sens de Gravelius ; Ds dénivelé
	spécifique (m); $L_T$ longueur totale du cours d'eau (km) ; Dd densité de drainage ; $P_{j10}$ pluie
	journalière décennale (mm)
Tableau 14	. Relation entre le débit décennal de pointe ( $Q_{i10}$ en m <sup>3</sup> /s), la surface (S en km <sup>2</sup> ) et la pluie
	journalière décennale (P <sub>j10</sub> en mm) calée à partir des 159 bassins versants considérés par
	l'étude
Tableau 15	. Relation entre le débit décennal de pointe ( $Q_{i10}$ en m <sup>3</sup> /s), la surface (S en km <sup>2</sup> ) et la pluie
	journalière décennale (P <sub>j10</sub> en m). La valeur du coefficient régional valable pour une
	période de retour décennale ( $Cr_{10}$ ) est égale à 2,0 pour la zone « nord » et la zone « sud »,
	1,1 pour la zone « centre », 0,86 pour la zone « est » et 0,67 pour la zone « ouest »45
Tableau 16	.Relation entre le débit de pointe de période de retour T ( $Q_{iT}$ en m <sup>3</sup> /s), la surface (S en km <sup>2</sup> )
	et la pluie journalière de même période de retour (P <sub>iT</sub> en m). Les valeurs du coefficient
	régional valables pour une période de retour donnée (Cr <sub>T</sub> ) figurent ci-dessous (Tableau
	17)
Tableau 17	. Valeurs prises dans chaque zone homogène par le coefficient régional Cr <sub>T</sub> pour une
	période de retour T donnée

## Résumé

Ce projet a pour objectif d'améliorer les méthodes de prédétermination des crues utilisables par les praticiens ayant une pratique occasionnelle en hydrologie torrentielle. Notre étude s'est appuyée sur un échantillon de 159 bassins versants jaugés situés dans les Alpes françaises, dont la superficie ne dépasse pas 500 km<sup>2</sup> et pour lesquels on dispose d'au moins 7 années d'observation hydrométrique.

La critique et le traitement statistique des données de débit recueillies a permis de déterminer les différents quantiles caractéristiques ( $Q_{i5}$ ,  $Q_{i10}$ ,  $Q_{i20}$ , et  $Q_{i50}$ ) en adaptant la méthode d'estimation à la nature des données disponibles. Cette démarche nous a également donné accès à d'autres variables descriptives, notamment les durées et volumes des écoulements de crue. Les différents paramètres climatologiques et morphométriques représentatifs des bassins versants ont ensuite été déterminés à l'aide d'un SIG, ce qui a permis de constituer une base de données très complète.

Le croisement de critères liés à la distribution du relief et des précipitations, à la géologie et au type de temps à l'origine des plus fortes crues nous a ensuite amené à découper la zone d'étude en 5 secteurs considérés comme homogènes sur le plan hydrologique.

Une analyse détaillée de la durée caractéristique de crue de chaque bassin versant en fonction de la surface, du débit et de la saison n'a montré aucune tendance évidente à l'échelle de la zone d'étude. Nous avons donc été dans l'impossibilité de proposer une relation donnant des résultats suffisamment fiables dans un contexte de site non jaugé.

Nous avons par contre pu caler plusieurs relations permettant de prédire les débits de crues de périodes de retour 5, 10, 20 et 50 ans en fonction de variables liées à la surface drainée et à la pluie. La performance de ces modèles, notamment dans leur version régionalisée, s'avère globalement satisfaisante comparativement au niveau de confiance accordé à d'autres approches du même type.

En revanche, la prise en compte de facteurs liés à l'environnement climatologique et à la géomorphologie des bassins n'a pas permis, contrairement aux résultats récents obtenus sur les Pyrénées françaises, de définir une approche robuste et apportant un gain en précision significatif.

## 1. Introduction

Pour des praticiens non spécialistes, l'hydrologie torrentielle s'avère difficile à appréhender en raison des nombreuses spécificités qui la caractérisent :

- forte réactivité liée à la petite taille des bassins et à la forte pente d'écoulement du réseau hydrographique
- sensibilité accrue aux averses orageuses localisées, brèves et intenses
- couverture végétale hétérogène et évoluant rapidement avec l'altitude
- nature géologique du sous-sol et des formations superficielles susceptible de connaître des évolutions spatiales rapides
- nombreuses situations hydrologiques potentiellement à l'origine de crues : orages, averses continues et durables, fonte nivale due à un redoux,...
- multiplicité des facteurs susceptibles d'interagir entre eux pour expliquer l'intensité des précipitations et des écoulements (distribution du relief, orientation des vallées, origine géographique des perturbations,...)...

Même si elle concerne de nombreuses applications opérationnelles et de multiples acteurs, la connaissance des pluies et des débits s'écoulant des bassins versants torrentiels souffre par ailleurs de la rareté des données hydrologiques disponibles. Cette situation tient en particulier à :

- la rudesse des conditions climatiques pour les appareillages installés en altitude
- l'accès à certaines zones de haute montagne rarement envisageable en toutes saisons
- l'incertitude des mesures hydrométriques du fait de la forte mobilité des lits torrentiels
- la destruction fréquente des équipements hydrométriques en période de crue...

Ces difficultés ont eu pour conséquence de freiner le développement de méthodes purement spécifiques au contexte montagnard. On constate ainsi que les approches usuellement appliquées sur un site non jaugé ne diffèrent pas véritablement entre les bassins versants de plaine et ceux de montagne, et ce même si les situations géographiques y sont radicalement différentes. Dans les études hydrologiques relatives aux crues des cours d'eau torrentiels non jaugés, les hydrologues ont donc recours aux méthodes de prédétermination usuelles qui consistent à :

- exploiter les rares mesures de débits disponibles à proximité du site d'étude,
- mettre en œuvre des modèles hydrologiques pré-paramétrés de type méthode rationnelle, SCS,...
- appliquer des modèles statistiques multivariés (Crupedix, Socose,...)

Toutefois, le calage des modèles hydrologiques fondés sur la transformation d'une pluie de projet en débit de crue est généralement rendu très incertain par la faible densité des réseaux de mesures hydrométriques et pluviographiques. Pour des praticiens non spécialistes en hydrologie, le choix de certains paramètres s'avère également assez délicat. En outre, les méthodes utilisant des modèles statistiques multivariés sont souvent trop simplistes pour représenter de manière satisfaisante la singularité de certains sites torrentiels.

Néanmoins, même si les modèles statistiques multivariés ne sont pas intrinsèquement plus précis que les modèles hydrologiques pré-paramétrés, leur mise en œuvre relativement simple les rend probablement moins incertains à l'usage, surtout pour des non spécialistes. Sur les Pyrénées françaises, des travaux récents ont par ailleurs permis une amélioration sensible de la performance de ce type de méthodes en introduisant dans la démarche d'analyse la prise en compte de facteurs liés à l'environnement climatologique et à la géomorphologie des bassins (Peteuil et al., 2010).

Ce projet a donc pour principaux objectifs (1) de faire une synthèse des données hydrologiques relatives aux crues des bassins versants torrentiels du massif des Alpes françaises, (2) d'évaluer si l'existence de similitudes entre certaines entités géographiques de la zone d'étude permet de délimiter des secteurs hydrologiquement homogènes et (3) de proposer, si possible dans la continuité de l'approche pyrénéenne, un modèle représentatif de la zone d'étude et de ses éventuelles spécificités, qui puisse être mis en œuvre par des praticiens non spécialistes en hydrologie

## 2. Recueil et traitement des données hydrologiques disponibles

## 2.1.Débits de crue

2.1.1. Recensement préliminaire

Les données utilisées pour notre étude rassemblent des chroniques de débits instantanés extraites de la banque HYDRO du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement et des chroniques au pas de temps horaire issues du réseau de suivi hydrométrique géré EDF. Initialement, 203 stations ont été recensées en retenant comme critères de sélection une durée minimale d'observation de 7 ans et une superficie de bassin versant inférieure à 500 km<sup>2</sup>.

## 2.1.2. Procédures d'échantillonnage des données

Pour l'échantillonnage des données hydrologiques, nous avons mis en œuvre deux techniques en fonction de la nature des chroniques disponibles.

En premier lieu, nous avons procédé à la sélection d'une valeur maximum sur une année hydrologique ou sur une saison à risque donnée. Cette approche a toutefois deux principaux inconvénients : l'échantillon constitué peut contenir des événements non significatifs (par exemple si aucun événement majeur n'est enregistré lors d'une année sèche) ou au contraire, cet échantillon peut occulter des événements importants si plusieurs d'entre eux se concentrent sur une période particulière.

Nous avons également mis en œuvre une méthode d'échantillonnage par valeur supérieure à un seuil, qui consiste à retenir la valeur maximale d'un ensemble d'évènements indépendants ayant dépassé un seuil donné. Elle offre l'avantage de rassembler un plus grand nombre d'évènements sélectionnés et, si le seuil est suffisamment élevé, elle permet de ne capturer que les événements majeurs observés durant toute la chronique. Cette méthode est généralement jugée plus fiable que la méthode des maxima annuels, mais nécessite d'être appliquée avec précaution.

Quelle que soit la méthode considérée, l'échantillon constitué doit répondre à plusieurs critères :

- Les valeurs extraites doivent être indépendantes, ce qui impose qu'elles ne doivent pas être issues d'un même événement ou que l'occurrence de l'une ne soit pas conditionnée par l'autre.
- Les propriétés statistiques de l'échantillon doivent être stationnaires dans le temps. En d'autres termes, ceci revient à dire que les valeurs fortes ou faibles doivent être réparties de manière homogène dans le temps.

Concernant spécifiquement la mise en œuvre de la méthode d'échantillonnage des valeurs supérieures à un seuil, 3 paramètres doivent préalablement être fixés :

- le seuil S, qui est calé de sorte à sélectionner en moyenne un nombre prédéterminé d'évènements par an. Pour obtenir un gain par rapport à la précision apportée par un échantillon des maxima annuels, nous avons retenu un seuil garantissant l'extraction de 2 évènements en moyenne par an.
- le paramètre α, qui peut être considéré ici comme un paramètre de redescente en phase de décrue et comme un paramètre de réglage qui garanti l'indépendance entre deux événements et qui permet d'atteindre les objectifs de stationnarité et d'adéquation à un processus d'occurrence poissonnien.
- la variable  $\theta$  qui est la durée minimale permettant de considérer que 2 pics de crue sont indépendants.

A titre d'illustration, nous présentons ci-dessous quelques configurations typiques généralement rencontrées lors de la procédure d'échantillonnage (Figure 1).



(1) :  $X_2$  est un maximal local, le débit n'est pas redescendu en dessous du seuil *S*, seule la valeur  $X_2$  est conservée



l'espacement temporel requis n'est pas vérifié ; seule la valeur X<sub>1</sub> est conservée



(3) : entre  $X_1$  et  $X_2$ , le débit est redescendu en dessous du seuil S, deux événements sont donc identifiés ; la contrainte temporelle est respectée mais le débit n'est pas redescendu en dessous de  $\alpha X_1$ ; seule la valeur  $X_1$  est conservée



(4) : entre X<sub>1</sub> et X<sub>2</sub>, le débit est redescendu en dessous du seuil S, deux événements sont donc identifiés ; les deux contraintes d'indépendance sont respectées ; X<sub>1</sub> et X<sub>2</sub> font partie de l'échantillon

Figure 1. Configurations typiques rencontrées lors d'un échantillonnage sup-seuil (d'après Sauquet, 2009).

Pour caler de manière pertinente les 3 paramètres S,  $\alpha$  et  $\theta$  définis précédemment, une analyse préalable des hydrogrammes normés (c'est-à-dire pour lesquels le débit instantané a été divisé par le débit de pointe de la crue) rassemblant l'ensemble des crues maximales annuelles a été menée pour chaque station.

Deux exemples sont présentés ci-dessous à titre d'illustration (Figure 2). L'hydrogramme représenté par un trait noir plus épais correspond à l'hydrogramme médian.



Figure 2. Exemples d'hydrogrammes normés. Pour mémoire, l'hydrogramme représenté par un trait noir plus épais correspond à l'hydrogramme médian.

Dans le cas du Bronze à Bonneville ((Figure 2a), on observe que le cœur des évènements s'inscrit dans une fenêtre de 30 heures. Sur la base de l'hydrogramme médian, nous fixons la valeur de  $\theta$  à 15 heures. Par ailleurs, le débit de base normé de cet hydrogramme est de l'ordre de 0,2. En première approximation, on retiendra donc une valeur légèrement supérieure pour le critère de redescente  $\alpha$ , soit 0,3. En suivant la même logique, on retient, pour l'Aire à Saint-Julien-en-Genevois ((Figure 2b), une valeur de 7,5 heures pour  $\theta$  et de 0,15 pour  $\alpha$ .

#### 2.1.3. Validation préliminaire des données

Une première validation des données extraites a été conduite en mettant en oeuvre 2 tests dont nous détaillons le principe dans les paragraphes qui suivent. Ces tests nous ont permis de vérifier que :

- les crues considérées étaient bien indépendantes
- les événements montraient une certaine stationnarité temporelle

Dans un second temps, nous avons également procédé à un contrôle visuel des ajustements statistiques obtenus, en appréciant la dispersion des données autour de la droite de régression. Ce point sera détaillé dans le paragraphe relatif au traitement statistique des données (2.1.5).

## 2.1.3.1. Test d'indépendance des crues

Pour vérifier l'indépendance des crues sélectionnées par la méthode sup-seuil, nous avons utilisé le test de Cunnane (1979). Ce test se base sur l'adéquation du nombre de crues à la loi de Poisson. Il s'appuie sur l'indice de dispersion I défini ainsi :

$$I = \frac{Var(n_t)}{\mu}$$
 Equation 1

#### Où : $n_t$ désigne le nombre de crue de l'année t, Var est la variance et $\mu$ la moyenne.

Dans le cas d'un processus d'occurrence strictement régi par une loi de Poisson, l'indice de dispersion vaut 1. Si l'indice de dispersion de la série analysée s'écarte significativement de 1 (c'est-à-dire si la valeur se situe en dehors de l'intervalle de confiance à 90% centré sur 1), la loi de Poisson doit être rejetée. Pour atteindre les objectifs d'adéquation à ce processus d'occurrence poissonnien, il est nécessaire d'adapter la valeur du paramètre  $\alpha$ .

## 2.1.3.2. Test de stationnarité temporelle des événements

La stationnarité temporelle des crues a été vérifiée à partir d'un test de Spearman (1904). Ce test est basé sur l'étude du coefficient de corrélation entre deux ensembles de rangs et permet ainsi d'identifier une éventuelle tendance.

Dans un premier temps, deux ensembles rangés par ordre croissant sont crées :

- la série des rangs r<sub>i</sub> attribués aux débits de crue sélectionnés en sup-seuil (r<sub>i</sub>)
- la série des rangs i attribués aux instants t correspondant à l'occurrence de ces débits. Il s'agit en fait des rangs des dates d'occurrence des crues rangées chronologiquement.

L'objectif est ensuite de vérifier qu'il n'y a pas de tendance entre les rangs de débits et les rangs des instants, une chronique stationnaire ne devant pas présenter d'évolution en fonction du temps. On procède alors au calcul du coefficient de corrélation de Spearman entre  $r_i$  et i, soit :

$$\rho_{\rm S} = 1 - \frac{6\sum_{i} (r_{\rm i} - i)^2}{n(n^2 - 1)}$$
Equation 2

Avec :  $\rho_s$  coefficient de Spearman ;  $r_i$  rang et n nombre total de données.

En théorie, l'absence stricte de corrélation entre 2 séries conduit à un coefficient  $\rho_s$  égal à 0. En pratique, on cherche plutôt à évaluer l'importance de l'écart entre  $\rho_s$  et la valeur nulle. On peut ensuite s'appuyer sur les tables de Spearman pour comparer le coefficient calculé avec une valeur critique, qui est fonction de la taille de l'échantillon et du seuil considéré (0,1 dans notre cas). Ainsi :

- si  $\rho_s < \rho_{critique}$  : il n'y pas corrélation et la stationnarité temporelle est vérifiée
- si  $\rho_s > \rho_{critique}$ : une tendance est observée et la stationnarité temporelle n'est pas vérifiée

#### 2.1.4. Estimation des quantiles

La méthode d'estimation des quantiles de crue caractéristiques ( $Qi_2$ ,  $Qi_5$ ,  $Qi_{10}$ ,  $Qi_{20}$ , et  $Qi_{50}$ ) a été choisie au cas par cas en fonction de la nature des données ayant pu être extraites à la station considérée. Deux lois classiques en hydrologie ont ainsi été appliquées : la loi exponentielle et la loi de Gumbel.

Lorsque les données disponibles le permettaient, c'est-à-dire lorsque l'ensemble des chroniques était disponible, nous avons privilégié l'ajustement d'une loi exponentielle sur toutes les valeurs supérieures à un seuil. Nous avons pour cela utilisé une série de procédures mises au point par le Cemagref de Lyon pour la mise en œuvre de la méthode QdF, ce qui a présenté l'avantage de pouvoir étudier d'autres variables descriptives des crues, notamment la durée caractéristique de crue D (Figure 3) et la variable VCXd qui désigne les débits moyens caractéristiques maximaux écoulés sur différents pas de temps (Figure 4 et Tableau 1).



