

Prédétermination des crues sur les bassins versants torrentiels

Faisabilité d'une synthèse hydrologique régionale fondée sur la prise en compte de facteurs géographiques locaux

N. MATHYS, C. PETEUIL

▶ Équipe projet

■ Coordination :

- N. MATHYS (Cemagref - ETNA, Grenoble)
- C. PETEUIL (ONF - RTM38, Grenoble)

■ Stagiaires ayant contribué au projet :

- ONF - RTM38 : A.L. MARTIN, R. ZEGRAR, D. PORCHERON, A. RIESS
- Cemagref - ETNA : T. CIPRIANI

■ Organismes ayant apporté leur soutien :

- Cemagref Lyon et Aix
- DDT38
- DREAL Rhône Alpes et PACA
- EDF-DTG
- LTHE
- Météo France
- ONF - DirTech RTM
- Pôle Grenoblois Risques Naturels

► Contexte et objectifs

- Hydrologie des crues torrentielles
 - applications opérationnelles multiples
 - nombreuses spécificités
 - pas d'approche véritablement dédiée
 - modèles utilisables :
 - peu représentatifs
 - souvent délicats à mettre en œuvre pour des non-spécialistes
- Objectifs du projet :
 - tenter d'améliorer les méthodes d'estimation applicables sur les Alpes françaises à partir :
 - des données capitalisées depuis les dernières synthèses
 - d'avancées récentes obtenues sur les Pyrénées (ANETO)
 - proposer une approche simple à mettre en œuvre par des praticiens ayant une pratique occasionnelle en hydrologie

▶ Démarche

- Synthèse des données hydrologiques
 - zone d'étude : Alpes françaises
 - bassins torrentiels : surface $< 500 \text{ km}^2$
 - durée d'observation ≥ 7 ans
- Caractérisation physique des bassins
- Définition de secteurs homogènes sur un plan hydrologique
- Calage, test et choix de modèles représentatifs de la zone d'étude

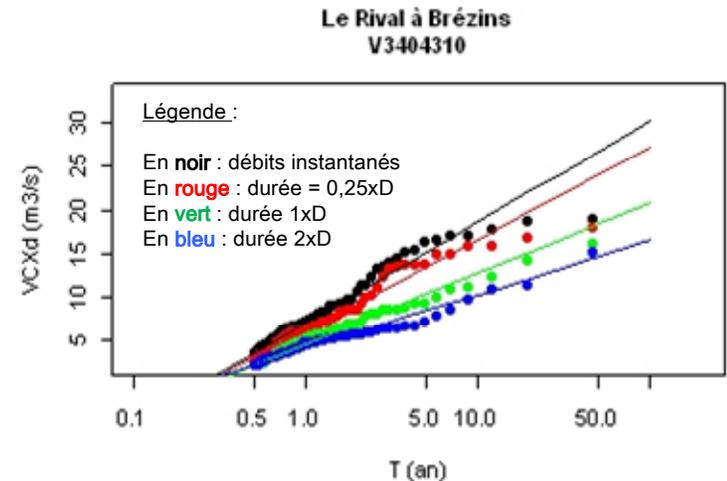
► Synthèse des données : débits de crue

■ Origine des données

- Banque HYDRO du ministère de l'Écologie
- Réseau d'observation EDF
 - ⇒ 203 stations hydrométriques recensées initialement

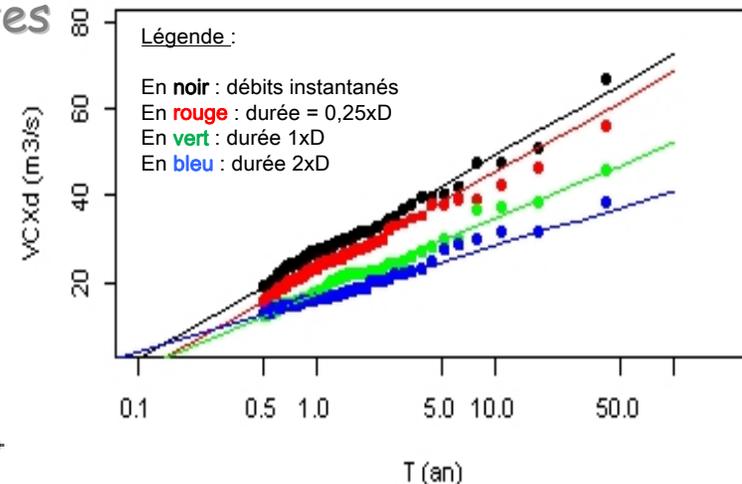
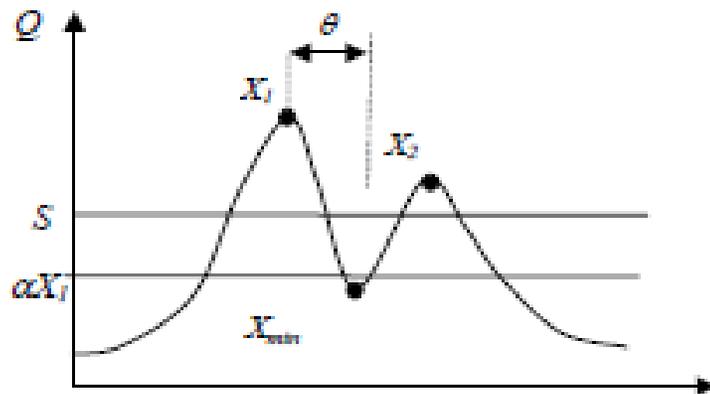
■ Démarche de validation

- Tests d'indépendance des crues et de stationnarité temporelle des événements
- Appréciation de la qualité des ajustements statistiques obtenus



► Synthèse des données : débits de crue

- Estimation des débits de pointe de périodes de retour 5, 10, 20 et 50 ans
 - Si chroniques à pas de temps variable disponibles :
 - ajustement d'une loi exponentielle sur toutes les valeurs supérieures à un seuil
 - extraction, en plus, des volumes écoulés et des durées des crues correspondantes



- Sinon : ajustement d'une loi de Gumbel sur les débits maximaux annuels

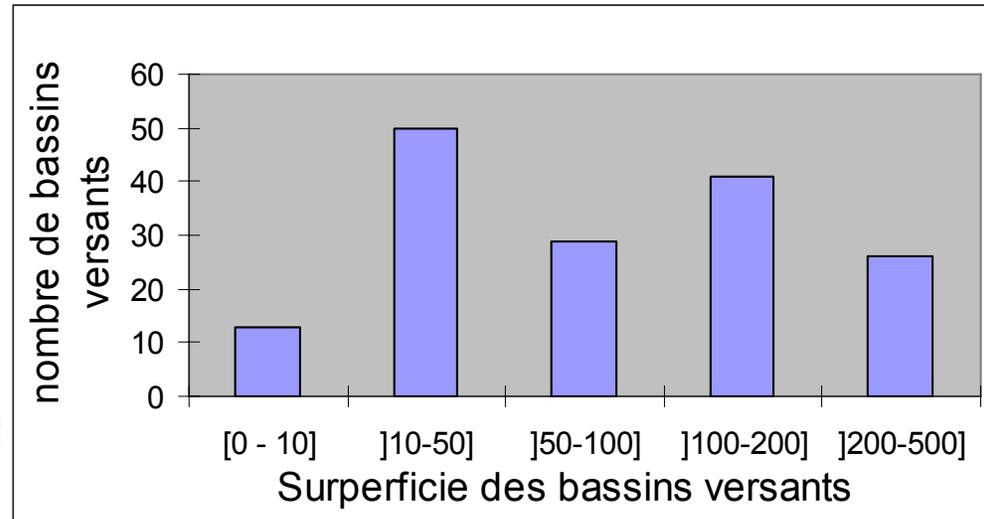
► Synthèse des données : débits de crue

■ Échantillon final : 159 stations

■ Superficies des bassins :

■ médiane $\approx 75 \text{ km}^2$

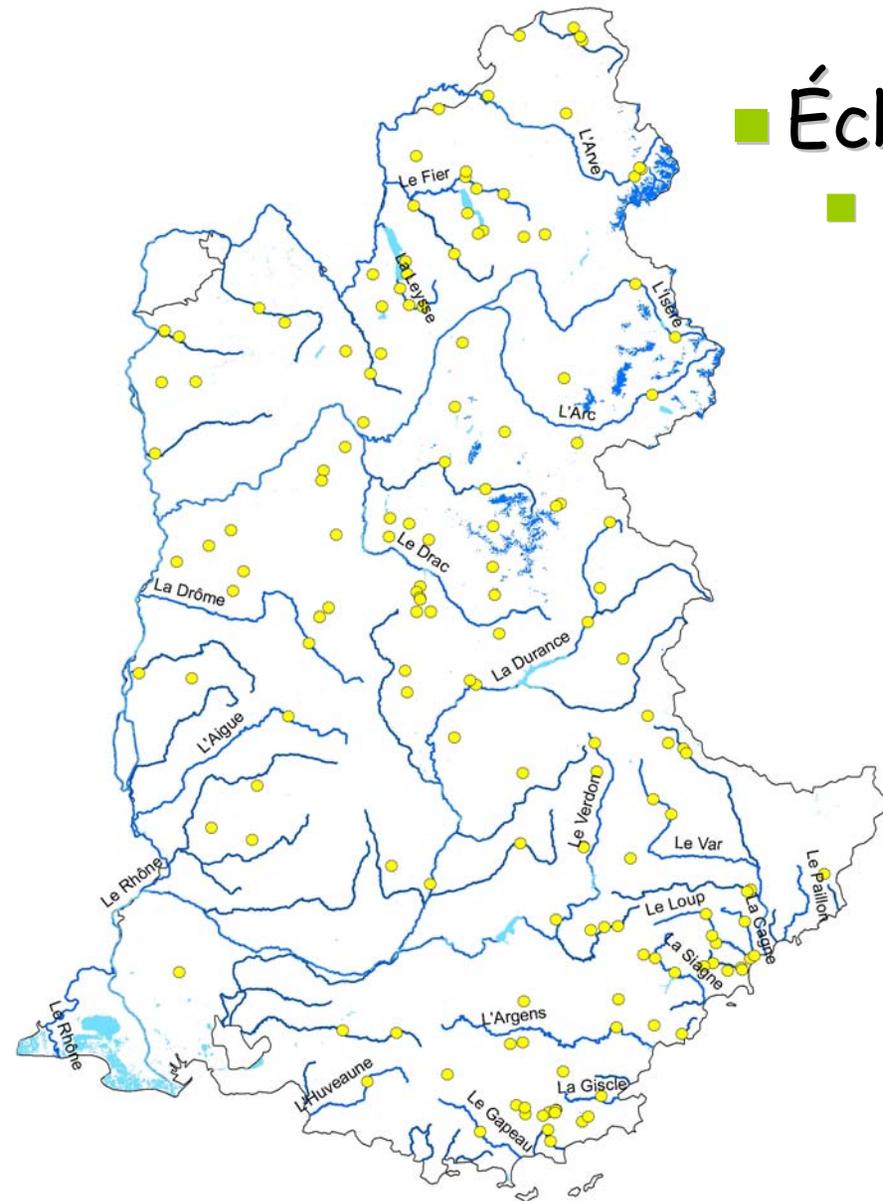
■ 10% des bassins font - de 10 km^2



■ Durée des observations :

■ médiane ≈ 20 ans

■ maximum : 60 ans

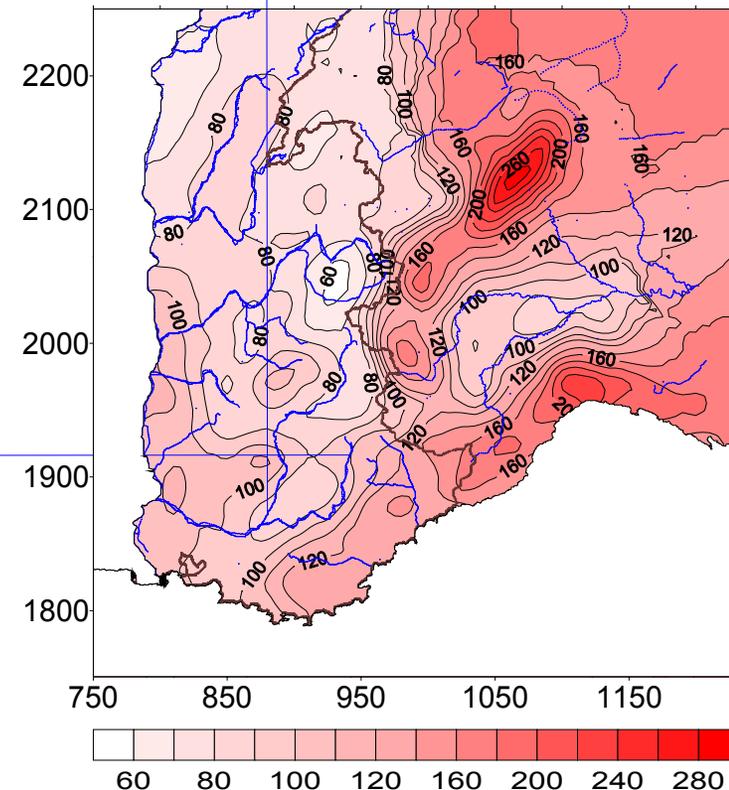


► Synthèse des données : précipitations

■ Aléa pluviométrique :

- Utilisation des cartes de synthèse établies par Djerboua (2001)
- Grilles de maille 1 km fournies au format SIG par le SPC de la DDT38
- Variables considérées : pluies en 24 heures de périodes de retour 5, 10, 20 et 50 ans
- Pluie caractéristique estimée en calculant la moyenne des valeurs attribuées à chaque pixel situé dans l'emprise des limites des bassins