*Figure 3. Estimation de la durée caractéristique de crue D à partir des hydrogrammes normés rassemblant l'ensemble des crues maximales annuelles observées (station d'Entraigues - Isère sur la Bonne).* 



Figure 4. Ajustement à une loi exponentielle des Débits moyens Caractéristiques maXimaux de différentes durées (VCXd) supérieurs à un seuil (station d'Entraigues - Isère sur la Bonne).

Période de retour	Pas de temps (heures)									
(années)	instantané	4	7	15	29	59				
2	32	31	30	28	24	20				
5	41	39	38	36	31	26				
10	48	46	44	42	37	30				
20	55	53	51	48	42	34				
30	59	57	55	51	45	37				
50	64	61	59	55	49	40				
100	71	68	66	61	54	44				

Tableau 1. Quantiles théoriques estimés pour différents pas de temps et différentes périodes de retour à partir<br/>de l'ajustement à une loi exponentielle des Débits moyens Caractéristiques maXimaux (VCX)<br/>supérieurs à un seuil (station d'Entraigues - Isère sur la Bonne).

Lorsque les chroniques continues de débits faisaient défaut, les quantiles ont été estimés en ajustant les maximas annuels à une loi de Gumbel. Pour les stations de la banque HYDRO, les estimations retenues sont celle fournies grâce à la procédure automatisée CRUCAL (Figure 5). Au besoin, nous avons aussi utilisé la macro HYDROLAB développée sous Excel par Laborde et Mouhous (1998).



Figure 5. Ajustement des débits maxima annuels de l'Arc à Pourrière (Var) à une loi de Gumbel et intervalles de confiance à 95% (source : banque HYDRO).

#### 2.1.5. Validation ultime des données

Pour la validation finale des données, nous avons opéré un contrôle visuel des ajustements obtenus à partir des différentes lois statistiques appliquées aux données des 203 bassins versants initialement échantillonnés. Les critères retenus selon les cas rencontrés sont les suivants :

Pour les séries de données ajustées selon une loi exponentielle, le contrôle est effectué en appréciant le degré de dispersion des points expérimentaux autour de la droite de régression. Le niveau de convergence des distributions correspondant aux différents pas de temps considérés est évalué mais ce critère n'intervient que de manière beaucoup plus secondaire dans notre choix (Figure 6 et Figure 7). Cette démarche a toutefois été entreprise car pour des périodes de retour très faibles, les développements récents de la méthode QdF supposent la convergence des ajustements réalisés à partir de données de débit observées à différents pas de temps.



Figure 6. Exemples d'ajustement validé portant sur des données observées à différents pas de temps (en noir : débits instantanés ; en rouge : pas de temps égal à 0,25.D ; en vert : pas de temps égal à D ; en bleu : pas de temps égal à 2.D ; D étant la durée caractéristique de crue). Le graphe (a) montre un exemple d'ajustement satisfaisant à la fois au critère de dispersion et au critère de convergence alors que le graphe (b) montre un exemple d'ajustement satisfaisant uniquement au critère de dispersion.



Figure 7. Exemple d'ajustement écarté du fait de la dispersion importante des points expérimentaux autour de la droite de régression, et ce quel que soit le pas de temps considéré (en noir : débits instantanés ; en rouge : pas de temps égal à 0,25.D ; en vert : pas de temps égal à D ; en bleu : pas de temps égal à 2.D ; D étant la durée caractéristique de crue).

 Pour les séries de données ajustées selon une loi de Gumbel, le contrôle repose uniquement sur une évaluation du nombre de points dépassant éventuellement l'intervalle de confiance à 95 % (Figure 8).



*Figure 8.* La station de Val d'Isére (73) sur l'Isère : un exemple remarquable de dépassement des intervalles de confiance à 95% (source : banque HYDRO).

#### 2.1.6. Synthèse

A l'issue de ces différentes étapes de validation et de traitement statistique, l'échantillon initial a été réduit à 159 stations (Figure 9) dont on trouvera la liste complète en annexe 1.

Parmi ces stations, seulement 13 contrôlent des bassins versants de moins de 10 km<sup>2</sup> (Figure 10).

La superficie médiane des bassins recensés s'établit par ailleurs autour de 75 km<sup>2</sup> et l'intervalle rassemblant 50% des stations autour de cette valeur médiane va de 30 à 160 km<sup>2</sup> (Figure 11).

Les durées d'observation varient enfin dans une gamme allant de 7 à 60 ans, avec une médiane un peu inférieure à 20 ans (Figure 12).



Figure 9. Localisation des 159 stations hydrométriques retenues à l'issue de la phase de validation finale



Figure 10. Répartition du nombre de bassins versant par gamme de superficie.



Figure 11. Fréquence au dépassement des bassins versants de l'échantillon final par rapport à la surface drainée.



*Figure 12. Fréquence au dépassement des bassins versants de l'échantillon final par rapport au nombre d'années d'observation disponibles.* 

#### 2.2. Précipitations et climatologie

#### 2.2.1. Pluies extrêmes

L'aléa pluviométrique auquel est exposé chacun des bassins versants recensés a été caractérisé à partir des cartes de synthèses établies par Djerboua (2001). Un exemple relatif aux précipitations de période de retour décennale cumulées sur 24 heures est présenté ci-dessous (Figure 13). Pour cette étude, nous avons travaillé à partir de grilles de maille 1 km fournies par le Service de Prévision des Crues de la DDT38, qui a récemment remis en forme les données de Djerboua sous SIG (Finet, 2007). Pour notre étude, seules les variables correspondant aux précipitations de périodes de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans observées sur 24 heures ont été considérées. Pour l'estimation des pluies journalières correspondantes, nous avons appliqué le coefficient correcteur de Weiss. Enfin, pour une variable donnée, la valeur caractéristique de chaque station a été estimée en calculant la moyenne des valeurs attribuées à chaque pixel situé dans l'emprise des limites du bassin versant considéré.



Figure 13. Cartographie des pluies décennales cumulées sur 24 heures (Djerboua, 2001).

#### 2.2.2. Pluie moyenne annuelle

Grâce à EDF, nous disposons d'une cartographie de la pluie moyenne annuelle établie par Gottardi (2009). Cette cartographie porte sur la période 1953-2005 et sa résolution concerne des mailles carrées de 1 km de coté (Figure 14). De même que pour les pluies extrêmes, la lame d'eau représentative de chaque bassin versant concerné par l'étude a été estimée en calculant la moyenne des valeurs attribuées à chaque pixel situé dans l'emprise des limites du bassin versant considéré.



Figure 14. Cartographie des précipitations moyennes annuelles (Gottardi, 2009).

#### 2.2.3. Type de temps

Enfin, grâce au concours d'EDF, nous disposons également du type de temps observé pour chaque journée de la période allant de 1953 à 2008, et en particulier pour les journées caractérisées par l'occurrence de fortes crues sur les bassins versants de notre échantillon. La classification retenue est celle développée par Joël Gailhard pour les besoins spécifiques d'EDF. Elle distingue 8 types de champs barométriques moyens à l'échelle européenne (Figure 15).



*Figure 15. Présentation schématique de la classification en types de temps établie par EDF* 

## 2.3. Caractéristiques des bassins versants

Les principaux paramètres morphométriques des bassins versants étudiés ont été calculés de manière semi-automatique avec l'aide d'extensions spécifiques disponibles sous Arcgis. Les données géographiques utilisées proviennent de l'IGN. Il s'agit du Modèle Numérique de Terrain de la BD Topo et de la cartographie du réseau hydrographique de la BD Carthage. Les variables que nous avons déterminés sont :

- la surface drainée
- le périmètre
- les altitudes moyenne, médiane, maximum et minimum
- la longueur totale des cours d'eau au sens de la BD Carthage
- le nombre de drains principaux et secondaires
- l'orientation générale du bassin versant

Des combinaisons spécifiques mêlant ces variables élémentaires ont aussi été calculées. La base de données Corine Land Cover a ensuite permis de déterminer l'occupation des sols de chaque bassin versant en distinguant 7 classes différentes. Cette analyse a permis d'évaluer, en particulier, que plus de 10% des bassins versants sont concernés par la présence de glaciers. Enfin, la part éventuelle de terrains karstiques a été appréciée « à dire d'expert » à partir des synthèses géologiques à notre disposition. Il apparaît ainsi qu'un peu moins d'un quart des bassins versants présente des terrains qui peuvent être concernés par des transferts karstiques (Figure 16).



Figure 16. Proportion de bassins versants dont les terrains sont concernés par des transferts karstiques.

## 3. Définition des zones hydrologiques homogènes

## 3.1. Aperçu géographique général

La zone d'étude s'étend du lac Léman au nord à la mer Méditerranée au sud. A l'ouest, elle est limitée par la vallée du Rhône et à l'est par la frontière avec la Suisse et l'Italie. A l'intérieur de ce vaste territoire, il est classique de distinguer trois ensembles majeurs : les Alpes du nord, les Alpes du sud, le piémont alpin et les bas-reliefs de la zone littorale. Ce découpage est essentiellement fondé sur des contrastes portant à la fois sur le climat, la végétation, le type de relief et son modelé. De leur genèse, les Alpes françaises ont hérité une grande diversité lithologique. Au sein de la zone d'étude, plusieurs unités morphostructurales composent ainsi une mosaïque complexe (Figure 17) :

On trouve ainsi :

- au nord-ouest, les dépôts molassiques de l'avant-pays savoyard et du bas Dauphiné
- au centre, les moyennes montagnes des Préalpes du nord et des Préalpes du sud
- à l'est, les grandes Alpes qui rassemblent les sommets les plus élevés du massif
- au sud-ouest, la Provence et ses montagnes
- au sud-est, les reliefs modestes du littoral de la Cote d'Azur





Caractérisées par des altitudes élevées, les Alpes françaises sont aussi très aérées du fait de la pénétration de profondes vallées jusqu'au cœur du massif. L'hydrographie alpine est ainsi organisée autour de 3 principaux axes drainants : au nord, le fleuve Rhône et son affluent l'Isère ; au sud, la Durance. La frange méridionale du massif est également drainée par de nombreux fleuves côtiers, les principaux étant l'Argens et le Var.

L'examen de la pluviométrie montre que la zone étudiée est schématiquement caractérisée par :

- une augmentation graduelle des précipitations annuelles en allant du sud au nord (Figure 14)
- une atténuation sensible de l'intensité des pluies extrêmes en s'éloignant du littoral méditerranéen et, dans une moindre mesure, de la vallée du Rhône (Figure 13)
- une exposition singulière aux pluies intenses dues à des retours d'est pour les bassins versants jouxtant la zone frontalière avec l'Italie (Figure 13)

#### 3.2. Perturbations à l'origine des plus fortes crues

#### 3.2.1. Recherche pour chaque massif des types de temps générateurs des fortes crues

Les types de temps définis au paragraphe 2.2.3 ont été utilisés pour décrire les types de circulations atmosphériques qui sont à l'origine des fortes crues. Il s'agit d'associer une perturbation pluvieuse s'abattant sur le bassin et provoquant une crue, à la direction du flux donnée par le type de temps qui persistait ce jour là. Ceci nécessite de considérer que la réponse des bassins étudiés à une pluie soit au plus de l'ordre de la journée pour les plus grands bassins versants. Au-delà, il faudrait revenir une ou plusieurs journées en arrière pour fixer le type de temps ayant donné lieu à la perturbation. Dans notre cas, compte tenu de la taille limitée des bassins, rechercher le type de temps de la journée même du pic de crue nous a semblé acceptable. Afin de ne retenir que les crues les plus fortes, on a choisi de retenir pour cette analyse les crues de période de retour supérieure à deux ans. Les types de temps prévalant lors de l'épisode pluvieux générateur ont été déterminés grâce au calendrier des types de temps fourni par EDF. On ensuite recherché s'il existait une cohérence régionale dans cette répartition des types de temps. Par massif, on a ainsi fait le bilan de la fréquence de chaque type de temps lors des évènements de crue de toutes les stations du massif.



Figure 18. Types de temps à l'origine des plus fortes crues sur les cours d'eau des différents secteurs constituant la zone d'étude. Les classes ont été définies sur la Figure 15

On observe par exemple que pour les stations du massif des Préalpes du Nord, près de 60% des crues sont liées à des perturbations venant de l'Ouest, c'est-à-dire rattachées à la classe 2 définie par EDF (Figure 18). Cette proportion atteint presque 80% si on étend cette gamme aux flux perturbés allant du nord-ouest au sud-ouest, soit les classes allant de 1 à 3. On peut alors estimer que dans cette région ce sont les bassins exposés à l'Ouest qui seront les plus exposés aux flux dominants.

3.2.2. Caractérisation de l'exposition d'un bassins face aux flux de perturbation dominants

On a alors défini pour chaque bassin un degré d'exposition aux flux dominants dans sa région. Ce degré d'exposition comporte 4 catégories distinctes. Cette démarche peut être explicitée pour deux bassins du massif des Préalpes du Nord.

Dans un premier temps, on répertorie toutes les stations contenues dans cette zone pour lesquelles un type de temps a pu être défini. Ainsi toutes les crues de période de retour supérieure à 2 ans de 42 stations peuvent être étudiées. Les différents types de temps associés sont ensuite comptabilisés. Enfin on définit des classes d'occurrence du type de temps pour ces plus fortes crues :

Occurrence du Type de Temps des plus fortes crues	Catégorie		Signification
< 5%	1		Très peu fréquent
5 à 15 %	2		Peu fréquent
15 à 25%	3		Fréquent
> 25%	4		Très fréquent

Tableau 2.Définition de l'occurrence des types de temps pour une région ou un massif considérés.

Concrètement dans les Préalpes du Nord, le type de temps responsable des plus fortes crues correspond à la classe 2 (Figure 19a). La rosace permet de noter que la perturbation associée à ce dernier vient de l'Ouest, l'occurrence étant supérieure à 25%, la classe représentée dans la rosace correspond à la plus forte distinction, soit la catégorie 4 (Figure 19b).



Figure 19. Conversion de l'information « type de temps » en information « origine des flux de perturbations » pour le massif des Préalpes du Nord.

Mais dans cette région les bassins ne présentent pas tous la même orientation et ne sont pas sensibles de la même façon aux flux de perturbations :

- Si l'orientation du bassin coïncide avec celle des flux de perturbation dits « très fréquents », nous lui attribuerons une valeur d'exposition égale à la classe d'occurrence du type de temps, à savoir la catégorie 4.
- Inversement, si le bassin versant est orienté de la même façon que des flux de faibles occurrences (< 5%), son degré d'exposition sera minimal (correspondant à la catégorie 1).

Nous détaillons ci-dessous une analyse pour deux cas contrastés du massif des Préalpes du Nord (Figure 20).

Le bassin V1515010 (Le Guiers Vif à Saint-Christophe-sur-Guiers) est orienté au Nord-Ouest. Il est donc bien exposé pour recevoir les flux de type C1, responsables de 15% des plus fortes crues sur le massif des Préalpes du Nord. Son niveau d'exposition est égal à la classe d'occurrence du type de temps C1, c'est-à-dire la catégorie 3.

Le bassin V1525410 (L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine) est lui orienté vers le Nord-Est. Dans cette partie des Préalpes du Nord, seulement 3% des flux de Nord-Est (C5) sont responsables des plus fortes crues. Son niveau d'exposition est égal à la classe d'occurrence du type de temps C5, soit la catégorie 1.



Figure 20. Classification de deux bassins en fonction de leur exposition aux flux perturbés dominants

Ce critère d'exposition donne une bonne indication sur le potentiel de réponse du bassin versant face à un type de perturbation. On peut penser qu'un bassin très bien exposé réagira plus fortement à un événement que son voisin qui présente une orientation complètement opposée, alors qu'ils subissent la même perturbation météorologique.

## 3.3. Emprise spatiale de quelques événements historiques

Une analyse historique succincte a été menée sur un peu moins d'une vingtaine de crues majeures observées depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. L'objectif de cette étude est de vérifier si des averses dues à des perturbations d'une même origine géographique ont pu, par le passé, conduire à des crues affectant des territoires dont l'étendue spatiale est plus ou moins identique d'un événement à un autre.

Plusieurs bases de données ont ainsi été exploitées :

- la base de données « événements » du service RTM, qui offre la possibilité de recenser les crues remarquables intervenues depuis plusieurs siècles (approximativement du XVII<sup>ème</sup> au XXI<sup>ème</sup> siècle et parfois en deçà, mais beaucoup plus rarement) sur les 6 départements alpins couverts par un service RTM.
- la base de données HYDRO du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement et la base de données hydrométriques d'EDF qui permettent sur certains cours d'eau d'avoir accès à des chroniques de débit datant au mieux du début du XX<sup>ème</sup> siècle.
- la base de données GASPAR du ministère de l'écologie qui, depuis le début des années 1980, rassemble par phénomène, la liste des communes ayant bénéficié d'un arrêté relatif à l'occurrence d'une catastrophe naturelle.