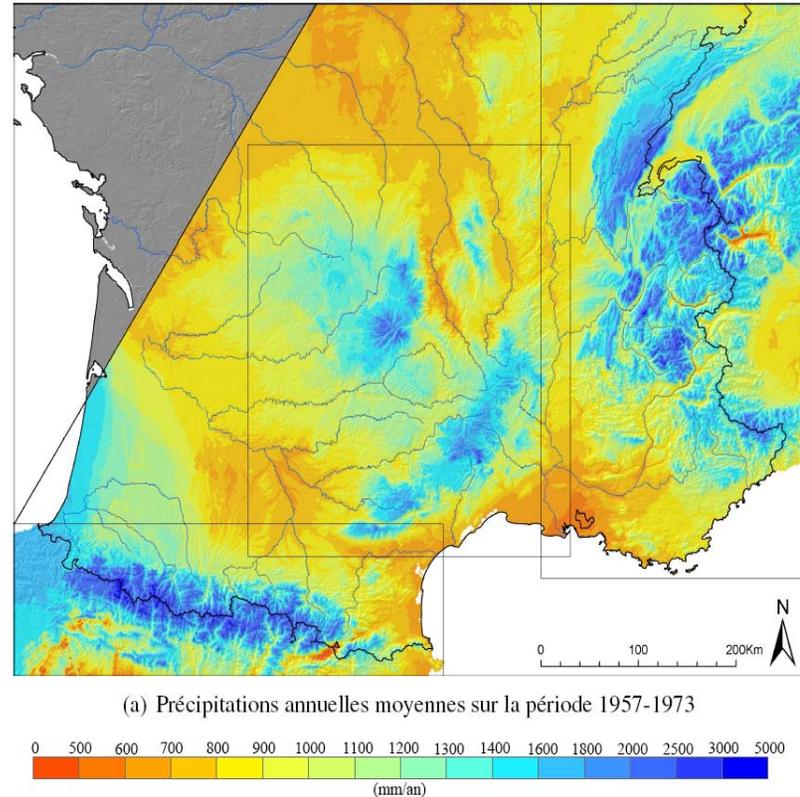
P(t=24h, T=10 ans)



► Synthèse des données : précipitations

■ Pluies moyennes annuelles :

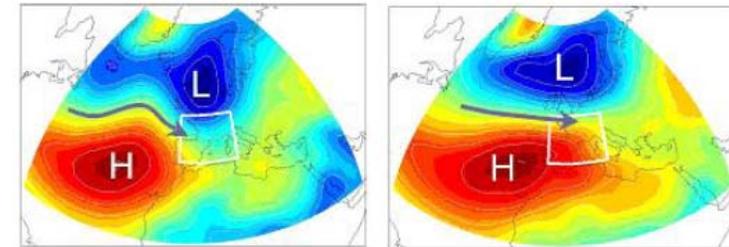
- Utilisation de la carte établie par Gottardi (2009)
- Grilles de maille 1 km fournies au format SIG par la DTG d'EDF



- Pluie caractéristique estimée en calculant la moyenne des valeurs attribuées à chaque pixel situé dans l'emprise des limites des bassins

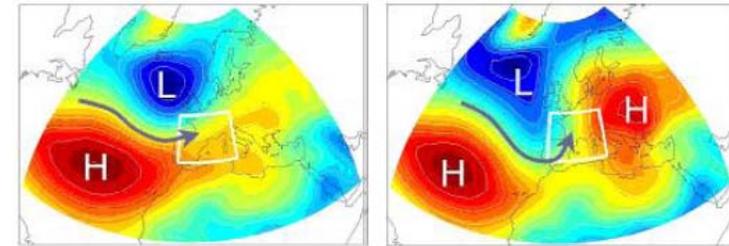
► Synthèse des données : climatologie

- Types de temps :
 - Classification établie par EDF
 - Distingue 8 types de champs barométriques à l'échelle européenne
 - Catalogue disponible pour chaque journée allant de 1953 à 2008



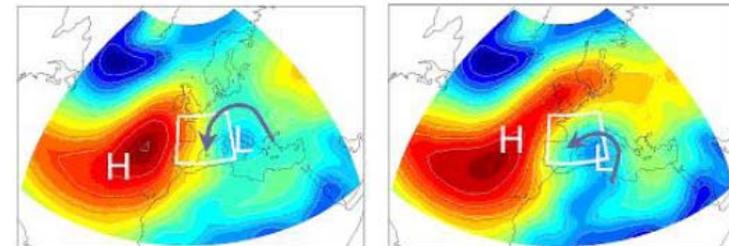
(a) Onde atlantique

(b) Flux atlantique stationnaire



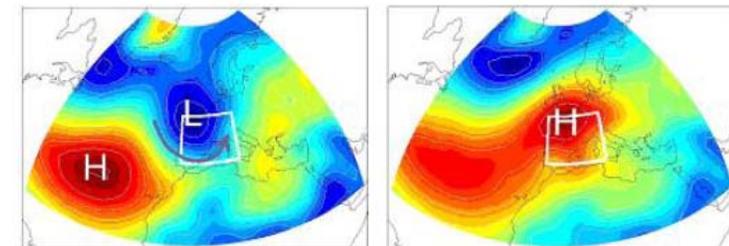
(c) Circulation de Sud-Ouest

(d) Circulation de Sud



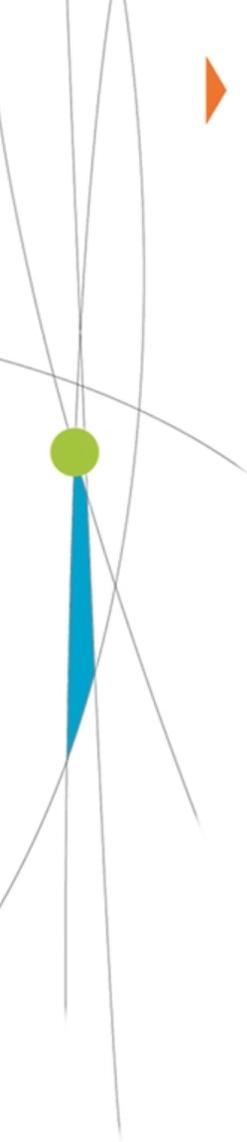
(e) Flux de Nord-Est

(f) Retour d'Est



(g) Dépression centrale

(h) Circulation anticyclonique



▶ Démarche

- Synthèse des données hydrologiques
- **Caractérisation physique des bassins**
- Définition de secteurs homogènes sur un plan hydrologique
- Calage, test et choix de modèles représentatifs de la zone d'étude

▶ **Caractérisation physique des bassins**

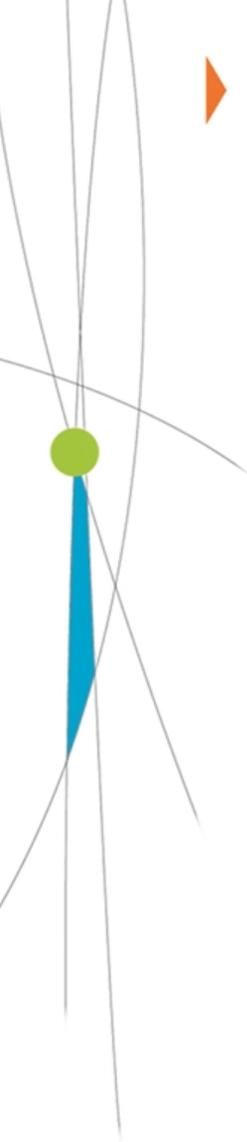
■ **Données utilisées :**

- MNT de la BD Topo de l'IGN
- Réseau hydro. de la BD Carthage de l'IGN
- BD Corine Land Cover
- Synthèses géologiques diverses

■ **Calcul semi-automatique sous SIG des principales variables caractéristiques :**

surface drainée ; périmètre ; altitudes moyenne, médiane, maximum et minimum ; longueur totale des cours d'eau ; nombre de drains principaux et secondaires orientation générale du bassin par rapport aux flux perturbés,...