Arbitrairement, nous avons retenu plusieurs événements considérés comme majeurs en raison de leur étendue spatiale et des dégâts qu'ils ont engendrés. Ces événements sont intervenus aux dates suivantes : 01/11/1843, 29/05/1856, 01/11/1859, 24/09/1920, 28/09/1928, 22/10/1928, 07/06/1955, 12/06/1957, 22/09/1968, 30/04/1983, 08/10/1988, 13/02/1990, 21/12/1991, 05/10/1993, 07/01/1994, 05/11/1994, 15/11/2002, 12/01/2004 et 20/05/2008.

La majorité de crues sélectionnées est intervenue lors de la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. Il s'agit en effet de la période la plus longue pour laquelle on dispose en plus d'un maximum d'informations. Par ailleurs, pour plus de la moitié des crues considérées, la saison d'occurrence correspond à l'automne. Pour les autres crues, la répartition saisonnière est en revanche plus homogène.

Plusieurs enseignements peuvent ainsi être tirés de cette analyse, même si elle ne concerne qu'une fraction limitée des crues historiques observées sur la zone d'étude.

En premier lieu, nous avons pu visualiser, à un niveau d'échelle globale, quels étaient les principaux secteurs qui réagissaient aux forçages induits par des perturbations dont l'origine géographique était bien connue. Ensuite, nous avons pu constater qu'il est malgré tout assez fréquent – même si ce n'est pas systématique - que des averses dues à des perturbations de même origine géographique conduisent à des crues dont les « signatures » - exprimées en terme de dégâts et de zones inondées - sont très similaires. Plusieurs cas exemplaires peuvent être cités :

- Les crues hivernales du 13/02/1990, du 21/12/1991 et du 12/01/2004, qui ont toutes été provoquées par des pluies dues à un flux océanique stationnaire et qui ont à chaque fois affecté l'ensemble du bassin de l'Isère et de ses affluents, ainsi que les cours d'eau des Préalpes du nord comme le Fier (Figure 21).
- Les crues automnales du 01/11/1843, du 05/11/1994 et du 08/10/1993, qui ont pour origine des pluies amenées par un flux de sud, montrent une emprise centrée de manière récurrente sur le tiers sud de la zone d'étude, c'est-à-dire sur les bassins de la Durance, du Var et de leurs différents affluents (Figure 22).
- Les crues du 29/05/1856, du 07/11/1955 et du 20/05/2008, qui sont chacune dues à un flux perturbé orienté au sud et qui sont intervenues entre la fin du printemps et le début de l'été, montrent une zone active bien circonscrite aux bassins de la zone centrale des Alpes, soit de la haute Isère à la haute Durance (Figure 23).

Toutes les cartes élaborées dans le cadre de cette analyse sont rassemblées en annexe 2.











*Figure 21. Exemples de crues intervenues en hiver à la suite d'une perturbation amenée par un flux océanique stationnaire (type de temps de classe 2 selon la classification EDF).* 









*Figure 22. Exemples de crues intervenues en automne à la suite d'une perturbation amenée par un flux de sud (type de temps de classe 4 selon la classification EDF).* 



Figure 23. Exemples de crues intervenues entre la fin du printemps et le début de l'été à la suite d'une perturbation amenée par un flux de sud (type de temps de classe 4 selon la classification EDF).

(c)

## 3.4.Synthèse

Le croisement de critères liés à la distribution du relief et des précipitations, à la géologie et au type de temps à l'origine des plus fortes crues nous a amenés à définir empiriquement 5 secteurs considérés comme homogènes sur le plan hydrologique (Figure 24) :

- une zone « nord » rassemblant la majeure partie des Préalpes du Nord et l'Avant-pays savoyard
- une zone « centre » qui correspond aux Préalpes du Sud et aux Alpes maritimes
- une zone « est » qui regroupe les Alpes internes et externes
- une zone « ouest » qui inclut notamment le bas-Dauphiné, les monts du Vaucluse et la basse Provence calcaire
- une zone « sud » qui s'étend du massif des Maures aux Préalpes de Nice



Figure 24. Localisation des zones hydrologiques homogènes définies dans le cadre de cette étude.

L'examen de la répartition des sites jaugés par zone homogène montre que la zone « centre » concentre de loin le plus grand nombre de stations (Figure 25). La répartition des stations est sensiblement plus homogène en ce qui concerne les autres secteurs. La zone « sud » s'avère la mieux pourvue en termes de densité, avec 8 stations pour 1000 km<sup>2</sup> (Tableau 3). La zone « ouest » est au contraire la moins bien lotie avec seulement 2 stations pour 1000 km<sup>2</sup>. Par ailleurs, les zones « nord » et « ouest » n'incluent aucun bassin versant de moins de 10 km<sup>2</sup> (Figure 26a et Figure 26c). Enfin, dans la zone « sud », la superficie maximum des bassins versants jaugés atteint 100 km<sup>2</sup> (Figure 26e).



Figure 25. Répartition des stations par zone homogène. Tableau 3. Densité de sites jaugés par zone homogène.



Figure 26. Répartition du nombre de bassins versants par zone homogène et par gamme de superficie.

Nous avons constaté qu'à l'intérieur de chaque zone homogène, les perturbations à l'origine des plus fortes crues ne suivent pas nécessairement le même axe de propagation selon le positionnement des sous-massifs considérés. Cette tendance est très marquée pour les zones ayant une extension nord-sud importante. Ceci concerne en particulier les zones « est », « centre » et « ouest », où un découpage géographique un peu plus fin s'est avéré nécessaire dans la perspective de comparer l'axe d'écoulement des bassins versants étudiés à l'orientation générale des flux perturbés responsables des plus fortes crues (Tableau 4).

Zone	Sous-massifs	Axe général des perturbations à l'origine des plus fortes crues				
nomogene		Nord	Est	Ouest	Sud	
Nord	Faucigny, Chablais, Bornes et Aravis, Bauges, Chartreuse, Avant pays Savoyard, Chaînons jurassiens méridionaux	0	0	++	0	
	Pays du Mont-Blanc, Belledonne - Grand Arc, Beaufortain	0	0	++	0	
Est	Vanoise, Haute Tarentaise, Maurienne, Briançonnais et Queyras, Ubaye	0	++	+ +	+ +	
	Oisans et Ecrins Nord, Gapençais, Embrunais et Ecrins Sud	0	0	+ +	+ +	
	Isle Crémieu, Bonevaux-Amballan-Terres Froides, Chambarans, Pays de Valence	0	0	+	+ +	
Ouest	Massifs du Vaucluse-Drôme, Dentelles de Montmirail, Monts du Vaucluse-Ventoux-Lure, Plateau et collines de Valensole, Alpilles, Luberon, Basse Provence Calcaire	0	+	0	+ +	
	Vercors Nord et Trièves oriental	0	0	+ +	+ +	
Centre	Vercors sud, Dévoluy, Bochaine et Trièves occidental, Diois, Baronnies, Ceuze-Aujour, Préalpes de Digne, Mercantour - Var – Verdon, Préalpes de Castellane - Canjuers - Cheiron	0	0	+	++	
Sud	Maures Esterel Tanneron, Piémont Azuréen, Préalpes de Nice	0	+	+	++	

Tableau 4. Axe général des perturbations à l'origine des plus fortes crues par zone homogène et par sous massifs. Pour mémoire, la convention suivante a été adoptée pour qualifier l'influence des flux perturbés : ++ influence prépondérante ; + influence secondaire ; • influence négligeable.

## 4. Prédétermination des crues à partir d'une approche régionale

## 4.1. Démarche

Dans un premier temps, les résultats de l'analyse portant sur les durées caractéristiques de crue sont détaillés. Les travaux relatifs à cette variable ont consisté à rechercher les liens éventuels entre durée et surface drainée ainsi qu'entre durée et débit de pointe. A cette occasion, une analyse saisonnière a également été tentée.

Nous avons ensuite étudié la relation entre le débit décennal de pointe et la surface drainée par le bassin versant. Cette analyse a été l'occasion de vérifier l'influence des bassins versants karstiques et de la fonte nivale sur cette variable. Une relation simplifiée entre débit décennal et surface drainée a ensuite été établie pour chacune des zones homogènes précédemment définies.

Nous avons ensuite évalué l'intérêt de prendre en compte des variables supplémentaires, comme la pluie, dans les modèles de prédiction que nous avons calés à partir de l'échantillon de bassins versants à notre disposition. Nous avons ensuite vérifié si des améliorations pouvaient être apportées par une régionalisation de ces modèles. Ceci nous a amené à comparer deux approches possibles, puis à étendre finalement le développement de la méthode la plus robuste aux débits correspondant à d'autres périodes de retour.

Enfin, conformément à l'approche développée récemment sur les Pyrénées, nous avons tenté d'obtenir un gain en précision supplémentaire en prenant en compte des facteurs liés à l'environnement climatologique et à la géomorphologie des bassins versants.

## 4.2. Durée caractéristique de crue et forme des hydrogrammes

4.2.1. Durée caractéristique de crue

Pour chaque crue échantillonnée, grâce à la procédure QdF utilisée, on dispose de l'hydrogramme de crue et de diverses variables, notamment le débit de pointe Qmax et la durée caractéristique, c'est-àdire la durée de dépassement de la moitié de Qmax. Pour chaque station, la médiane des différentes valeurs de durée caractéristique est également déterminée.

Nous avons ensuite analysé la corrélation entre la durée caractéristique médiane des stations et la superficie des bassins versants, mais aucun lien évident entre ces deux variables n'a pu être mis en lumière. La dispersion des points s'avère en effet très grande et des bassins de taille modeste montrent des durées de crue très longues (Figure 27). Le constat est similaire si on considère la durée caractéristique de crue et le débit de pointe décennal (Figure 28).



*Figure 27. Relation entre la durée caractéristique médiane et la superficie des bassins versants.* 

Figure 28. Relation entre la durée caractéristique médiane et le débit de pointe décennal

Une analyse plus fine de la forme des hydrogrammes a ensuite été conduite sur un groupe de stations afin de rechercher une éventuelle relation entre durée caractéristique et débit de pointe. On cherche notamment à déterminer si les crues à forts débits de pointe sont plus violentes, avec des durées caractéristiques plus faibles que les crues à débits de pointe plus modérés qui s'étaleraient sur des durées plus longues.

Cette analyse montre parfois une décroissance des durées caractéristiques pour les forts débits de pointe. Dans ce cas, on peut estimer que les crues les plus fortes sont aussi les plus rapides. Mais, même dans ce cas la dispersion des points reste forte (Figure 29). Pour un grand nombre de stations, aucune tendance ne s'observe et on trouve des durées très variables dans toutes les classes de débit de pointe (Figure 30).



Figure 29. Relation entre la durée caractéristique Figure 30. Relation entre la durée caractéristique médiane et la superficie des bassins versants. médiane et le débit de pointe décennal

En zone de montagne, l'influence de la fonte de la neige sur les durées et volumes de crue peut être importante. Une analyse saisonnière a donc été tentée. On a distingué la saison hivernale allant des mois de Décembre à Février, printanière de Mars à Mai, estivale de Juin à Août et automnale de Septembre à Novembre.

Des exemples de résultats pour deux stations des Préalpes du Nord sont présenté ci-dessous (Figure 31). Dans le cas de la Station V1257810 (Les Eparis à Alby-sur-Chéran), on observe deux ensembles dominés par deux groupements de saisons, celui des crues brèves et intenses se produisant plutôt en été et à l'automne et celui des crues plus faibles et longues d'hiver et de printemps (Figure 31a). Dans le cas de la Filière à Argonnay (V1225010), on n'identifie pas de tendance saisonnière et il est plus délicat de définir des relations saisonnières dans l'organisation des résultats. Toutefois on remarque que la majorité des événements estivaux et automnaux constituent les crues les plus brèves et intenses (Figure 31b).



Figure 31. Relation débit / durée par saison : Hiver (Bleu), Printemps (Vert), Eté (Rouge), Automne (Noir)

En conclusion, les durées caractéristiques médianes des stations étudiées ne semblent pas corrélées à la superficie de leur bassin versant, ni même au débit décennal ajusté par la loi exponentielle. Ce qui signifie que l'on ne pourra pas déterminer avec un minimum de précision la durée caractéristique d'une crue d'un bassin non jaugé à partir de paramètres simples. On note toutefois que la durée caractéristique médiane est déterminée sur la population de toutes les crues et que celle-ci ne correspond pas, en général, à la durée des crues de débit de pointe proche d'une période de retour décennale.

#### 4.2.2. Analyse saisonnière de la forme des hydrogrammes

Comme il n'a pas été possible de mettre en évidence station par station une relation entre durée et débit de pointe, que l'on s'intéresse à l'année entière ou que l'on procède à un découpage par saison, il nous a ensuite semblé intéressant d'initier une étude de la forme des hydrogrammes en fonction de la saison d'occurrence des crues.

Lorsque l'on observe les hydrogrammes échantillonnés pour une station, on remarque une grande dispersion des événements, tant en terme de montée ou de décrue que de durée caractéristique. Ce constat nous a incités à réaliser une analyse saisonnière afin de mettre en lumière d'éventuels traits caractéristiques saisonniers. Cette étude a porté sur 40 bassins versants dont la répartition géographique est homogène et dont la représentativité en termes de régimes hydrologiques et de types de temps est satisfaisante. Il a été choisi de se concentrer uniquement sur des bassins échantillonnés en sup-seuil, proposant des hydrogrammes de qualité et ne présentant pas d'anomalies flagrantes (Figure 32).



Figure 32. Exemple d'hydrogrammes normés de deux stations, retenu pour l'analyse (à gauche) ou écarté (à droite).

Les résultats de cette analyse sont présentés dans les paragraphes qui suivent pour quatre régimes hydrologiques décrits chacun grâce aux données de quatre stations. Les bassins retenus ont été jugés représentatifs à partir de critères portant sur leur localisation, leur relief, leur géologie et l'aléa pluviométrique auquel ils sont exposés.

## 4.2.2.1.Les stations de haute montagne

Pour ce premier échantillon, quatre stations du massif des Alpes Internes sont étudiées : la Navette à la Chapelle en Valgaudemar, la Séveraisse à Villar Loubière, la Bonne à Entraigues et la Roizonne à la Valette. Les terrains drainés par ces cours d'eau sont de type cristallin, constitués des roches métamorphiques et granitiques. Le relief de leur bassin versant est très marqué avec pour certaines, on note la présence de glaciers globalement peu étendus.

Sous l'influence d'un climat montagnard marqué renforcé par des altitudes élevées, ces cours d'eau présentent un régime de type nival. En hiver, le froid et les précipitations neigeuses limitent, et parfois stoppent, l'écoulement de ces cours d'eau. En revanche, pendant les périodes de redoux, généralement entre la fin du printemps et jusqu'au début de l'été, les stocks de neige fondent rapidement. Lors d'un

épisode pluvieux, les précipitations associées à la fonte du manteau neigeux provoquent parfois de très longues crues caractérisées par de forts débits de base.

Quatre saisons hydrologiques ont été distinguées :

- L'hiver de Décembre à Février (bleu)
- Le printemps de Mars à Mai (vert)
- L'été de Juin à Août (rouge)
- L'automne de Septembre à Novembre (noir)

Stations	Nom complet	ZH	Altitude station	Altitude sommitale	Nbre Crues	Q seuil	<b>Crues par saisons</b> Et Débits de pointe
W2107010 30,4 Km²	La Navette à la Chap. /Valgaudémar	AIS	1095	3117	17	1	01;00, <b>07</b> ;09 <i>02;00,17;0</i> 9
W2114010 130 Km²	La Séveraisse à Villar Loubière	AIS	1023	3589	35	5	02 ; 06 , <b>15</b> ; 12 26 ; 37 , <b>43</b> ; 44
W2314010 142 Km²	La Bonne à Entraigues	AIN	770	3562	58	7,5	01;12,22;23 19;27,21;28
W2335210 70,6 Km²	La Roizonne à la Valette	AIN	895	2857	53	2,5	00 ; 12 , <mark>21</mark> ; 20 <i>00 ; 15 , 16 ; 16</i>
			950 m	3280 m	163 crues		04 ; <mark>30</mark> , <mark>65</mark> ; 64

#### Tableau 5. Etude saisonnière sur les quatre stations de haute montagne

A partir d'un échantillonnage sup-seuil, seules quatre crues d'hiver ont été sélectionnées. Leur débit de pointe s'avère relativement réduit compte tenu du climat qui règne en cette saison. Au printemps de nombreux événements sont recensés (30) mais c'est en été et pendant l'automne qu'une grande majorité des crues se sont produites.

Concernant les débits aucune tendance ne se démarque entre ces trois saisons. L'analyse des durées caractéristiques butte sur un écueil : la superficie des bassins versants varie grandement pour cet échantillon de quatre stations et les durées sont plus difficilement comparables. Les formes d'hydrogrammes ont donc été analysées séparément pour les différentes stations, afin d'y rechercher des cohérences de forme, et sans prendre en compte la valeur absolue des durées. Il a été vérifié que chaque station contienne un nombre d'événements par saison comparable à celles du reste de l'échantillon.

L'exemple de la station de la Bonne à Entraigues (Figure 33) montre que les crues printanières sont marquées par un fort débit de base (débit normé allant de 0,45 à 0,5). Les temps de montée et de descente sont très allongés ce qui explique que la durée caractéristique soit très longue. Par ailleurs, le pic de crue est au final très élargi à sa base.

En été, les bassins sont beaucoup plus réactifs et notamment en phase de montée (un temps de montée de 10h est estimé). Mais la fonte encore très marquée en juin impose un débit de base prononcé (débit normé allant de 0,4 à 0,5) qui entretient une décrue assez lente.

A l'automne les pics de crues enregistrés sont de formes similaires à ceux de la saison estivale. En revanche le débit de base est beaucoup plus limité (débit normé égal à 0,2) compte tenu des stocks de neige ayant fondu quelques mois auparavant, et du refroidissement progressif du climat à cette saison. Les bassins sont ainsi très réactifs à un événement pluvieux et les pics de crues sont plus étroits à leur base.



*Figure 33.* Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (la Bonne à Entraigues)

#### 4.2.2.2.Les stations des Préalpes du Nord

Quatre autres stations sont identifiées au sein d'un groupement où le climat montagnard est moins marqué (Tableau 6). En revanche les bassins retenus subissent une influence océanique très sensible dans cette région (flux de perturbation venant principalement de l'Ouest à Nord Ouest).

Stations	Nom complet	ZH	Altitude station	Altitude sommitale	Nbre Crues	Q seuil	<b>Crues par saisons</b> Et Débits de pointe
V0325010 172 Km²	La Dranse de Morzine à Seytroux	PAN	690	2170	61	31	16;19,12;14 45;45,49;50
V1225010 155 Km²	Filière à Argonay	PAN	482	1905	73	71	19 ; <b>17 , 15</b> ; 22 92 ; 90 , 95 ; 97
V1235210 26,8 Km²	L'ire à Doussard	PAN	462	2181	77	12	22;19,13;23 16;16,15;15
V1255010 261 Km²	Le Chéran à Allèves	PAN	575	2217	80	60	31 ; 23 , 07 ; 19 <i>99 ; 83 , 86 ; 91</i>
			550 m	2120 m	291 crues		88;78, <mark>47</mark> ;78

#### Tableau 6. Etude saisonnière sur quatre stations des Préalpes du Nord

Ce regroupement a lieu exclusivement dans le massif des Préalpes du Nord qui est soumis à des flux de perturbation originaires de l'Ouest. La géologie des bassins considérés présente une composante karstique (la station V1255010 la plus exposée, est concernée pour au moins 20% de sa surface par une entité karstique). Pour l'ensemble de ces stations, les plus fortes crues se sont produites en toutes saisons hormis la période estivale qui enregistre 47 crues contre 78 à 88 pour les autres saisons. Concernant les débits de pointe moyens les écarts sont finalement assez faibles.

L'analyse des hydrogrammes du Chéran à Allèves pris comme exemple (Figure 34) indique que les temps de montée et de descente semblent assez similaires quelle que soit la saison. En termes de durée caractéristique, seuls l'hiver et le printemps proposent des temps légèrement supérieurs (14 à 18 heures contre 9 et 12 pour l'été et l'automne). En revanche des différences sont toujours autant présentes concernant le débit de base. Fort au printemps (débit normé égal à 0,3) il s'abaisse pendant l'hiver (débit normé égal à 0,2) avant de descendre sensiblement plus bas lors des périodes estivale et automnale. L'influence de la fonte nivale semble encore jouer un rôle au printemps. En été, les crues sont peu virulentes.



Figure 34. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (le Chéran à Allèves)

Les résultats pour les deux autres groupes de stations (stations de montagne du Dévoluy et stations du piémont alpin et azuréen) sont présentés en Annexe

#### 4.2.2.3. Les stations de montagne sous influence méditerranéenne

Les stations considérées ici sont situées principalement dans le massif du Dévoluy (Tableau 7). L'altitude maximale de leur bassin est moins élevée que dans les Alpes internes. Ces stations sont encore bien influencées par des périodes de fonte, qui interviennent toutefois de manière plus précoces. De part leur positionnement géographique, les bassins subissent plutôt un climat montagnard sous influence méditerranéenne.

Stations	Nom complet	ZH	Altitude station	Altitude sommitale	Nbre Crues	Q seuil	<b>Crues par saisons</b> Et Débits de pointe
W2215030 39,1 Km²	La Souloise à St Etienne en Dévoluy	PASW	1250	2709	63	5,5	12;16,06;29 08;07,07;10
W2216410 23,6 Km²	La Ribière à Agnières en Dévoluy	PASW	1243	2595	60	2	15;15,01;29 <i>03;03,04;03</i>
X1025020 290 Km²	Le Petit Buech à Veynes	PASW	807	2709	49	55	13;17,04;15 72;77,85;87
X2114010 140 Km²	L'Issole à St André les Alpes	PASE	905	2401	65	15	15;15,06;29 31;32,28;40
			1050 m	2600 m	237 crues		55 ; <mark>63</mark> , <mark>17</mark> ; 102

 Tableau 7.
 Etude saisonnière sur quatre stations de montagne à influence méditerranéenne.

Ces quatre stations contrôlent des bassins qui ont les mêmes caractéristiques au niveau du relief. Le constat est identique en ce qui concerne la géologie : le substratum est constitué de marnes et de calcaires du secondaire. Ces terrains peuvent être concernés par des transferts karstiques.

L'échantillonnage révèle que la plupart des crues se produisent à l'automne (102 sur 234). A en juger par les débits de pointe moyens, elles sont également les plus fortes enregistrées. Le printemps n'est pas en reste avec 63 événements, suivi de près par la saison hivernale (55 événements). L'été en revanche ne présente que 17 crues mais les débits de pointe qui en découlent semblent du même ordre que ceux enregistrés l'hiver et au printemps.



Figure 35. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (L'Issole à Saint André les Alpes).

Pour un nombre d'événements équivalents, les crues des périodes hivernale et printanière sont très semblables tant sur la forme des pics de crue que sur la valeur des débits de base (débit normé égal à 0,3). La fonte semble alors intervenir de la fin de l'hiver jusqu'au printemps pour ces quatre bassins où l'altitude varie, en moyenne, de 1050 à 2600m.

En été les débits de base sont bien plus faibles (débit normé égal à 0,2) et les temps de montée et de descente plus courts que pendant les premiers mois de l'année. Les pics de crue sont alors très resserrés sur leur base précisant des volumes écoulés beaucoup plus faibles.

Les crues d'automne représentent 44% des événements annuels et montrent des caractéristiques intermédiaires tant sur les débits de base que sur la forme de ses pics de crue.

Il faut être vigilant quant à l'analyse de ces résultats compte tenu des transferts karstiques suscptibles d'intervenir en amont de ces stations. En effet les aquifères karstiques sont susceptibles d'influencer les niveaux des cours d'eau. En étiage lors de saisons sèches, Ils peuvent en un premier temps être alimentés par les précipitations et amoindrir l'intensité des crues si leurs capacités de stockage souterraines le permettent. En revanche lorsqu'ils arrivent à saturation lors de périodes plus humides, ils restituent rapidement les eaux infiltrées sans les stocker et contribuent à l'augmentation du débit de base.

## 4.2.2.4. Les stations du piémont alpin et de la Cote d'Azur

Le regroupement considéré est caractérisé par des cours d'eau dont le régime est de type pluvial. Il s'agit d'un régime hydrologique simple (caractérisé par une seule alternance annuelle de hautes et de basses eaux) qui se retrouve dans les bassins versants principalement alimentés par des précipitations sous forme de pluie. Les principales caractéristiques de ce régime sont, en zone tempérée : des crues hivernales et de basses eaux en été et une variabilité interannuelle importante.

Par ailleurs, l'échantillon retenu est influencé par un climat méditerranéen marqué. Il comporte deux stations de la cote d'Azur rattachées au massif des Maures. Sur ces bassins versants, la géologie montre une alternance de terrains sédimentaires du secondaire et de roches cristallines plus anciennes (Tableau 8). Les deux autres stations V3614010 et V4275010 contiennent respectivement des terrains à conglomérats fluviatiles et à calcaires du secondaire.

Dans l'ensemble, les crues les plus intenses ont eu lieu entre septembre et février avec 216 événements sur 305. Le printemps reste bien représenté. La période estivale ne compte que 17 fortes crues observées et ces crues sont généralement les moins importantes.

Stations	Nom complet	ZH	Altitude station	Altitude sommitale	Nbre Crues	Q seuil	<b>Crues par saisons</b> Et Débits de pointe
V3614010 233 Km²	La Galaure à St Uze	PiA	164	728	72	20	14;19, <b>07;32</b> <i>38;38,36;5</i> 8
V4275010 104 Km²	La Gervanne à Beaufort	PASW	325	1581	67	7,5	19;21,04;23 <i>19;18,12;2</i> 0
Y4604020 178 Km²	Le Gapeau à Solliès Pont	PiAz	80	863	82	10	40 ; 18 , <mark>02</mark> ; 22 <i>49 ; 39 , 43 ; 3</i> 3
Y4615020 287 Km²	Le Réal Martin à la Crau	PiAz	33	570	84	53	37; 14, 04; 29 123; 80, 66; 93
			150 m	940 m	305 crues		110;72,17;106

Tableau 8. Etude saisonnière sur quatre stations du piémont alpin et azuréen



Figure 36. Analyse saisonnière des hydrogrammes normés (Le Réal Martin à La Crau)

Ces stations au profil quasi similaire (seule la station de la Gervanne peut être légèrement sous influence nivale), s'organisent en deux périodes : celle d'hiver et de printemps où les débits de base sont assez forts (débit normé proche de 0,15), et les temps de montée et de descente plutôt lents (une quinzaine d'heures). A l'inverse pendant l'été et l'automne, les débits de base sont assez bas (débit normé allant de 0,05 à 0,1) et les crues plus soudaines tant à la montée qu'à la descente (une dizaine d'heures).

Les phénomènes hivernaux à printaniers semblent se produire sur un sol plus humide voire saturé qui infiltre plus difficilement les précipitations. Cette situation conduit à des débits de base et à des volumes de crue importants dans les cours d'eau. En revanche lors de la saison sèche, soit de l'été à l'automne, les pluies tombent sur un sol plus sec et les cours d'eau sont en étiage, ce qui explique les débits de base assez faibles et les temps de descente très brefs. Concernant les temps de montée relativement, leur faible durée est probablement lié au caractère méditerranéen des précipitations.

#### 4.2.2.5.Synthèse

Les quatre groupements répartis dans l'ensemble des Alpes ont permis de décrire les principaux régimes hydrologiques influençant la répartition saisonnière des formes d'hydrogrammes :

- Au printemps : en haute montagne et pour des régimes globalement sous influence nivale, il apparaît clairement que les crues printanières sont plus longues et à fort débit de base que leur homologues. Ce phénomène est essentiellement dû à la fonte des neiges et se maintient jusqu'en été pour les plus hautes stations. Sous une influence pluviale, les crues semblent moins durables et présentent un débit de base moins marqué. Mais de manière générale dans les Alpes les crues de printemps sont les plus longues quel que soit le régime caractérisé.
- En hiver : hormis pour les plus hauts bassins où les événements pluvieux sont rares à cause du froid, la saison hivernale montre des crues aux comportements assez similaires tant dans leur forme que dans l'intensité des débits de base. Ces longues durées et ces forts débits de base peuvent s'expliquer par des précipitations se produisant sur un sol assez humide ou parfois saturé.
- En été : on observe les événements les plus brefs et à faible débit de base. Les bassins semblent plus réactifs lorsqu'ils sont soumis à une influence méditerranéenne, les précipitations plus intenses se produisant sur des sols plus secs. L'effet est moins marqué sous climat océanique. Cette interprétation n'est en revanche pas applicable pour les hauts bassins où la fonte des neiges peut intervenir tardivement et allonger les crues.
- En automne : cette saison est assez proche de la précédente concernant la forme des hydrogrammes de crues mais compte plus du double d'événements. Elle semble également plus homogène quelle que soit la localisation du bassin.

Finalement cette étude saisonnière n'a pas permis de définir réellement un hydrogramme synthétique applicable pour un bassin donné. En effet les biais sont potentiellement nombreux, comme le nombre réduit de stations étudiées, la taille des regroupements, la non différenciation entre les crues banales et rares, l'hétérogénéité des critères morphologiques des bassins.

Cependant grâce à un regroupement sous différents régimes hydrologiques et climatiques, il ressort un comportement caractéristique des crues en fonction des saisons et selon le site d'étude. Dans le but de prédéterminer les volumes de crue, il sera alors intéressant voire nécessaire de connaître dans quel massif on se situe et pour quelle saison. L'hydrogramme de crue défini pour le bassin devra alors être adapté en conséquence.

#### 4.3.Débits de pointe de référence

4.3.1. Relations simplifiées entre débit décennal et surface drainée

#### 4.3.1.1.Formule sommaire valable pour toute la zone d'étude

Dans un premier temps, l'analyse a porté sur la relation entre le débit décennal de pointe et la surface du bassin versant seule. Cette analyse a été menée en considérant l'ensemble de la zone d'étude (Figure 37). Elle conduit à la relation présentée ci-dessous (Tableau 9).



Figure 37. Evolution de la valeur du débit décennal de pointe des bassins versants de la zone d'étude en fonction de la superficie drainée.

Compte tenu de l'hétérogénéité des bassins versants considérés, la relation obtenue ne présente évidemment pas un grand intérêt sur le plan opérationnel. Néanmoins, elle permet de disposer d'une première référence en termes de performance.

Cette évaluation a été menée à partir des indicateurs suivants (Tableau 9) : le coefficient directeur de la droite de régression ( $Q_{calc} / Q_{est}$ ) et le coefficient de corrélation ( $r^2$ ) entre les valeurs calculées par ce modèle très simple ( $Q_{calc}$ ) et les valeurs estimées selon un ajustement de Gumbel ( $Q_{est}$ ) ; deux intervalles susceptibles d'encadrer les valeurs calculées par le modèle, soit [ $2Q_{est}/3$ ;  $3Q_{est}/2$ ] et [ $Q_{est}/2$ ;  $2Q_{est}$ ]; l'écart quadratique moyen ; le critère de Nash.

Pour mémoire, une parfaite adéquation entre les valeurs calculées et les valeurs estimées se traduit par : une valeur égale à 1 pour le rapport Qcalc sur Qest, pour le coefficient de corrélation r<sup>2</sup> et pour le critère de Nash ; une valeur nulle pour l'écart quadratique moyen ; un taux de 100% pour la proportion de valeurs calculées comprises dans les intervalles considérés.

Relation	Qcalc	r <sup>2</sup>	Proportion de va comprises dans	aleurs calculées l'intervalle (%)	Ecart quadratique	Critère
Relation	Q <sub>est</sub>	1	[2Q/3;3Q/2]	[Q/2;2Q]	moyen	de Nash
$Q_{i10} = 1,05.S^{0,84}$	0.72	0.52	48	74	0.613	0.607

Tableau 9. Performance de la relation entre le débit décennal de pointe  $(Q_{i10} \text{ en } m^3/s)$  et la surface drainée (S en km<sup>2</sup>) valable pour l'ensemble de la zone d'étude.

#### 4.3.1.2.Influence des bassins versants karstiques

Afin d'apprécier l'influence éventuelle des bassins versants karstiques sur la performance des modèles, nous avons exclu de notre échantillon de calage les bassins versants concernés par des transferts karstiques et nous avons procédé au calage d'un nouveau modèle. Cette démarche montre que la qualité des résultats n'est pas dégradée si l'échantillon prend en compte l'ensemble des données disponibles (Tableau 10).

Ce constat nous a incité par la suite à conserver les 159 bassins versants retenus dans le recensement initial.

Echantillon incluant des bassins karstiques	Nombre de bassins	Relation	Q <sub>calc</sub> Q <sub>est</sub>	r <sup>2</sup>	Proportion c calculées co dans l'inter [2Q/3;3Q/2]	le valeurs omprises valle (%) [Q/2;2Q]	Ecart quadratique moyen	Critère de Nash
Oui	159	$Q_{i10} = 1,05.S^{0,84}$	0.72	0.52	48	74	0.61	0.61
Non	123	$Q_{i10} = 1,15.S^{0,82}$	0.69	0.46	48	72	0.67	0.57

Tableau 10.Influence de la prise en compte des bassins versant karstiques sur la performance d'un modèle simple reliant le débit décennal de pointe  $(Q_{i10} \text{ en } m^3/s)$  et la surface drainée (S en km<sup>2</sup>).

#### 4.3.1.3.Influence de la fonte nivale

En montagne, de nombreuses situations hydrologiques peuvent être à l'origine de crues : les orages brefs et intenses intervenant préférentiellement en été, les averses continues et durables qui affectent tout ou partie du massif alpin quelle que soit la saison, les redoux printaniers accompagnés éventuellement de précipitations,...

Ces situations ont une influence notable sur la forme des hydrogrammes des crues qu'elles génèrent. Par exemple, les hydrogrammes représentatifs des crues d'orages sont généralement de courte durée mais très pointus. A l'inverse, les crues de fonte présentent des hydrogrammes très étalés sans pointe véritablement marquée.