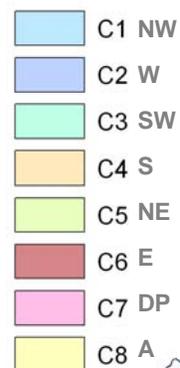
■ **Terrains karstiques : proportion et influence éventuelle évaluées « à dire d'expert »** (avec la collaboration de Y. Robert)



▶ Démarche

- Synthèse des données hydrologiques
- Caractérisation physique des bassins
- Définition de secteurs homogènes sur un plan hydrologique
- Calage, test et choix de modèles représentatifs de la zone d'étude

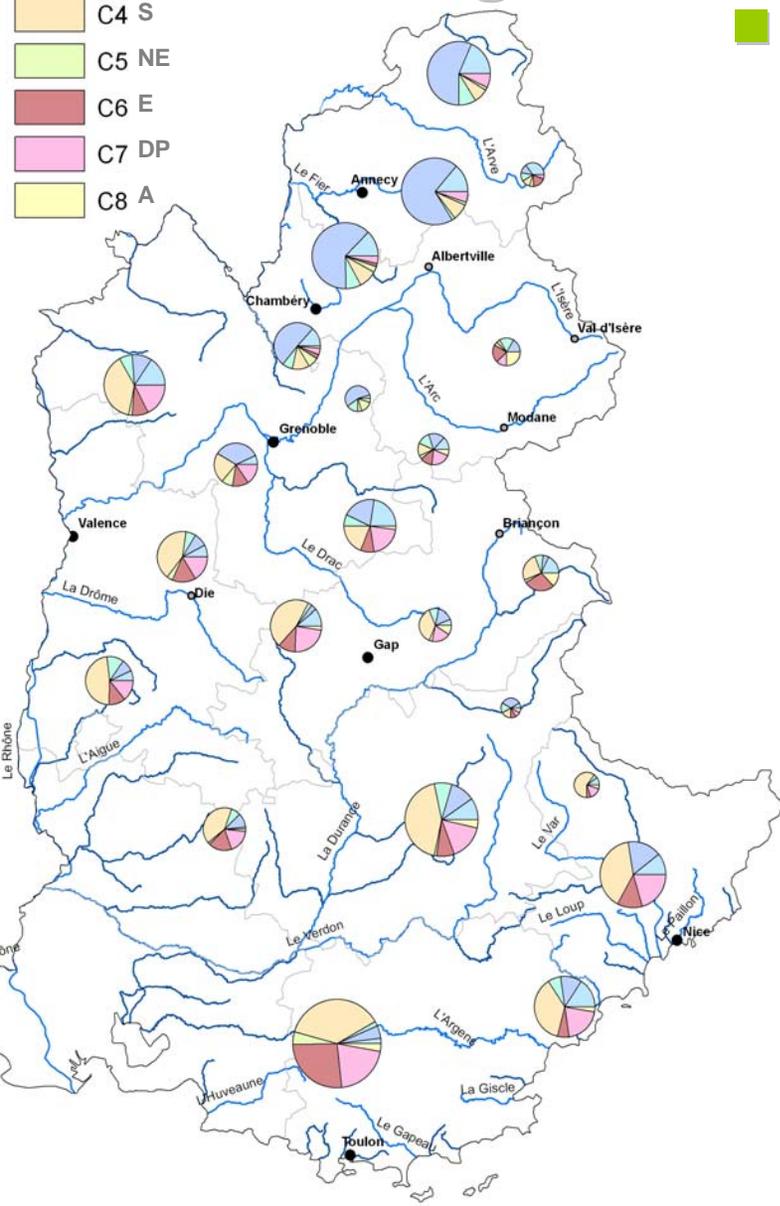
Légende



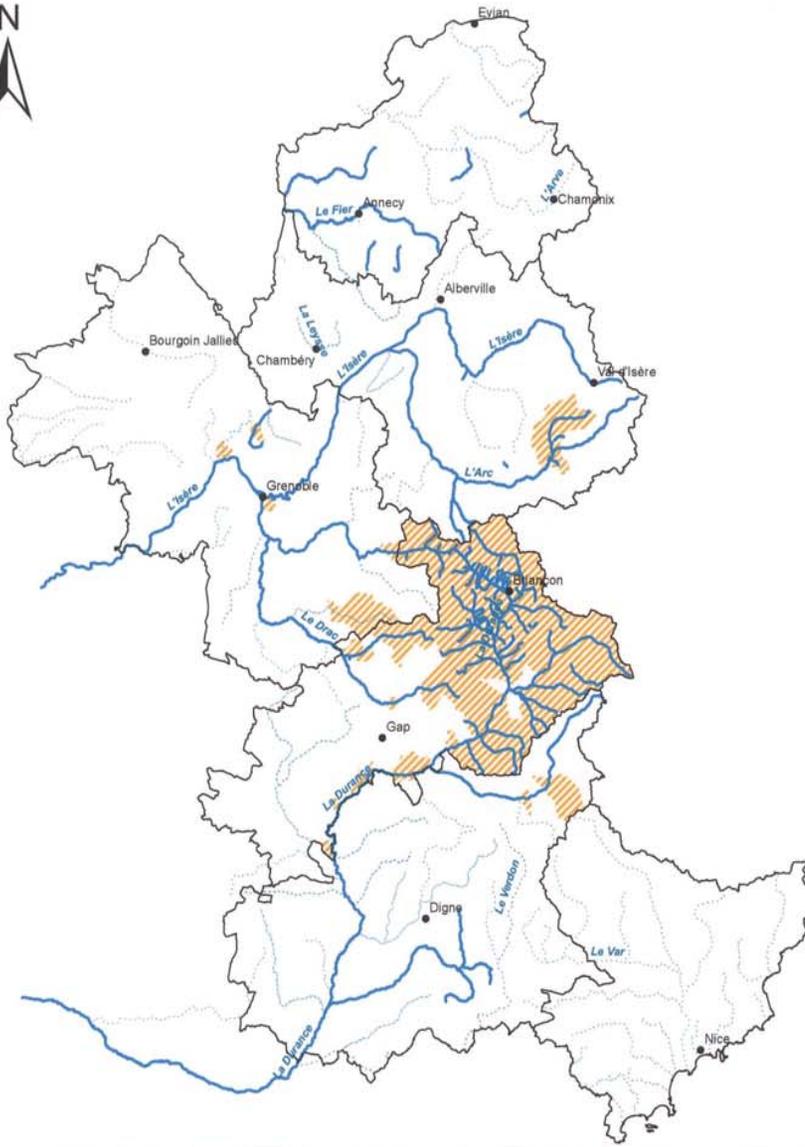
► Définition des zones hydrologiques homogènes

■ Résulte du croisement de critères liés :

- à la géologie
- au relief
- à la distribution des précipitations
 - Pluies annuelles
 - Pluies extrêmes
- au type de temps à l'origine des plus fortes crues ($T > 2$ ans)
- à l'emprise spatiale de crues historiques majeures provoquées par des flux perturbés de même origine géographique



► Définition des zones hydrologiques homogènes



Crues du 20 Mai 1856

Légende

..... Réseau hydrographique

Intensité de la crue
(D'après la BD RTM, la BD HYDRO, et EDF-DTG)