L'échantillonnage que nous avons mené à partir des données à notre disposition mêlant des populations de crues d'origine très diverse, nous nous sommes posé la question de l'influence des données de débits observés durant la période de fonte nivale sur l'estimation des débits de crue de référence. Pour évaluer cette influence, nous avons procédé à une nouvelle estimation des quantiles de crue caractéristiques à partir d'un échantillonnage des données excluant les mois durant lesquels la fusion nivale intervient, soit d'avril à juin. Ces estimations ont ensuite été comparées aux valeurs estimées à partir d'un échantillon complet.

Dans l'ensemble, nous constatons des écarts finalement assez faibles entre les deux approches mises en œuvre pour estimer les quantiles caractéristiques. Dans le cas particulier de la crue de période de retour décennale, l'écart entre les deux estimations dépasse  $\pm 20\%$  dans près de 6% des cas (Figure 38). Par ailleurs, la valeur très élevée du cœfficient de détermination (r<sup>2</sup> = 0,99) témoigne d'une faible dispersion des points autour de la droite de régression. Les comparaisons réalisées pour d'autres périodes de retour montrent enfin que ces écarts sont d'autant moins marqués que la fréquence du quantile considéré est faible.

Dans ces conditions, on peut considérer que l'influence des crues de fonte s'avère finalement assez marginale sur l'estimation de la valeur des débits de pointe de référence. Cette remarque n'est évidemment pas valable en ce qui concerne les volumes écoulés.



*Figure 38.* Influence des débits observés durant la période de fonte nivale sur l'estimation du débit de crue de période de retour décennale.

#### 4.3.1.4. Formules sommaires spécifiques à chaque zone homogène

Afin d'apprécier l'intérêt d'une démarche de régionalisation, une relation entre le débit décennal et la surface a été calée pour chaque zone homogène définie précédemment. La performance de ces modèles a été évaluée à partir des mêmes critères que ceux considérés pour l'évaluation des modèles calés précédemment (4.3.1.1).

Malgré la très grande simplicité des modèles proposés pour chaque secteur homogène, la régionalisation conduit à une nette amélioration de la performance globale de l'approche, et ce quels que soient les critères considérés (Tableau 11). Les résultats les moins satisfaisants sont observés au niveau de la zone « ouest », qui rassemble la plupart des bassins versants du piémont alpin. Ceci peut éventuellement s'expliquer par la grande diversité des terrains rencontrés dans cette zone.

Secteur	Nombre de bassins versants	Relation	Q <sub>calc</sub> Q <sub>est</sub>	r <sup>2</sup>	Pourcentage calculées dans l'interva	de valeurs comprises lle	Ecart quadratique moyen	Critère de Nash
	versants	0.04			[2Q/3;3Q/2]	[Q/2;2Q]		
Nord	29	$Q_{i10} = 1,05.S^{0,84}$	0.56	0.75	59	79	0.65	0.52
Centre	56	$Q_{i10} = 0,56.S^{0,97}$	0.84	0.81	61	84	0.36	0.81
Est	31	$Q_{i10} = 0,55.S^{0,90}$	0.92	0.80	68	97	0.38	0.79
Ouest	23	$Q_{i10} = 1,58.S^{0,65}$	0.67	0.09	43	61	0.57	0.43
Sud	20	$Q_{i10} = 1,26.S^{1,02}$	0.86	0.78	70	80	0.42	0.78
Total	159	-	0.73	0.72	60	82	0.53	0.71

Tableau 11. Relations simples entre le débit décennal de pointe  $(Q_{i10} \text{ en } m^3/s)$  et la surface (S en  $km^2$ ) applicables dans chaque zone homogène.

4.3.2. Liens entre le débit décennal et les débits correspondant à d'autres périodes de retour

Lorsque pour un bassin versant donné, on dispose d'une évaluation de la valeur du débit de pointe décennal, il est possible d'estimer les autres débits de référence en appliquant un coefficient d'extrapolation adapté à une région, une catégorie de bassins versants et une période de retour donnés.

Bien évidemment, une telle approche ne saurait se substituer aux méthodes d'extrapolation plus fines ou aux modèles applicables aux situations extrêmes. Néanmoins, la simplicité de sa mise en oeuvre permet de disposer très rapidement d'un premier ordre de grandeur des débits de référence d'un bassin versant, ce qui peut être très pratique en ingénierie.

Les données à notre disposition ont donc été analysées, dans un premier temps en considérant l'ensemble de la zone d'étude, puis en distinguant chacun des secteurs homogènes.

Les résultats obtenus à partir de la totalité des données de l'échantillon de calage montrent, dans l'ensemble, une dispersion assez réduite des points autour de la droite de régression (Figure 39), et ce d'autant plus que la période de retour considérée est élevée. Les valeurs des ratios obtenus sont par ailleurs très similaires à ceux proposés par Galéa et Prudhomme (1997) pour le modèle de Soyans. Ce modèle est plutôt représentatif des bassins versants à faible capacité de stockage des précipitations et à fort écoulement superficiel.



*Figure 39. Liens entre le débit décennal et les débits correspondant aux périodes de retour égales à 2, 5, 20 et 50 ans pour l'ensemble de la zone d'étude.* 

Nous avons ensuite mené une analyse plus fine en considérant séparément les données relatives à chacune des zones homogènes. Les résultats obtenus (Tableau 12) appellent les commentaires suivants :

- L'évolution de l'intensité des crues fréquentes à rares observée sur les bassins versants des zones « nord » et « est » est assez similaire et semble globalement la moins rapide, comparativement aux autres secteurs.
- Dans les zones « centre » et « sud », la progression des débits montre également d'importantes similitudes et des écarts entre les extrêmes plus importants que dans les zones « nord » et « est », pour la gamme de crues considérée.
- Les écarts entre les crues fréquentes et rares sont maximaux pour la zone « ouest ».

Secteur	eur $Q_{i2} / Q_{i10}$		$Q_{i20}  /  Q_{i10}$	$Q_{i50} / Q_{i10}$
Nord	0.69	0.86	1.14	1.31
Centre	0.60	0.83	1.17	1.39
Est	0.68	0.87	1.14	1.29
Ouest	0.56	0.81	1.19	1.44
Sud	0.59	0.82	1.18	1.41
Zone d'étude	0.63	0.84	1.16	1.36

Tableau 12. Evolution du rapport entre le débit décennal et les débits correspondant aux périodes de retour égales à 2, 5, 20 et 50 ans pour les différents secteurs de la zone d'étude.

4.3.3. Estimation du débit décennal à partir d'une approche globale tenant compte de l'aléa pluviométrique

Dans la perspective d'élaborer une approche permettant de prédire les débits de pointe de référence d'un bassin versant à partir d'un nombre restreint de variables et avec le moins d'incertitude possible, une analyse multivariée a été menée afin de vérifier les liens statistiques éventuels entre le débit décennal et un grand nombre de paramètres caractéristiques.

La littérature publiée sur le sujet nous donne une première idée des paramètres à considérer pour l'établissement d'une telle relation. Classiquement, il s'agit de la surface drainée par le cours d'eau, d'une ou plusieurs variables représentatives de l'aléa pluviométrique, de la longueur du réseau hydrographique,...

La matrice des coefficients de corrélation totale obtenue pour une sélection de variables expliquant le mieux la valeur du débit de pointe de période de retour décennale des cours d'eau de notre échantillon de calage a été établie (Tableau 13). Les meilleures corrélations avec le logarithme du débit de pointe décennal sont obtenues avec les variables représentant le logarithme de la surface et le logarithme du périmètre. Nous avons néanmoins pu vérifier l'existence d'une colinéarité très forte entre surface et périmètre qui nous amène à tempérer le constat précédent.

	$log  Qi_{10est}$	log S	log P	$\log Z_{50}$	log Kc	log Ds	$\log L_{\rm T}$	log Dd	$\log P_{j10}$
$\log Qi_{10\text{est}}$	1.00	0.86	0.85	-0.06	0.12	-0.10	0.12	0.09	0.11
log S	0.86	1.00	0.99	0.08	0.17	-0.06	0.14	0.09	-0.08
log P	0.85	0.99	1.00	0.05	0.21	-0.07	0.14	0.09	-0.03
log Z <sub>50</sub>	-0.06	0.08	0.05	1.00	-0.04	0.31	0.05	0.01	-0.50
log Kc	0.12	0.17	0.21	-0.04	1.00	-0.35	0.50	0.41	0.18
log Ds	-0.10	-0.06	-0.07	0.31	-0.35	1.00	-0.41	-0.36	-0.11
$\log L_{\rm T}$	0.12	0.14	0.14	0.05	0.50	-0.41	1.00	0.95	-0.05
log Dd	0.09	0.09	0.09	0.01	0.41	-0.36	0.95	1.00	-0.05
log P <sub>j10</sub>	0.11	-0.08	-0.03	-0.50	0.18	-0.11	-0.05	-0.05	1.00

Tableau 13. Matrice des corrélations entre les variables expliquant le mieux la valeur du débit de pointe de période de retour décennale, où : Q<sub>i10</sub> débit de pointe de période de retour décennale (m<sup>3</sup>/s) ;
S superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>) ; P périmètre du bassin versant (km) ; Z<sub>50</sub> altitude médiane (m); Kc coefficient de compacité au sens de Gravelius ; Ds dénivelé spécifique (m); L<sub>T</sub> longueur totale du cours d'eau (km) ; Dd densité de drainage ; P<sub>i10</sub> pluie journalière décennale (mm).

Une série de tests itératifs a ensuite permis d'établir plusieurs relations statistiques dont nous avons pour chacune évalué la performance. Cette démarche nous a permis de vérifier que la prise en compte de variables autres que la surface et la pluie journalière décennale n'améliorait pas la qualité de l'estimation. Une relation valable pour l'ensemble de la zone d'étude a donc été calée, mais sa performance globale s'est finalement révélée moins bonne que les relations régionalisées ne tenant compte que de la surface (Tableau 14).

Relation	Q <sub>calc</sub>	r <sup>2</sup>	Proportion de va comprises dans	leurs calculées l'intervalle (%)	Ecart quadratique	Critère
Kelation	Q <sub>est</sub> 1 <sup>-</sup>	[2Q/3;3Q/2]	[Q/2;2Q]	moyen	de Nash	
$\boxed{Qi_{10} = S^{0.85} * \left(\frac{P_{j10}}{87.5}\right)^{0.9}}$	0.71	0.52	52	79	0.63	0.59

Tableau 14. Relation entre le débit décennal de pointe ( $Q_{i10}$  en  $m^3/s$ ), la surface (S en  $km^2$ ) et la pluie journalière décennale ( $P_{j10}$  en mm) calée à partir des 159 bassins versants considérés par l'étude.

#### 4.3.4. Améliorations apportées à l'estimation du débit décennal par la régionalisation

Dans un premier temps, nous avons calculé la valeur du rapport entre les débits décennaux estimés de manière statistique et les débits déduits de la relation présentée dans le paragraphe 4.3.3. Les résidus obtenus ont été cartographiés afin de vérifier si, à l'échelle de la zone d'étude, cette variable montrait une certaine cohérence spatiale (Figure 40).



Figure 40. Cartographie du rapport entre les débits décennaux estimés et les débits calculés par la relation présentée dans le paragraphe 4.3.3.

Le zonage que nous avons établi met en lumière quelques tendances :

- dans les zones « nord » et « sud », les écarts observés entre les valeurs extrêmes sont les plus importants. De plus, la moyenne des résidus est globalement assez élevée et on observe une majorité de valeurs comprises entre 1,2 et 2,3.
- au niveau de la zone « est », les résidus montrent des valeurs assez peu dispersées et l'intervalle allant de 0,6 à 1,1 rassemble une grande partie des valeurs calculées.
- dans la zone « centre », on observe des valeurs allant majoritairement de 0,8 à 1,3 et une certaine dispersion au niveau des résidus.
- au niveau de la zone « ouest », un assez grand nombre de valeurs sont comprises entre 0,4 et 1,0.

Pour chaque zone homogène, nous avons ensuite essayé d'optimiser le modèle en calant un coefficient régional propre à chaque zone homogène. Ce coefficient a été calé de manière à minimiser l'écart quadratique moyen entre les valeurs estimées et les valeurs calculées. Cette démarche nous amène finalement à proposer les valeurs régionales suivantes :

- 2,0 pour la zone « nord »
- 0,86 pour la zone « est »
- 1,10 pour la zone « centre »
- 0,67 pour la zone « ouest »
- 2,0 pour la zone « sud »

La performance de ce modèle régionalisé a été évaluée en conservant le même protocole que pour les relations établies précédemment. Les résultats obtenus sont plutôt satisfaisants puisqu'ils vont dans le sens d'une amélioration sensible de la prédiction (Tableau 15).

Relation	Qcalc Qest	1 <sup>2</sup>	Proportion de valeurs calculées comprises dans l'intervalle (%) [2Q/3;3Q/2] [Q/2;2Q]		Ecart quadratique moyen	Critère de Nash
$Qi_{10} = S^{0.85} \times \left(\frac{P_{j10}}{87.5}\right)^{0.9} \times Cr_{10}$	0.92	0.81	65	86	0.39	0.84

Tableau 15. Relation entre le débit décennal de pointe  $(Q_{i10} en m^3/s)$ , la surface  $(S en km^2)$  et la pluie journalière décennale  $(P_{j10} en m)$ . La valeur du coefficient régional valable pour une période de retour décennale  $(Cr_{10})$  est égale à 2,0 pour la zone « nord » et la zone « sud », 1,1 pour la zone « centre », 0,86 pour la zone « est » et 0,67 pour la zone « ouest ».

Dans un second temps, nous avons également mis en œuvre une approche fondée sur le calage de relations spécifiques à chaque zone homogène. Toutefois, les tests réalisés à titre de comparaison ne montrent aucune amélioration significative des résultats obtenus selon cette démarche.

En matière de gestion des risques torrentiels, la seule connaissance du débit décennal de pointe est rarement suffisante. Dans les Plans de Préventions des Risques, par exemple, les aléas liés aux crues sont en effet évalués sur la base d'un scénario dont la période de retour est a minima centennale. Par ailleurs, pour le dimensionnement des ouvrages protégeant des enjeux importants, la crue de projet retenue est souvent très supérieure à la crue décennale et, parfois, il est également utile de connaître le débit des crues très fréquentes - comme la crue quinquennale - de manière à concevoir des aménagements intégrant tous les intérêts en jeu (vie aquatique, fonctionnement morphodynamique du cours d'eau,...).

Ce constat nous a amené à extrapoler la démarche exposée précédemment à d'autres périodes de retour. L'objectif de cette démarche est de couvrir au final toute la gamme des crues fréquentes à rares, c'est-à-dire dont la période de retour est égale à 5 ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans. Les relations supplémentaires que nous proposons finalement de retenir sont synthétisées ci-dessous (Tableau 16), de même que les cœfficients régionaux associés à ces relations (Tableau 17). La relation relative à la période de retour décennale, et les coefficients utiles à sa mise en œuvre, sont également rappelés pour mémoire.

Relation	Q <sub>calc</sub> Q <sub>est</sub>	ľ2	Proportion calculées con l'interva [2Q/3;3Q/2]	de valeurs nprises dans lle (%) [Q/2;2Q]	Ecart quadratique moyen	Critère de Nash
$Qi_5 = S^{0.85} \times \left(\frac{P_{j5}}{87.5}\right)^{0.87} \times Cr_5$	0.92	0.82	64	86	0.39	0.85
$Qi_{10} = S^{0.85} \times \left(\frac{P_{j10}}{87.5}\right)^{0.9} \times Cr_{10}$	0.92	0.81	65	86	0.39	0.84
$Qi_{20} = S^{0.86} \times \left(\frac{P_{j20}}{87.5}\right)^{0.84} \times Cr_{20}$	0.92	0.82	65	83	0.38	0.84
$Qi_{50} = S^{0.86} \times \left(\frac{P_{j50}}{86}\right)^{0.87} \times Cr_{50}$	0.93	0.82	65	84	0.34	0.85

Tableau 16. Relation entre le débit de pointe de période de retour T ( $Q_{iT}$  en  $m^3/s$ ), la surface (S en  $km^2$ ) et la pluie journalière de même période de retour ( $P_{jT}$  en m). Les valeurs du coefficient régional valables pour une période de retour donnée ( $Cr_T$ ) figurent ci-dessous (Tableau 17).

Secteur	Cr <sub>5</sub>	Cr <sub>10</sub>	Cr <sub>20</sub>	Cr <sub>50</sub>
Nord	1.97	2.01	1.79	1.94
Centre	1.06	1.10	1.03	1.08
Est	0.86	0.86	0.87	0.95
Ouest	0.63	0.67	0.63	0.67
Sud	1.96	2.00	1.94	2.01

Tableau 17. Valeurs prises dans chaque zone homogène par le coefficient régional  $Cr_T$  pour une période de retour T donnée.

Nous aurions pu développer cette approche pour proposer une méthode d'estimation du débit centennal. Toutefois, cette démarche ne nous a pas paru suffisamment pertinente compte tenu de la taille trop réduite des échantillons à notre disposition et, surtout, de l'existence de méthodes d'extrapolation, a priori, bien mieux adaptées.

# 5. Tentative d'amélioration de l'approche en tenant compte de facteurs géographiques locaux

Sur les Pyrénées françaises, des travaux d'actualisation et de régionalisation des méthodes fondées sur des régressions multiples ont conduit à une amélioration sensible de la performance de ces méthodes grâce à la prise en compte de facteurs liés à l'environnement climatologique et à la géomorphologie des bassins. Pour le détail de la méthode, nous renvoyons à la lecture de l'article de Peteuil et al. (2010).