— 1 Faible

— 2

— 3

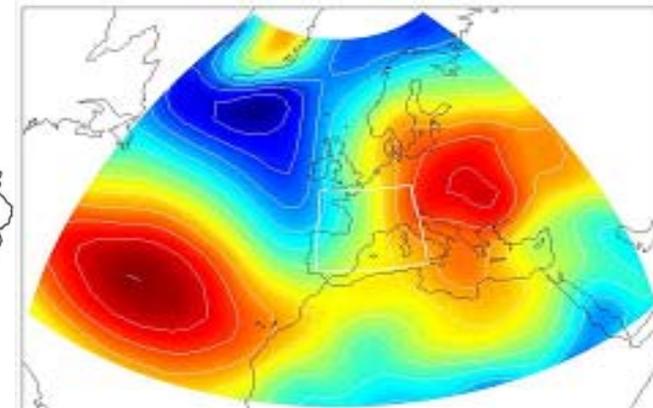
— 4

— 5 Fort

▨ Communes sinistrées selon la BD GASPAR

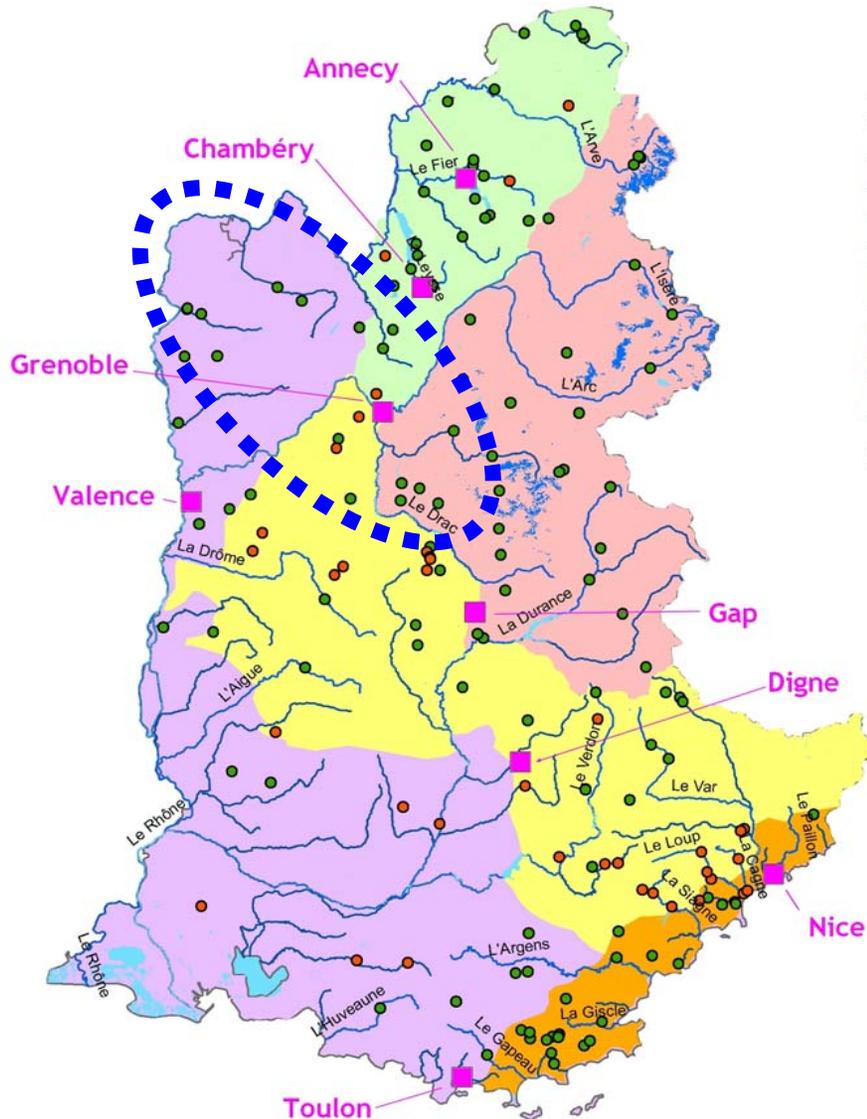
▨ Phénomène recensé dans la BD RTM

▭ Limites départementales

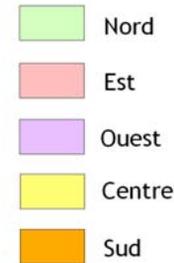


Classe 4 : Sud

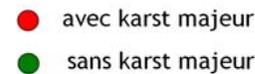
► Définition des zones hydrologiques homogènes



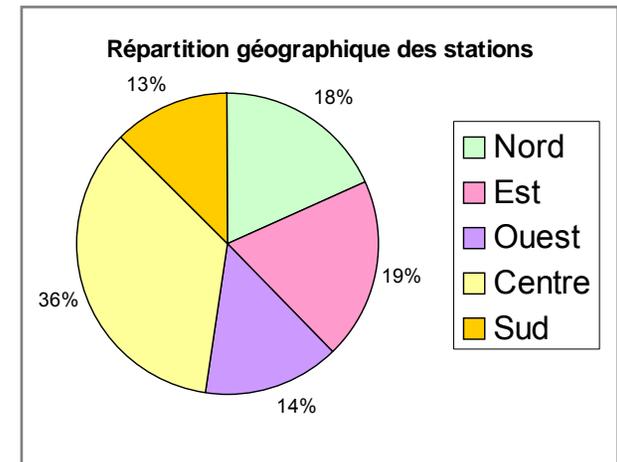
Zones homogènes



Station hydrométrique

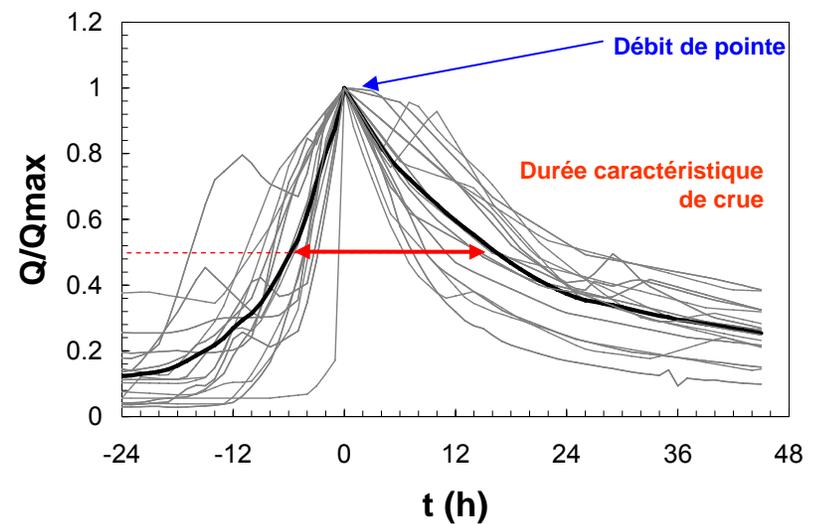


Zone homogène	Nombre de stations pour 1000 km ²
Nord	5
Est	3
Ouest	2
Centre	4
Sud	8
Total	3