Une démarche similaire a donc été entreprise sur la zone étudiée. Elle a consisté à faire une analyse naturaliste des sites constituant l'échantillon de calage afin de déterminer les éventuels traits géographiques communs à 3 catégories de bassins versants définies telles que le débit calculé est soit sur-estimé, soit conforme, soit sous-estimé par rapport à la valeur estimée par ajustement.

Les critères d'analyse retenus ont porté entre autres sur :

- le nombre d'affluent principaux et secondaires
- l'orientation des bassins par rapport aux perturbations à l'origine des fortes crues
- la forme du bassin versant
- la densité de drainage
- la présence éventuelle de glaciers
- l'altitude moyenne
- ...

Pour chaque catégorie de bassin versants, une classification des sites a été tentée à partir des critères précédents en suivant une démarche itérative. Aucune tendance nette aboutissant à la définition d'une clé de détermination suffisamment robuste n'a toutefois pu être mise en évidence.

## 6. Conclusion et perspectives

A l'issue de ce travail, une base de données hydrologiques actualisées et très complètes a pu être constituée. Cette base de données porte sur 159 bassins versants torrentiels des Alpes françaises, sélectionnés après une longue phase de recueil, de traitement et de critique des données hydrologiques utiles à cette synthèse. Elle rassemble des variables relatives :

- à la morphométrie des bassins versants (surface drainée, périmètre, altitudes caractéristiques, compacité...)
- à l'environnement climatologique (pluies annuelles, pluies extrêmes de différentes périodes de retour, types de temps à l'origine des plus fortes crues,...)
- au réseau hydrographique (nombre d'affluents principaux et secondaires, longueur des cours d'eau, densité de drainage,...)
- à l'orientation des bassins par rapport aux perturbations à l'origine des fortes crues
- à l'occupation des sols
- à la géologie (présence éventuelle de terrains concernés par des transferts karstiques)
- aux débits de pointe de différentes périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans)
- aux durées caractéristiques de crue

Notre travail a ensuite consisté à réaliser une analyse détaillée de la durée caractéristique de crue de chaque bassin versant en fonction de la surface, du débit et de la saison. Aucune tendance évidente n'a toutefois pu être mise en évidence à l'échelle de la zone d'étude. Nous avons donc été dans l'impossibilité de proposer une relation donnant des résultats suffisamment fiables dans un contexte de site non jaugé.

Nous avons par contre pu caler plusieurs relations statistiques multivariéss permettant de prédire les débits de crues de périodes de retour 5, 10, 20 et 50 ans en fonction de variables comme la surface drainée et la pluie. Des relations ne tenant compte que de la surface ont également été établies pour les praticiens souhaitant disposer très rapidement d'un ordre de grandeur des débits de différentes fréquences susceptibles de s'écouler en un point donné d'un bassin.

La performance des modèles les plus élaborés, notamment dans leur version régionalisée, s'avère globalement satisfaisante comparativement au niveau de confiance accordé à d'autres approches du même type. L'intérêt de ces modèles est aussi de couvrir toute la gamme des crues fréquentes à rares. Nous n'avons néanmoins pas engagé d'analyse portant sur les débits de crue de période de retour 100 ans compte tenu de la taille relativement réduite des échantillons à notre disposition et de l'existence de méthodes d'extrapolation mieux adaptées.

Enfin, contrairement à l'objectif initial de ce projet et aux résultats récents obtenus sur les Pyrénées françaises, nos différentes tentatives ne nous ont pas permis d'aboutir à la définition d'une approche robuste et apportant un gain en précision significatif, en prenant en compte des facteurs liés à l'environnement climatologique et à la géomorphologie des bassins.

Pour le département de l'Isère, en particulier, ce projet a permis :

- de vérifier que 3 ensembles hydrologiques composent ce territoire au relief et aux influences climatiques contrastés
- de mettre en lumière que la sensibilité de chacun de ces ensembles au risque de crue diffère selon sa localisation et selon l'origine géographique des averses considérées
- de définir des relations simples et des modèles statistiques multivariés applicables pour estimer les débits de crues de périodes de retour fréquentes à rares, et ce avec un niveau de confiance satisfaisant
- ces modèles sont utilisables par des praticiens spécialistes ou non en hydrologie, particulièrement dans un contexte de bassin versant non jaugé

Au-delà des résultats obtenus, cette base de données nous semble pouvoir encore être exploitée, soit pour faire des synthèses plus locales, soit pour engager des analyses plus détaillées sur les stations disposant des plus longues durées d'observation. On peut aussi imaginer revisiter les estimations des quantiles réalisées au niveau de certaines stations en ayant recours à des méthodes d'ajustement différentes. Il nous paraît également envisageable d'appliquer d'autres démarches de régionalisation en s'appuyant sur le savoir-faire développé par les équipes du Cemagref de Lyon.

nfin, il nous paraît indispensable d'approfondir l'analyse réalisée sur les volumes s'écoulant à l'exutoire des bassins, compte tenu de l'influence directe de cette variable sur les volumes solides charriés en période de crue par les cours d'eau de montagne.

## 7. Bibliographie

Cunnane, C., 1979. A note on the Poisson assumption in partial duration series models. Water Resources Research, 15(2), 489-494.

Djerboua, A., 2001. Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les alpes franco-italiennes. Prévision quantitative des pluies journalières par la méthode des analogues. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, LTHE-INPG, 422 p.

Finet, T., 2007. Atlas des précipitations extrêmes sur les Alpes françaises. Mémoire de stage réalisé au service de prévision des crues des Alpes du nord de la DDE38. 11 pages.

Galéa, G. et Prudhomme, C., 1997, Notions de base et concepts utiles pour la compréhension de la modélisation synthétique des régimes de crue des bassins versants au sens des modèles Qdf. Revue des Sciences de l'Eau, 1, p. 83-101.

Gottardi, F., 2009. Estimation statistique et réanalyse des précipitations en montagne. Utilisation d'ébauches par types de temps et assimilation de données d'enneigement. Application aux grands massifs montagneux français. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, LTHE-INPG, 261 p.

Laborde, J. P. et Mouhous, N., 1998. Notice d'utilisation di logiciel Hydrolab. 43 pages

Peteuil, C., Carladous, S. et Mathys, N., 2010. La méthode ANETO : un outil pour la prédétermination des débits de crue des bassins versants torrentiels des Pyrénées françaises. SET, n°02, 116-127.

Sauquet, E., 2009. Analyse statistique des crues : éléments techniques. 16 pages.

Spearman, C., 1904. The proof and measurement of association between two things. Amer. J. Psychol. 72–101, 15 pp.

## Remerciements

Les auteurs ont à cœur de remercier toutes les personnes qui par leurs conseils ou leur collaboration ont permis à ce projet d'aboutir, en particulier : Alain BRISSON (Météo France/DIR Centre Est), Abdelatif DJERBOUA, Frederico GARAVAGLIA (EDF-DTG), Alain GAUTHERON (DDT38-SPC), Frédéric GOTTARDI (EDF-DTG), Olivier MARCO (ONF-RTM38), Charles OBLED (INPG-LTHE), Emmanuel PAQUET (EDF-DTG) et Eric SAUQUET (Cemagref).

Annexes

Annexe 1. Liste des stations hydrométriques constituant l'échantillon de calage

Nom de la station	Code de la station	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Zone homogène
Le Syriex à la Motte-du-Caire	X0716210	3.3	Centre
La Barberolle à Barbières [Pont des Ducs]	V4015030	9.5	Centre
Le Verdon à Allos [La Foux]	X2002020	9.8	Centre
Le torrent de Chasse à Villars-Colmars [La Moulière]	X2015210	11.3	Centre
Le Maraize au Saix	X1027010	15.3	Centre
Le Grand Vallon à Grasse [La Paoute]	Y5535420	22.6	Centre
La Ribière à Agnières-en-Dévoluy [La Combe]	W2216410	23.6	Centre
La Gresse à Gresse-en-Vercors [Pont Jacquet]	W2804020	24.1	Centre
Le torrent de Jalorgues à Saint-Dalmas-le-Selvage	Y6205810	24.8	Centre
Le Furon à Engins	W3005010	32.3	Centre
Le Baux à Rougon [Pont de la D 952]	X2315010	34.9	Centre
Le Bouyon à Bouyon [La Clave]	Y6435810	37.1	Centre
La Cagne à Saint-Jeannet	Y5625010	38.7	Centre
La Souloise à Saint-Étienne-en-Dévoluy [2]	W2215030	39.1	Centre
La Gervanne à Plan-de-Baix	V4275020	39.9	Centre
L'Archiane à Treschenu-Creyers [Menée]	V4226010	45.7	Centre
La Siagnole à Mons [Le Moulin]	Y5515410	50.0	Centre
La Neyrette à Saint-Disdier [Moulin de Nayrette]	W2216420	51.5	Centre
La Véore à Chabeuil [Pont des Faucons]	V4034010	62.0	Centre
Le Jabron à Comps-sur-Artuby [Pont de l'Evescat]	X2305010	66.9	Centre
Le Meaudret à Méaudre	W3315010	73.8	Centre
Le Jabron à Souspierre	V4455010	82.2	Centre
La Bévéra à Sospel [Pont D 2204]	Y6635010	82.6	Centre
Le Loup à Gréolières [Le Foulon]	Y5615040	92.0	Centre
La Cagne à Cagnes-sur-Mer	Y5625020	94.1	Centre
L'Artuby à la Bastide [Taulane]	X2414030	102.0	Centre
La Gervanne à Beaufort-sur-Gervanne	V4275010	103.6	Centre
L'Endre à Callas [Gandy]	Y5305030	104.9	Centre
L'Artuby à la Martre [Plan d'Anelle]	X2414010	119.1	Centre
la Tinee à Saint Etienne de Tinee	EDF 0309	122.6	Centre
La Souloise à Saint-Disdier [Les Roures]	W2215040	136.6	Centre
l'Issole à Pont de Mourefrey	EDF 0252	140.4	Centre
L'Issole à Saint-André-les-Alpes [Mourefrey]	X2114010	140.4	Centre
Le Toulourenc à Malaucène [Veaux]	V6035010	143.5	Centre
Le Var à Villeneuve-d'Entraunes [Pont d'Enaux]	Y6002030	143.5	Centre
La Souloise à Saint-Disdier [Pont de la Baume]	W2215020	147.4	Centre
Le Loup à Tourrettes-sur-Loup	Y5615050	156.0	Centre
La Vaïre à Annot [Pont des Scaffarels]	Y6035610	157.0	Centre
la Souloise à l'Infernet	EDF 0057	162.2	Centre
Le Bes à la Javie [Esclangon-Péroure]	X1225010	163.3	Centre
La Tinée à Saint-Étienne-de-Tinée [Pont de la Belloire]	Y6204020	169.7	Centre
La Siagne à Callian [Ajustadoux]	Y5514040	174.1	Centre
la Bourne aux Jarrands	EDF 0027	178.2	Centre
L'Endre au Muy [La Combe]	Y5305010	190.1	Centre
La Drôme à Luc-en-Diois	V4214010	196.5	Centre
L'Aygues à Rémuzat	V5304010	200.4	Centre
Le Jabron à Montélimar	V4455020	201.1	Centre
Le Loup à Tourrettes-sur-Loup [Les Vallettes]	Y5615010	212.8	Centre
La Siagne à Montauroux [Veyans]	Y5514010	224.5	Centre
Le Bez à Châtillon-en-Diois	V4225010	225.4	Centre
Le Var à Guillaumes [Pont des Roberts]	Y6012010	277.8	Centre

Nom de la station	Code de la	Surface du bassin	Zone
	station	versant (km <sup>2</sup> )	homogene
Le Petit Buech à Veynes	X1025020	289.9	Centre
Le Loup à Villeneuve-Loubet [Moulin du Loup]	Y5615030	295.8	Centre
L'Asse à Beynes [Chabrières]	X1424010	374.7	Centre
l'Asse à Clue de Chabrieres	EDF 0277	374.7	Centre
L'Estéron au Broc [La Clave]	Y6434010	443.0	Centre
Le torrent de Malcros à Champoléon	W2035010	0.8	Est
Le Riou de Crachet à Saint-Paul [Col de Vars]	X0415410	3.4	Est
Le torrent de Clapouze à Jausiers [Restefond]	X0426210	10.6	Est
La Jonche à Pierre-Châtel	W2405020	10.7	Est
la Bissorte à Bissorte-Amont	EDF 3471	11.5	Est
Pleynet à Fond de France / Pleynet	EDF 0005	12.6	Est
Torrent de Pissevieille à Pissevieille	EDF 3315	16.1	Est
Le Petit Tabuc au Monêtier-les-Bains [Grand Pré]	X0015610	18.8	Est
Le torrent de Pra-Reboul à Saint-Crépin [L'Adroit]	X0145020	20.0	Est
Le torrent d'Ancelle à Ancelle	W2025810	24.9	Est
La Navette à la Chapelle-en-Valgaudémar [Oulles du Diable]	W2107010	30.4	Est
Le Couleau à Saint-Clément-sur-Durance [Moulin]	X0305010	31.4	Est
l'Isere à Val d'Isere	EDF 3302	45.7	Est
La Jonche à la Mure	W2405010	47.2	Est
L'Arvan à Saint-Jean-d'Arves [La Villette]	W1055020	57.4	Est
Le Gelon à la Rochette	W1105030	62.8	Est
Doron de Belleville au Bettaix	EDF 3366	66.6	Est
La Roizonne à la Valette [La Rochette]	W2335210	70.6	Est
l'Arveyron de la Mer de Glace à Bois du Bouchet	EDF 3012	80.3	Est
La Guisane au Monêtier-les-Bains [Le Casset]	X0015010	82.1	Est
L'Arve à Chamonix-Mont-Blanc [Aux Lyonnais]	V0002019	91.9	Est
L'Avance à Remollon [Malcol]	X0516010	101.1	Est
Veneon aux Etages	EDF 0111	120.2	Est
La Luye à Jarjayes [Les Genstriers]	X0605010	123.1	Est
La Bonne à Entraigues [Pont Battant]	W2314010	141.8	Est
L'Eau d'Olle à Allemond [La Pernière]	W2755010	174.3	Est
La Durance à Val-des-Prés [Les Alberts]	X0010010	193.3	Est
L'Arve à Chamonix-Mont-Blanc [Pont des Favrands]	V0002010	200.5	Est
la Romanche à Chambon-Amont	EDF 0105	222.8	Est
La Romanche à Mizoën [Chambon amont]	W2714010	222.8	Est
L'Arc à Lanslebourg-Mont-Cenis	W1014010	322.8	Est
La Bornette à Doussard	V1235410	10.4	Nord
L'Ugine à Saint-Paul-en-Chablais	V0316610	24.6	Nord
L'Ire à Doussard	V1235210	26.8	Nord
La Leysse à Nances [Novalaise]	V1535210	27.5	Nord
Le Laudon à Saint-Jorioz	V1237410	28.8	Nord
La Nephaz à Rumilly	V1258410	29.4	Nord
Le Redon à Margencel	V0345210	29.7	Nord
Le Tillet à Aix-les-Bains	V1305210	33.3	Nord
L'Aire à Saint-Julien-en-Genevois [Thairy]	V0245610	44.4	Nord
Le Flon à Traize [Cottin]	V1446210	45.2	Nord
Foron à Taninges	EDF 3064	57.8	Nord
La Vence à Proveysieux [Pont de l'Oulle]	W3015010	65.3	Nord
La Chaise à Ugine [Pont de Soney]	W0425010	78.3	Nord
L'Hyères à Chambéry [Charrière-Neuve]	V1316440	83.6	Nord
Le Guiers Mort à Saint-Laurent-du-Pont	V1504010	92.2	Nord
La Leysse à la Ravoire	V1315050	95.3	Nord