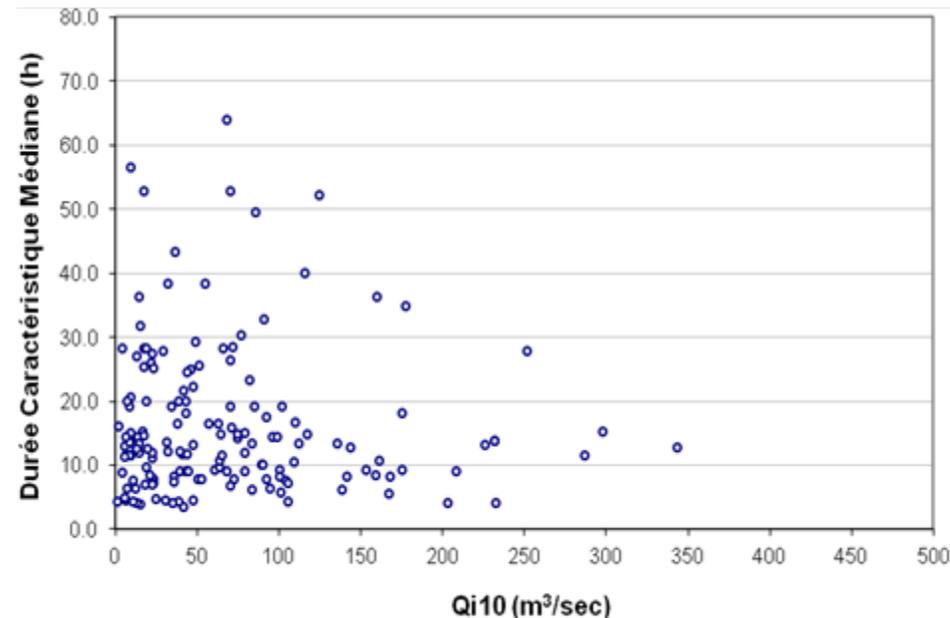
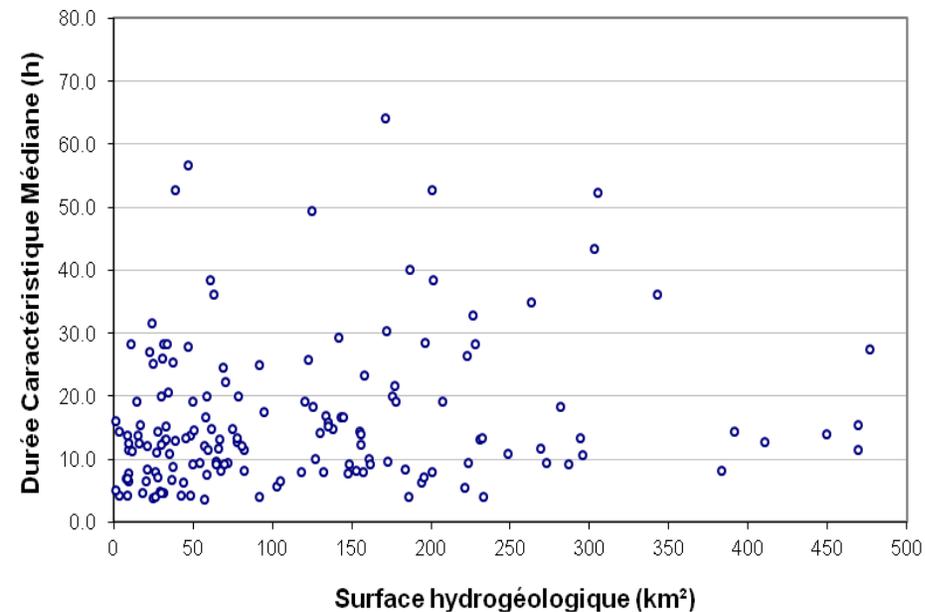
► Démarche

- Synthèse des données hydrologiques
- Caractérisation physique des bassins
- Définition de secteurs homogènes sur un plan hydrologique
- **Calage, test et choix de modèles représentatifs de la zone d'étude**
 - Durées caractéristiques de crue
 - Débits de pointe



▶ Résultats

- **Durée caractéristique de crue (D) :**
 - Extraction, pour chaque crue échantillonnée, du débit de pointe et de la valeur de D
 - Pas de relation évidente entre la valeur médiane de D et la surface drainée
 - Constat similaire entre la valeur médiane de D et le débit décennal de pointe

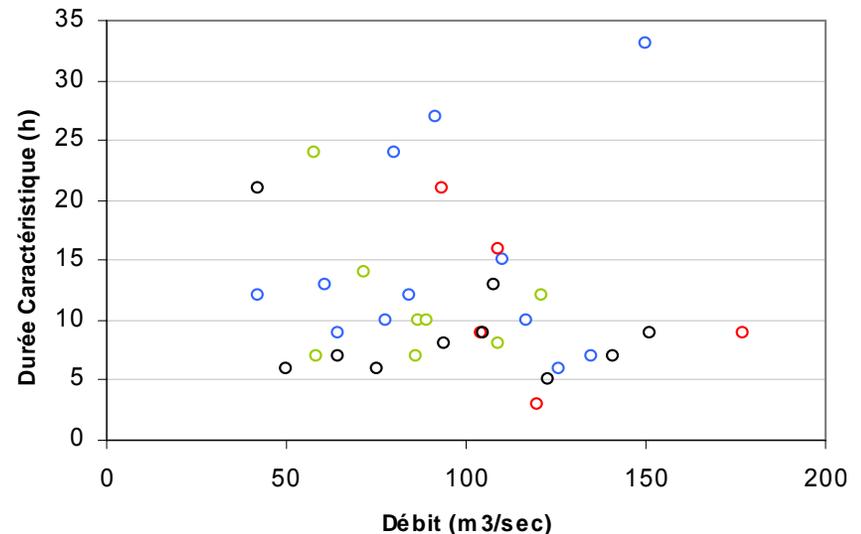
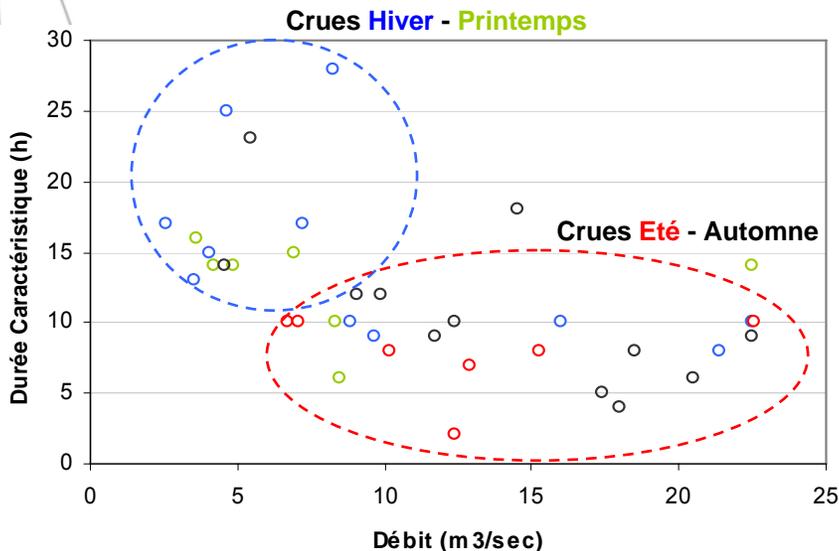


▶ Résultats

■ Durée caractéristique de crue (D) :

■ Appréciation de l'influence de la fusion nivale par le biais d'une analyse saisonnière