Le Guiers Vif à Saint-Christophe-sur-Guiers [Pont Saint-Martin]         V1515010         12.0.4         Nord           Le Sieroz à Aix-les-Bains         V132000         1328         Nord           Fier à Thones         EDF 3104         147.0         Nord           La Fière à Argonay         V1225010         155.2         Nord           La Menoga è Vetraz-Monthoux         V0235010         160.9         Nord           La Menoga è Vetraz-Monthoux         V0235010         160.9         Nord           La Dranse d'Abondance à Vacheresse         V0314020         165.7         Nord           Le Suss à Manièses, Fond des Dounttes)         V1114010         186.3         Nord           Le Chéran à Allèves [La Charniaz]         V1214010         228.9         Nord           Le Chéran à Allèves [La Charniaz]         V135020         28.9         Nord           Le Coramy à Mazangues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest          Le Sancia A Saint-Romain-de-Surieu         V3332010         20.0         Ouest           Le Asonia A Saint-Romain-de-Surieu         V3332010         20.0         Ouest         12.4           Le Asonia A Saint-Romain-de-Surieu         V1252510         3.0         Ouest           La Saint -Romin-de-Surieu         V1252010<	Nom de la station	Code de la station	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Zone homogène
Le Sierroz à Aix-les-Bains         V122020         132.8         Nord           Fier à Thones         EDF 3104         147.0         Nord           La Filkre à Argonay         V1225010         155.2         Nord           La Filkre à Argonay         V1225010         155.2         Nord           La Drause d'Abondance à Vacheresse         V0314020         165.7         Nord           La Drause d'Abondance à Vacheresse         V0314020         165.7         Nord           Lex Uses à Musièges [Pont des Douatus]         V1114010         221.3         Nord           Le Aryà Ugine (Mouin Ravier)         W0414010         221.3         Nord           Le Chéran à Allèves [La Charniaz]         V125010         261.4         Nord           Le Carany à Mazagues [Vation d'Agas]         V5105020         15.9         Ouest           Le Carany à Mazagues [Vation d'Agas]         V5105020         15.9         Ouest           Le Gaudre du Abuerse         V3332010         200         Ouest         Le Gaudre du Abuerse         V332010         30.0         Ouest           Le Gaudre du Abuerse         V1252010         74.9         Ouest         L'Arun à Mouriès         V4302010         44.5         Ouest           Le Gaudre du Abuerse         V1252010	Le Guiers Vif à Saint-Christophe-sur-Guiers [Pont Saint-Martin]	V1515010	120.4	Nord
File à Thones         FDF 3104         1470         Nord           La Filtère à Argonay         V1225010         1552         Nord           La Drause d'Abondance à Vacheresse         V0314010         1557         Nord           La Drause d'Abondance à Vacheresse         V0314020         1657         Nord           La Drause d'Abondance à Vacheresse         V0314020         1657         Nord           La Susse à Musièges [Pont des Douattes]         V1114010         186.3         Nord           Le Susse à Musièges [Pont des Douattes]         V1114010         228.9         Nord           Le Fier À Dingy Saint Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Fier À Lingy Saint Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Gramy à Mazangues [Vallon d'Agas]         Y1515020         26.0         Nord           Le Same à Saim-Romain-de-Surieu         V3324010         20.9         Ouest           La Same à Saim-Romain-de-Surieu         V3335010         30.1         Ouest           Le Brégioux à Aubignan         V6155510         39.3         Ouest           Le Brégioux à Aubignan         V6155510         39.3         Ouest           L'Aran à Monre-Gorie-en-Valdaine         V125200         50.3         Ouest	Le Sierroz à Aix-les-Bains	V1325020	132.8	Nord
La Filière à Argonay         V1225010         155.2         Nord           La Menoga V Kitraz-Monthoux         V0314010         157.9         Nord           La Menoga V Kitraz-Monthoux         V0235010         160.9         Nord           La Menoga V Kitraz-Monthoux         V0235010         160.9         Nord           La Menoga V Kitraz-Monthoux         V0314020         165.7         Nord           Le Stes à Musièges [Pont des Douates]         V1114010         186.3         Nord           LArya Su Zine (Moulin Ravier)         W0414010         221.3         Nord           Le Fier à Dingy-Saint-Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Chéran à Allèves [La Charnizz]         V135020         288.9         Nord           Le Carany à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Caudre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4335010         30.0         Ouest           La Sanne à Saint-Romaine de-Surieu         Y3335010         30.0         Ouest           L'Arian à Saint-Geoire-en-Valdaine         V152510         39.3         Ouest           L'Araè A Durrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Araè A Durrières         Y402020         50.3         Ouest	Fier à Thones	EDF 3104	147.0	Nord
La Dranse d'Abondance à Vacheresse         V0314010         157.9         Nord           La Meneg à Vernz-Monthoux         V0235010         160.9         Nord           La Dranse d'Abondance à Vacheresse         V0314020         165.7         Nord           Les Usses à Musièges (Pont des Douattes)         V1114010         186.3         Nord           L'Arly à Ugine (Moutin Ravier)         W0414010         221.3         Nord           Le Cheran à Allèves (La Charniaz)         V1215010         261.4         Nord           Le Cheran à Allèves (La Charniaz)         V1255010         261.4         Nord           Le Cheran à Allèves (La Charniaz)         V1255010         261.4         Nord           Le Dolon à Revel-Tourdan         V3335010         30.1         Ouest           Le Dolon à Revel-Tourdan         V3335010         30.1         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neurl'a Mouries         V4305720         30.6         Ouest           L'Ana à Saint-Goire en-Valdaine         V152510         39.3         Ouest           L'Anc à Pourrières         V4002010         448.5         Ouest           L'Anc à Pourrières         V4002010         448.5         Ouest           L'Anc à Pourrières         V4002010         74.5         Ouest </td <td>La Filière à Argonav</td> <td>V1225010</td> <td>155.2</td> <td>Nord</td>	La Filière à Argonav	V1225010	155.2	Nord
La Menoge à Vétraz-Monthoux         V0235010         160.9         Nord           La Dranse d'Abondance à Vacheresse         V0314020         165.7         Nord           Le SUsse à Musièges (Pont des Douattes)         V1114010         186.3         Nord           Le Ardy à Ugine (Moulin Ravier)         W0414010         221.3         Nord           Le Fier à Alleves [La Chamiaz]         V1214010         228.9         Nord           Le Chéra à Alleves [La Chamiaz]         V1255010         26.1.4         Nord           Le Caramy à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Corun à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Bolon à Revel-Tourdan         V3335010         30.1         Ouest           Le Bolon à Revel-Tourdan         V3355010         30.1         Ouest           Le Andre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4405720         30.6         Ouest           L'Aine à Saint-Geoire-en-Valdaine         V1525410         39.1         Ouest           Le Aine à Saint-Geoire-en-Valdaine         V1525410         39.1         Ouest           L'Aine à Nonrônon         V6155610         39.3         Ouest         L'Auco à Mornônon         V615510         7.4         Ouest	La Dranse d'Abondance à Vacheresse	V0314010	157.9	Nord
La Dranse d'Abondance à Vacheresse         V0314020         165.7         Nord           Les Usses à Musièges IPont des Douatets]         V1114010         186.5         Nord           LArdy à Ugine [Moulin Ravier]         W0414010         221.3         Nord           Le Fier à Dingy-Saint-Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Chéran à Alleves [La Charniaz]         V1255010         261.4         Nord           La Leysse à la Motte-Servolex [Pont du Tremblay]         V1315020         288.9         Nord           Le Dolon à Revel-Tourdan         V3324010         20.0         Ouest           Le Gaudre du Mac-Neur J Mouriès         Y1305720         30.6         Ouest           Le Gaudre du Mac-Neur J Mouriès         Y1305720         30.6         Ouest           Le Gaudre du Mac-Neur J Mouriès         Y1402010         48.5         Ouest           Le Gaudre du Mac-Neur J Mouriès         Y1402010         48.5         Ouest           Le Gaudre du Mac-Neur J Mouriès         Y1402010         48.5         Ouest           Le Gaudre du Mac-Neur J Mouriès         Y1402010         48.5         Ouest           Le Jauca à Vietro-Hadine         Y175200         50.3         Ouest           L'Arez à Pourrières         Y4002010         74.5	La Menoge à Vétraz-Monthoux	V0235010	160.9	Nord
Les Usses à Musièges [Point des Douattes]         V1114010         186.3         Nord           L'Arty à Ugine [Moulin Ravier]         W0414010         221.3         Nord           Le Fier à Ding-Saint-Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Chéran à Allèves [La Charniaz]         V1255010         261.4         Nord           La Leysse à la Motte-Servoles [Pont du Tremblay]         V1315020         28.8         Nord           Fier à Argonay         EDF 318         406.9         Nord           Le Cound Revel-Tourdan         V3324010         20.9         Ouest           Le Sance à Saint-Romain-de-Surieu         V3335010         30.1         Ouest           Le Gaurte du Mas-Neuri à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           Le Brégoux à Aubignan         V6155610         30.3         Ouest           Le Brégoux à Aubignan         V6155610         30.3         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         7.43         Ouest           L'Avea à Morneiree         V125202         50.3         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         7.43         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         7.40         Ouest           L'Auzon à	La Dranse d'Abondance à Vacheresse	V0314020	165.7	Nord
L'Ardy à Ugine [Moulin Ravier]         W0414010         221.3         Nord           Le Fier à Dingy-Saint-Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Cherna à Alleves [La Charniaz]         V1255010         261.4         Nord           La Leysse à la Motte-Servolex [Pont du Tremblay]         V1315020         288.9         Nord           Le Carany à Mazagues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Carany à Mazagues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Carany à Mazagues [Vallon d'Agas]         Y5105020         30.6         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mourès         Y4305720         30.6         Ouest           L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine         V1525410         39.1         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         445.         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y400200         73.0         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y40100         16.1.7         Ouest           La Veça à Pourrières         Y4014000         16.1.7         Ouest           La Veça à Dianen Exceque         Y3235101         128.7         Ouest           La Veça à Salernes [Boulodrome]         Y5115010         128.7         Oue	Les Usses à Musièges [Pont des Douattes]	V1114010	186.3	Nord
Le Fier à Dingy-Saint-Clair         V1214010         228.9         Nord           Le Cheran à Allèves [La Charniaz]         V1255010         261.4         Nord           La Leysse à la Motte-Servolex [Pont du Tremblay]         V1315020         288.9         Nord           Fier à Argonay         EDF 3118         406.9         Nord           Le Caramy à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Sanne à Saint-Romain-de-Surieu         V3333010         20.0         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           Le Brégoux à Aubignan         V6155610         30.3         Ouest           Le Brégoux à Aubignan         V6155610         30.3         Ouest           L'Auzo a Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           L'Auzo a Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Véga à Pont-Évêque         V322420         81.1         Ouest           La Véga à Pont-Évêque         V325100         17.4         Ouest           La Véga à Pont-Évêque         V3225420         81.1         Ouest           La Avéga à Saternes [Boulodrome]         Y5115010         162.7         Ouest           La Avéga	L'Arlyà Ugine [Moulin Ravier]	W0414010	221.3	Nord
Le Chéran à Allèves [La Charniaz]         V1255010         261.4         Nord           La Leysse à la Motte-Servoles [Pont du Tremblay]         V1315020         288.9         Nord           Le Carany à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Carany à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Corany à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         10.9         Ouest           Le Carany à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         30.0         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mourise         Y4305720         30.6         Ouest           L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine         V1525410         39.1         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         44.5         Ouest           L'Arca à Dourrières         Y4002010         44.5         Ouest           L'Arca à Dourrières         Y4002010         74.9         Ouest           L'Arca à Mornoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Vega à Tom-fivêque         V325420         81.1         Ouest           La Leya à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         162.7         Ouest           La Bresque à Salernes [Boulodrome]         Y5115010         167.1	Le Fier à Dingy-Saint-Clair	V1214010	228.9	Nord
La Leysse à la Motte-Servolex (Pont du Tremblay)         V1315020         288.9         Nord           Fier à Argonay         EDF 3118         406.9         Nord           Le Caramy à Mazaugues (Vallon d'Agas)         Y5105020         15.9         Quest           Le Dolon à Revel-Tourdan         V3324010         20.9         Quest           La Banne à Saint-Gonir-de-Suricu         V3335010         30.1         Quest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4305720         30.6         Quest           L'Ainan à Saint-Goire-en-Valdaine         V1525410         39.1         Quest           L'Ara à Abuignan         V6155610         39.3         Quest           L'Ara à Normòiron         V6155610         74.9         Quest           L'Arazon à Mormoiron         V6125010         74.9         Quest           L'Avazon à Mormoiron         V6125010         74.9         Quest           L'Avazon à Normoiron         V6125010         17.4         Quest           L'Avazon à Mormoiron         V6125010         17.4         Quest           L'Avazon à Nileneuve         X1335010         171.2         Quest           L'Avazon à Vileneuve         X1335010         172.6         Quest          La Vesonne à Estrablin [Pont de Bourge	Le Chéran à Allèves [La Charniaz]	V1255010	261.4	Nord
Fier à Argonay         EDF 3118         406-9         Nord           Le Caramy à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         15.9         Ouest           Le Dolon à Revel-Tourdan         V3324010         20.9         Ouest           La Same à Saint-Romain-de-Surieu         V3335010         30.1         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           Le Arde a Aubignan         V6155610         39.3         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Vega à Pont-Évêque         V3225420         81.1         Ouest           La Lavé à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           L'Huveaune à Roquevaire [2]         Y4414030         161.7         Ouest           Le Cargeua à Sollies-Pont         Y44604020         178.0         Ouest           La Véore à Beaumont-lès-Valence [Laye]	La Levsse à la Motte-Servolex [Pont du Tremblav]	V1315020	288.9	Nord
Le Carany à Mazaugues [Vallon d'Agas]         Y5105020         153         Ouest           Le Dolon à Revel-Tourdan         V3324010         20.9         Ouest           La Sanne à Saint-Romain-de-Surieu         V3335010         30.1         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           L'Arnan à Saint-Romain-de-Surieu         V1525410         39.1         Ouest           Le Brégoux à Aubignan         V6155610         39.3         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           La Véga à Pont-Éxèque         V3225420         81.1         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         17.2         Ouest           Le Lazon à Villeneuve         X1335010         171.2         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         Y315010         172.6         Ouest           Le Auzon à Aileneuve         X1335010         177.6         Ouest           La Saore à	Fier à Argonay	EDF 3118	406.9	Nord
Le Dolon à Revel-Tourdan         V3324010         20.9           Le Bolon à Revel-Tourdan         V3332010         30.1         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neut à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neut à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           L'Anca à Saint-Goire-en-Valdaine         V1525410         39.1         Ouest           Le Brégoux à Aubignan         V6155610         39.3         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Vega à Pont-Évèque         V3225420         81.1         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Haye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         162.1         Ouest           Le Bresque à Salernes [Boulodrome]         Y5115010         162.1         Ouest           Le Gapeau à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           La Vesone à Estrablin [Pont de Bourgeat]         Y3215010         228.0         Ouest           Le Gapeau à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           La Vesore à B	Le Caramy à Mazaugues [Vallon d'Agas]	Y5105020	15.9	Ouest
La Sance à Saint-Romain-de-Surieu         V3335010         30.1         Ouest           Le Gaudre du Mas-Neuf à Mouriès         Y4305720         30.6         Ouest           L'Ainan à Saint-Romain-de-Surieu         V3335010         39.1         Ouest           L'Ainan à Saint-Romain-de-Surieu         V152510         39.3         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Arc à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Vega à Pont-Évéque         V3225420         8.1.1         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         162.1         Ouest           La Bareague à Salernes [Bouldorone]         Y515010         162.1         Ouest           Le Carany à Vilnenuve         X1335010         171.2         Ouest           Le Carany à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           Le Carany à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]         Y5105010         207.6         Ouest	Le Dolon à Revel-Tourdan	V3324010	20.9	Quest
In lamb a bink bink a	La Sanne à Saint-Romain-de-Surieu	V3335010	30.1	Quest
La concert of interior and other interior         1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Le Gaudre du Mas-Neuf à Mouriès	Y4305720	30.6	Quest
Drimin a dame domine of vision         1112-1710         311.         Ouest           L'Are à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Are à Pourrières         Y4002010         48.5         Ouest           L'Are à Pourrières         Y4002010         74.9         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Véga à Pont-Évêque         V3225420         81.1         Ouest           La Vega à Pont-Évêque         V3225420         81.1         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Breque à Salernes [Boulodrome]         Y5115010         162.1         Ouest           Le Lauzon à Villeneuve         X1335010         171.2         Ouest           Le Caramy à Villeneuve         X1353010         172.6         Ouest           Le Gapeau à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           Le Sale achases [Pont des Fées]         Y5105010         207.6         Ouest           La Sole à Cabasse [Pont des Fées]         Y5105010         228.0         Ouest           La Galaure à Saint-Uze         V3614010         232.7         Ouest           La Saler à Pont-Évêque [Cancan	L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine	V1525410	39.1	Quest
Displant of property of the second	Le Brégoux à Aubignan	V6155610	393	Quest
Lifter à Saint-Victor-de-Cessieu         V1725020         50.3         Ouest           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Véga à Pont-Évêque         V3225420         81.1         Ouest           La Lye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Bresque à Salernes [Boulodrome]         Y5115010         161.7         Ouest           Le Lauzon à Villeneuve         X1335010         171.2         Ouest           Le Cason à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           Le Gapeau à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           Le Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]         Y5105010         207.6         Ouest           La Gère à Pont-Évêque [Cancane]         V3224010         232.7         Ouest           La Gère à Pont-Évêque [Cancane]         V3224010         233.8         Ouest           La Gère à Pont-Évêque [Cancane]         V3224010         293.8         Ouest           Le ruisseau du Vaubarnier à Collobrières         Y4617010         32.3         Sud           Le ruisseau du Vaubarnier à Collobrières         Y4617010         5.8         Sud           Le ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]         Y4616010<	L'Arc à Pourrières	¥4002010	48.5	Quest
Entrementation         1112020         0000           L'Auzon à Mormoiron         V6125010         74.9         Ouest           La Véga à Pont-Évêque         V3225420         81.1         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           L'Huveaune à Roquevaire [2]         Y4414030         161.7         Ouest           La Bresque à Salernes [Boulodrome]         Y5115010         162.1         Ouest           Le Lauzon à Villeneuve         X1335010         171.2         Ouest           Le Aveson à Estrablin [Pont de Bourgeat]         V3215010         172.6         Ouest           Le Gapeau à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           La Vésor à Beaumont-lès-Valence [Laye]         V4034020         189.9         Ouest           La Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]         Y5106610         228.0         Ouest           La Gère à Pont-Évêque [Cancane]         V3224010         233.7         Ouest           La Gère à Pont-Évêque [Cancane]         V3224010         293.8         Ouest           La Bourgein-Jallieu         V1734010         302.9         Ouest           La Gère à Pont-Évêque [Cancane]         Y405410         3.3         Sud	L'Hien à Saint-Victor-de-Cessieu	V1725020	50.3	Quest
International         1715         1715         1715           La Véga Pont-Évéque         V3225420         81.1         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Laye à Limans [Les Ybourgues]         X1515010         128.7         Ouest           La Bresque à Salernes [Bouldorome]         Y5115010         162.1         Ouest           Le Lauzon à Villeneuve         X1335010         171.2         Ouest           Le Carpan à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           Le Gapeau à Solliès-Pont         Y4604020         178.0         Ouest           La Scome à Estrablin [Pont de Bourgeat]         V3215010         27.6         Ouest           La Gaure à Saint-Uze         V4034020         189.9         Ouest           La Gaure à Saint-Uze         V3616010         228.0         Ouest           La Gàre à Pont-Évéque [Cancane]         V3224010         238.8         Ouest           La Gaure à Saint-Uze         V3614010         232.7         Ouest           La Gaure à Saint-Uze         V3614010         232.7         Ouest           La Gaure à Saint-Uze         V3614010         232.7         Ouest           La Bourbre à Bourgoin-Jall	L'Auzon à Mormoiron	V6125010	74.9	Quest
In Tegler Vinit       1525 15010       128.7       Ouest         La Layeà Limans [Les Ybourgues]       X1515010       128.7       Ouest         L'Huveaune à Roquevaire [2]       Y4414030       161.7       Ouest         La Bresque à Salernes [Boulodrome]       Y5115010       162.1       Ouest         Le Lauzon à Villeneuve       X1335010       171.2       Ouest         La Vesonne à Estrablin [Pont de Bourgeat]       V3215010       172.6       Ouest         Le Gapeau à Solliès-Pont       Y4604020       178.0       Ouest         Le Caramy à Vilnenuve       X1335010       277.6       Ouest         Le Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]       Y5105010       207.6       Ouest         La Galaure à Saint-Uze       V3614010       232.7       Ouest         La Galaure à Saint-Uze       V3614010       232.7       Ouest         La Bourbre à Bourgoin-Jallieu       V1734010       302.9       Ouest         Le ruisseau du Vaubarnier à Collobrières       Y4617810       1.6       Sud         Le ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]       Y4617610       5.8       Sud         Le ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]       Y4616010       8.5       Sud         Le ruisseau des Maurets à Co	La Véga à Pont-Évêque	V3225420	81.1	Quest
La Lay Car LinkaThis is a first in the second s	La Lave à Limans [Les Vhourgues]	X1515010	128.7	Quest
La Bresque à Salernes [Boulodrome]1441400161.1OuestLa Bresque à Salernes [Boulodrome]Y5115010162.1OuestLe Lauzon à VilleneuveX1335010171.2OuestLa Vesonne à Estrablin [Pont de Bourgeat]V3215010172.6OuestLe Gapeau à Solliès-PontY4604020178.0OuestLe Véore à Beaumont-lès-Valence [Laye]V4034020189.9OuestLe Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]Y5105010207.6OuestL'Issole à Cabasse [Pont des Fées]Y5106610228.0OuestLa Glaure à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gère à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46167105.8SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Placcassier]Y56052208.7SudLa Bauille à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [Gour de l'Astre]Y46158109.2Le ausseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y54052109.3SudLe Valescure à GrinaudSudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y54052109.3SudLe Valescure à Collobrières [Gour de l'Astre]Y54052109.3SudLe Valescure à Collobrières [Saint	L'Huveaune à Roquevaire [2]	X1313010 X4414030	120.7	Quest
La Discipie à Diarités [Lorindonie]       17112 [Ouest]         Le Lauzon à Villeneuve       X1335010       171.2         La Vesone à Estrablin [Pont de Bourgeat]       V3215010       172.6         Le Gapeau à Solliès-Pont       Y4604020       178.0       Ouest         Le Gapeau à Solliès-Pont       Y4604020       178.0       Ouest         Le Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]       Y5105010       207.6       Ouest         L'Issole à Cabasse [Pont des Fées]       Y5106010       232.7       Ouest         La Gère à Pont-Évêque [Cancane]       V3224010       293.8       Ouest         L'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]       Y4022010       295.4       Ouest         L'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]       Y4022010       295.4       Ouest         Le ruisseau du Vaubarnier à Collobrières       Y4617810       1.6       Sud         Le ruisseau du Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]       Y4617610       3.8       Sud         Le ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]       Y4616010       8.5       Sud         Le ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]       Y4616010       8.5       Sud         Le ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]       Y4616010       8.5       Sud         Le ruisseau des M	La Bresque à Salernes [Boulodrome]	V5115010	162.1	Quest
Le LaboriATJ5010171.6OuestLa Vesonne à Estrablin [Pont de Bourgeat]V3215010172.6OuestLe Gapeau à Solliès-PontY4604020178.0OuestLa Véore à Beaumont-lès-Valence [Laye]V4034020189.9OuestLe Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]Y5105010207.6OuestL'Issole à Cabasse [Pont des Fées]Y5106610228.0OuestLa Galaure à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gere à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Bouillide à ValbonneY56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y46162012.1La Bouillide à ValbonneY560581013.4SudLa Brague à BiotY560581013.4SudLe Reai Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Valmasque à BiotY56051013.4SudLa Brague à BiotY540521013.4SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y540521037.0Sud <td< td=""><td>Le Lauron à Villeneuve</td><td>X1335010</td><td>102.1</td><td>Quest</td></td<>	Le Lauron à Villeneuve	X1335010	102.1	Quest
La Vesonic a Estadari [Fond & Bourgear]Y360500172.0OtestLe Gapeau à Solliès-PontY4604020178.0OuestLa Véore à Beaumont-lès-Valence [Laye]V4034020189.9OuestLe Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]Y5105010207.6OuestL'Issole à Cabasse [Pont des Fées]Y5106610228.0OuestLa Galaure à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gère à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Bargue à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Batailler à Bornes-les-Minosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe valseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y46162012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Valmasque à BiotSud1461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y54052109.3SudLe Reál Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621013.4SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543021037.0SudLa Verne	La Vesonne à Estrablin [Pont de Bourgeat]	V3215010	171.2	Quest
Le Orgena a Bolinser Ont17600 OtestLa Véore à Beaumont-lès-Valence [Laye]V4034020189.9UestLe Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]Y5105010207.6Utssole à Cabasse [Pont des Fées]Y5106610228.0OuestLa Galaure à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gère à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe misseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLa Bouillide à ValbonneY56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46162012.1SudLa Buillite à Bornes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe valescure à Collobrières [Gour de l'Astre]Y46162012.1SudLa Garde à GrimaudY54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y46162012.1La Bargue à BiotY56052109.3Sud1.4SudLe Valenseque à Biot13.4SudLa Bargue à Châteauneuf-Grasse [Iascassier]Y56052109.3Sud1.4SudLa Bouilliter à Collobrières [Gour de l'Astre]Y46162012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4Sud1	Le Gapeau à Solliès-Pont	V4604020	172.0	Quest
La Vore a Beambonite's Valence [Lays]V405020105.300estLe Caramy à Vins-sur-Caramy [Les Marcounious]Y5105010207.6OuestL'Issole à Cabasse [Pont des Fées]Y5106610228.0OuestLa Gaitare à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gère à Pont-Évèque [Cancane]V3224010295.4OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46176105.8SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Bouillide à ValbonneY56052208.7SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudY544501018.0SudLe Reial Collobrières [Sainte-Anne]Y61652037.0SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543521037.0SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543521037.0SudLa Verne à la Môle [Les Ca	La Véore à Beaumont-lès-Valence [Lave]	V4034020	178.0	Quest
La Catality a Vilsesure and y Lee Matedunious15105010201.0L'Issole à Cabasse [Pont des Fées]Y5106610228.0OuestLa Galaure à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gère à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46176105.8SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Bouillide à ValbonneY56052208.7SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y560581013.4SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y543501037.0SudLa Garde à GrimaudY543521037.0SudLa Garde à Infole [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Les Cabris]Y543521042.6SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543521044.4SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543521037.0SudLa Verne	La Caramy à Vinc sur Caramy [Les Marcounious]	V5105010	207.6	Quest
InstanceInstanceInstanceInstanceLa Galaure à Saint-UzeV3614010232.7OuestLa Gère à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178103.3SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Bouillide à ValbonneY56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46162019.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Valmasque à BiotSudLa Garde à GrimaudY540501018.0SudLa Valmasque à Biot [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Valmasque à Biot [Plan Saint-Anne]Y540521042.6SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y540521042.6SudLa Mole au Lavandou [Destel]Y540521042.6Sud	L'Issole à Cabasse [Pont des Fées]	Y5106610	207.0	Quest
La Gàra de a Bant-OteV3014010232.7OussiLa Gère à Pont-Évêque [Cancane]V3224010293.8OuestL'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe misseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178103.3SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLe avalmasque à BiotY560581013.4SudLa Valmasque à BiotSudLa Valmasque à BiotCollobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y540521037.0SudLa Valmasque à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Valma que à Biot [Destei]Y560521042.6Sud14.4SudLa Valmasque à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y560521042.6Sud29.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543501044.4SudLa Môle au Lavandou [Destei]<	La Galaure à Saint-Uze	V361/010	220.0	Quest
La Borde a FoldProduct [Culture]Product [Culture]Product [Culture]L'Arc à Meyreuil [Pont de Bayeux]Y4022010295.4OuestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe Maravenne à la Londe-les-Maures [Valcros]Y47054103.3SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudSudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y540521037.0SudLa Varne à la Môle [Les Cabris]Y540521042.6SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y540521044.4SudLa Graeu à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521044.4SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	La Gàre à Pont-Évêque [Cancane]	V3224010	293.8	Quest
L'Are a Neyleur [Fond de Dayeux]14622010223.4OdestLa Bourbre à Bourgoin-JallieuV1734010302.9OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe Maravenne à la Londe-les-Maures [Valcros]Y46176103.3SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudSudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Verne à la Lobri Jean]Y560521042.6SudLa Valea a Lavandou [Destel]Y543501044.4SudLa Caracuillar à Scirt Beehä [La curlY560511044.4Sud	L'Arc à Mevreuil [Pont de Baveux]	V4022010	295.0	Quest
La Bourlore a Bourgoni-vainedV1/3-4010302.7OuestLe ruisseau du Vaubarnier à CollobrièresY46178101.6SudLe Maravenne à la Londe-les-Maures [Valcros]Y47054103.3SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe Batailler à Bornes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Garde à GrimaudY560581013.4SudLa Garde à GrimaudSudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y560521042.6SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	La Bourbre à Bourgoin-Iallieu	V1734010	302.9	Quest
Le fuisseau du Vadoamer a Conorners1401/0101.05.0Le Maravenne à la Londe-les-Maures [Valcros]Y47054103.3SudLe ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Garde à GrimaudY560581013.4SudLa Garde à GrimaudSudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y540521037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y540521044.4Sud	Le ruisseau du Vaubarnier à Collobrières	V4617810	16	Sud
Le ruisseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]Y46176105.8SudLe ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLa Valmasque à BiotLa Valence [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Garde à GrimaudY560581013.4SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud20.12.52.51.5	Le Maravenne à la Londe-les-Maures [Valcros]	Y4705410	3.3	Sud
Le ruisseau de Maravar a Henriele du Var [Les Cogonis]1401/0105.05.0Le ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]Y46160108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudY540501018.0SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	Le misseau de Maraval à Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]	Y4617610	5.8	Sud
Le ruisseau des Madrets a contobiliers [Les Bourdins]140100108.5SudLa Brague à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]Y56052208.7SudLa Bouillide à ValbonneY56054109.0SudLe Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudY544501018.0SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	Le ruisseau des Maurets à Collobrières [Les Bourdins]	V4616010	8.5	Sud
La Bragie a Chateduncul Orasse [Flascassie1]130032200.7La Bouillide à ValbonneY56054109.0Le Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2Le Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3Le ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1La Valmasque à BiotY560581013.4La Garde à GrimaudY540521018.0Le Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudSud37.0La Verne à la Môle [Les Cabris]Y560521042.6SudSud44.4SudSudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4La Carnequillar à Saint Bacheäl [A caulY560541040.6	La Braque à Châteauneuf-Grasse [Plascassier]	Y5605220	8.7	Sud
La Bounnace a Valorine130034109.05.0Le Valescure à Collobrières [aval]Y46158109.2SudLe Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudY540521018.0SudLe Réal Collobrier à Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	La Bouillide à Valhonne	X5605410	9.0	Sud
Le Valescule a Conobiletes [aval]140130109.2SudLe Batailler à Bormes-les-Mimosas [La Verrerie]Y54052109.3SudLe ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudY544501018.0SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	Le Valescure à Collobrières [ava]	V4615810	9.0	Sud
Le Balanci a Bonnes-its-ivinitosas [La Veneric]154032105.3Le ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astre]Y461622012.1La Valmasque à BiotY560581013.4La Garde à GrimaudY544501018.0Le Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7La Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0La Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudSud14.4SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4La Cranequiller à Saint Bacheäl [A aculY550541040.6	Le Ratailler à Bormes les Mimosas [La Verrerie]	V5405210	9.2	Sud
Le fuisscat de la Malere a Conobineres [cour de l'Astej1401022012.1SudLa Valmasque à BiotY560581013.4SudLa Garde à GrimaudY544501018.0SudLe Réal Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4Sud	Le ruisseau de la Malière à Collobrières [Gour de l'Astra]	V4616220	9.5 12.1	Sud
La Garde à GrimaudY544501013.4SudLa Garde à GrimaudY544501018.0SudLe Réal Collobrier à Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4SudLa Cranavillar à Saint Bashaël [A availY550541040.6Sud	La Valmasque à Biot	V5605810	12.1	Sud
La Garde a Grinnada154430101630SudLe Réal Collobrier à Collobrières [Sainte-Anne]Y461582029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4SudLa Carapavillar à Saint Bashaël [A gavilY550541040.6Sud	La Garde à Grimaud	Y5445010	13.4	Sud
Le Rear consonier a consonieres [same-Anne]1401382029.7SudLa Verne à la Môle [Les Cabris]Y543621037.0SudLa Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6SudLa Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4SudLa Composition à Spint Danhaël [A goul]Y550541040.6Sud	Le Réal Collobrier à Collobrières [Sainte Anne]	V/615820	20.7	Sud
La Verle a la Mole [Les Cabils]1545021057.0La Brague à Biot [Plan Saint-Jean]Y560521042.6La Môle au Lavandou [Destel]Y543501044.4La Cranouillar à Saint Bashaël [A aculY550541040.6	La Verne à la Môle II es Cabris!	Y5/36210	29.1	Sud
La Môle au Lavandou [Destel]     Y5435010     44.4     Sud       La Cranouillar à Soint Banhaël [A goul     Y5505410     40.6     0.1	La Braque à Riot [Plan Saint_Jean]	V5605210	57.0 AD 6	Sud
La Chonomillar à Soint Donhoël [A coul	La Môle au Lavandou [Destel]	Y5/35010	42.0	Sud
	Le Grenouiller à Saint-Ranhaël [Agav]	Y5505410	<u> </u>	Sud