- Sur certaines stations :
 - ▶ *crues d'été et d'automne plus fortes mais plus courtes*
 - ▶ *crues d'hiver et de printemps plus longues mais moins intenses*
- Dans de nombreux cas : pas de tendance saisonnière claire

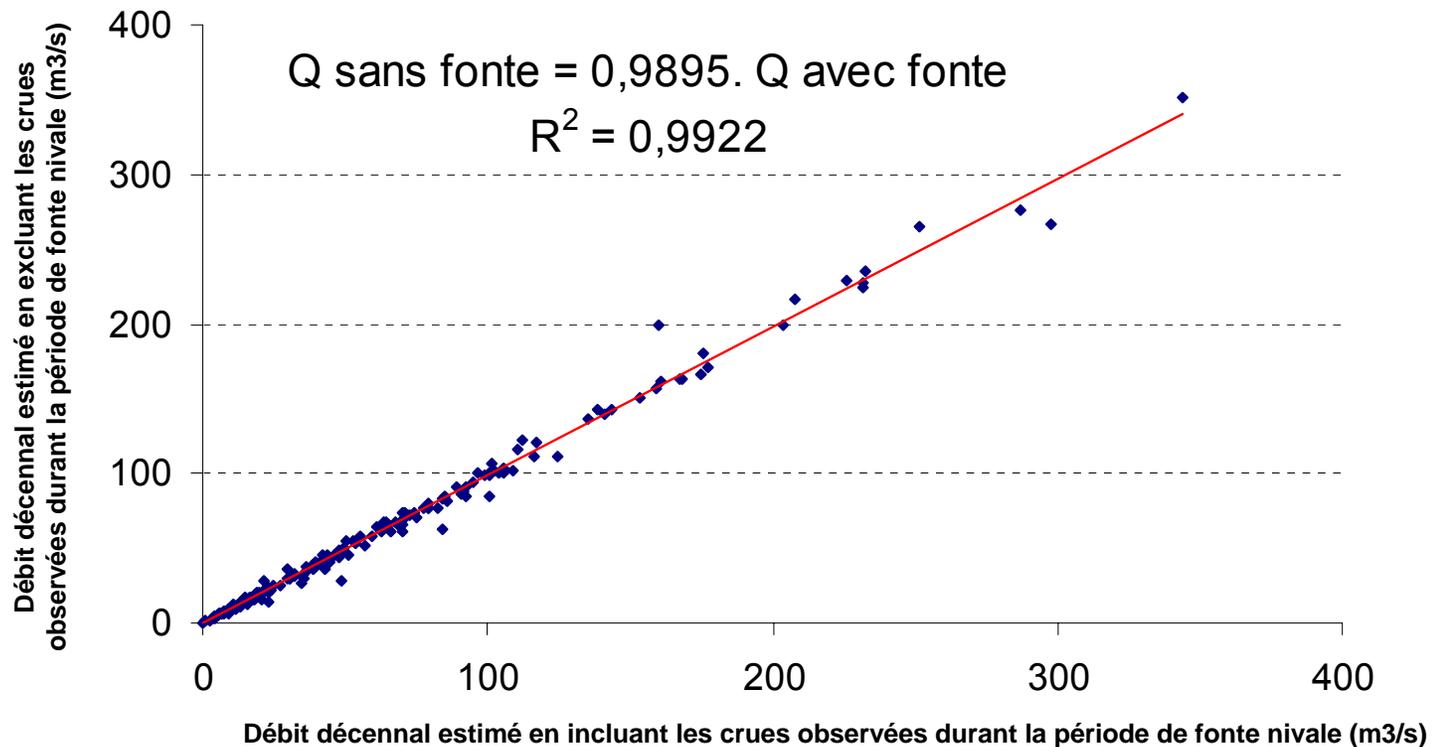


Relation débit / durée par saison : Hiver (**Bleu**), Printemps (**Vert**), Été (**Rouge**), Automne (**Noir**)

► Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

- **Influence de la fusion nivale** : globalement les crues observées lors de la période de fonte influent assez peu sur l'estimation du Q_{ix} des crues de période de retour décennale



► Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

- **Influence des bassins karstiques** : la prise en compte données issues de bassins karstiques ne dégrade pas de manière significative la qualité d'un modèle simplifié reliant le débit décennal de pointe (Q_{i10} en m^3/s) à la seule surface du bassin versant drainée par le cours d'eau (S en km^2)

Echantillon avec bassins karstiques	Nombre de bassins	Relation	$\frac{Q_{calc}}{Q_{est}}$	r^2	Pourcentage de valeurs calculées comprises dans l'intervalle	
					$[2Q/3; 3Q/2]$	$[Q/2; 2Q]$
Non	123	$Q_{i10} = 1,15.S^{0,82}$	0.69	0.46	48	72
Oui	159	$Q_{i10} = 1,05.S^{0,84}$	0.72	0.52	48	74

▶ Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

- **Modèles régionaux simplifiés** : la prédiction est nettement améliorée en régionalisant un modèle simplifié reliant le débit décennal de pointe (Q_{i10} en m^3/s) à la seule surface du bassin versant drainée par le cours d'eau (S en km^2)

Zone homogène	Nombre de bassins versants	Relation	$\frac{Q_{calc}}{Q_{est}}$	r^2	Pourcentage de valeurs calculées comprises dans l'intervalle	
					$[2Q/3; 3Q/2]$	$[Q/2; 2Q]$
Nord	29	$Q_{i10} = 1,05.S^{0,84}$	0.56	0.75	59	79
Centre	56	$Q_{i10} = 0,56.S^{0,97}$	0.84	0.81	61	84
Est	31	$Q_{i10} = 0,55.S^{0,90}$	0.92	0.80	68	97
Ouest	23	$Q_{i10} = 1,58.S^{0,65}$	0.67	0.09	43	61
Sud	20	$Q_{i10} = 1,26.S^{1,02}$	0.88	0.79	70	85
Total	159	-	0.73	0.72	60	82

▶ Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

■ Modèles multivariés globaux

■ Démarche :

- ▶ liens statistiques entre Q_{i10} et caractéristiques du bassin
- ▶ calage de relations statistiques à partir de tests itératifs
- ▶ évaluation de la performance des modèles obtenus

■ Résultats :

- ▶ pas d'amélioration sensible avec d'autres variables que la surface et la pluie journalière décennale
- ▶ calage d'une relation globale possible, mais *pas de gain de performance*

Nombre de bassins versants	Relation	$\frac{Q_{calc}}{Q_{est}}$	r^2	Pourcentage de valeurs calculées comprises dans l'intervalle	
				$[2Q/3; 3Q/2]$	$[Q/2; 2Q]$
159	$Q_{i10} = S^{0.85} * \left(\frac{P_{j10}}{87.5}\right)^{0.9}$	0.71	0.52	52	79