Nom de la station	Code de la station	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Zone homogène
Le Réal Martin à Puget-Ville [Les Jacarels]	Y4615010	65.0	Sud
Le Reyran à Fréjus [Sainte-Brigitte]	Y5325010	67.7	Sud
Le Réal Collobrier à Pierrefeu-du-Var [Pont de Fer]	Y4615610	71.9	Sud
L'Aille au Cannet-des-Maures [Reillanne]	Y5215010	78.2	Sud

Annexe 2. Emprise spatiale des crues historiques du 01/11/1843, 29/05/1856, 01/11/1859, 24/09/1920, 28/09/1928, 22/10/1928, 07/06/1955, 12/06/1957, 22/09/1968, 30/04/1983, 08/10/1988, 13/02/1990, 21/12/1991, 05/10/1993, 07/01/1994, 05/11/1994, 15/11/2002, 12/01/2004 et 20/05/2008.



01/11/1849 : flux de sud



20/05/1856 : flux de sud



01/11/1859 : flux de sud-ouest



23/09/1920 : flux d'est



24/09/1928 : flux de sud-est



20/10/1928:?



07/06/1955 : flux de sud



12/06/1957 : flux d'est



22/09/1968 : flux d'ouest



30/04/1983 : flux de sud



08/10/1988 : flux d'ouest



13/02/1990 : flux d'ouest



21/12/1991 : flux d'ouest



08/10/1993 : flux sud succédant à un flux de sud-ouest



07/01/1994 : flux de nord-ouest succédant à un flux de sud-ouest et à un flux d'ouest



05/11/1994 : flux de sud



17/11/2002 : flux de nord-ouest succédant à un flux de sud-ouest et à un flux de sud



12/01/2004 : flux d'ouest



28/05/2008 : flux de sud