▶ Résultats

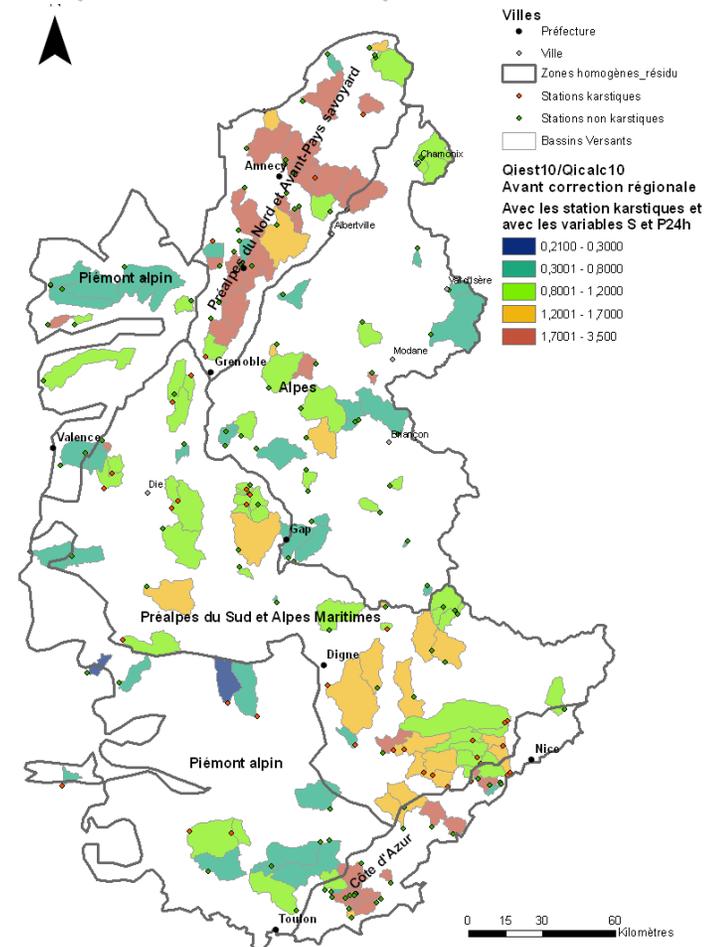
■ Débits de pointe des crues de référence

■ Modèles multivariés régionalisés

- Cartographie du rapport entre Q estimés et Q calculés par la relation

$$Q_{i10} = S^{0.85} * \left(\frac{P_{j-10}}{87.5} \right)^{0.9}$$

- Pour chaque zone homogène, calage d'un coefficient optimisé pour minimiser l'écart quadratique moyen entre les valeurs estimées et les valeurs calculées.



▶ Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

■ Modèles multivariés régionalisés

- Performance de la relation : $Q_{i_{10}} = S^{0.85} * \left(\frac{P_{j_{10}}}{87,5} \right)^{0.9} * CR_{10}$

Zone	CR ₁₀	Qcalc/Qest	r ²	Pourcentage de valeurs calculées comprises dans l'intervalle	
				[2Q/3 ; 3Q/2]	[Q/2 ; 2Q]
Nord	2.0	0.93	0.78	66	90
Est	0.9	0.89	0.75	65	90
Ouest	0.7	0.85	0.44	48	65
Centre	1.1	0.94	0.80	73	88
Sud	2.0	0.90	0.77	65	90
Total	-	0.92	0.81	65	86

- à titre de comparaison, calage de relations spécifiques à chaque zone homogène ⇒ performance similaire

▶ Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

■ Modèles multivariés régionalisés

- démarche extrapolée à d'autres périodes de retour pour couvrir toute la gamme des crues fréquentes à rares :

$$Qi_5 = S^{0.85} * \left(\frac{P_{j-5}}{87.5} \right)^{0.87} * CR_5$$

$$Qi_{20} = S^{0.86} * \left(\frac{P_{j-20}}{80.5} \right)^{0.84} * CR_{20}$$

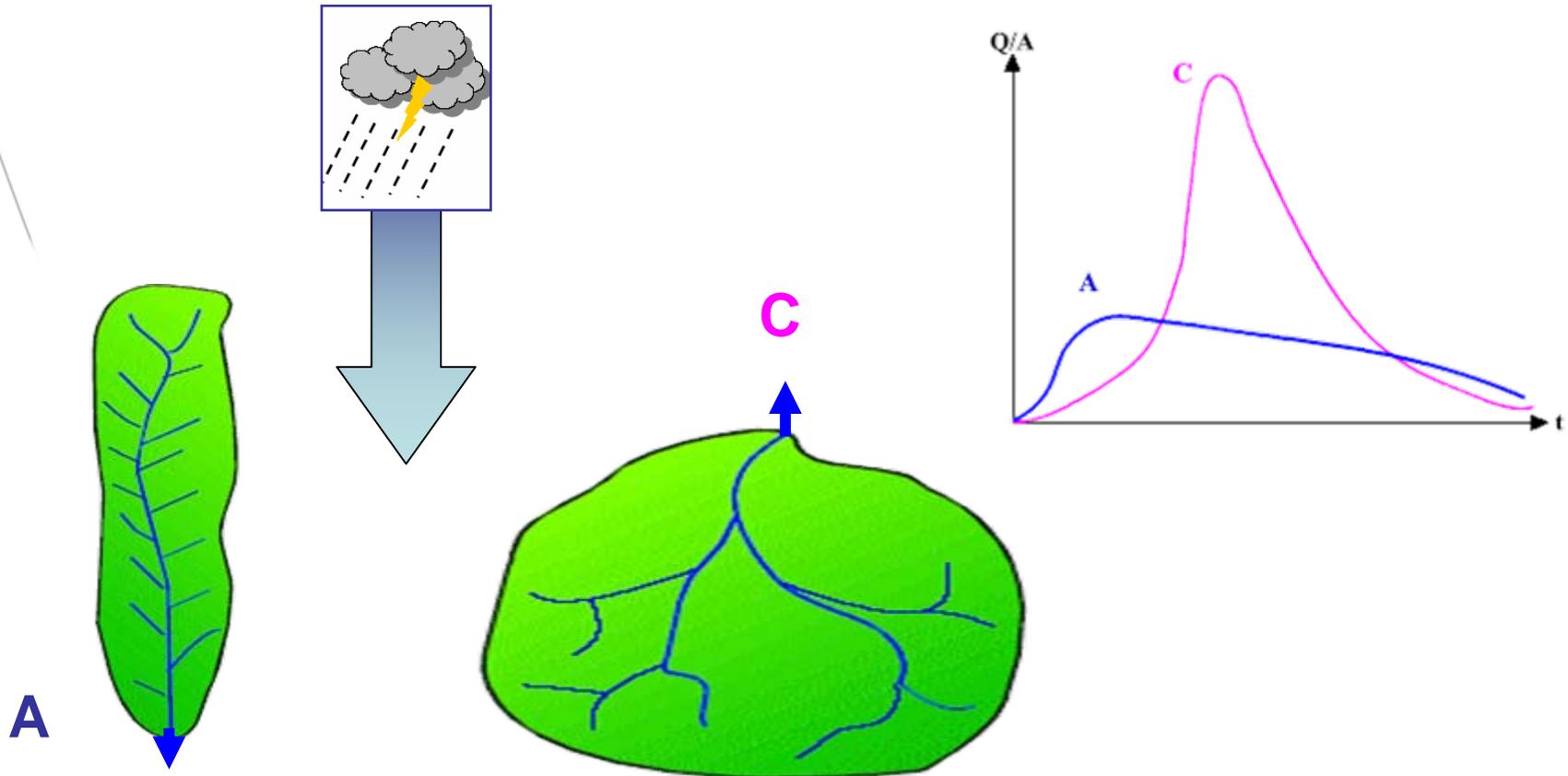
$$Qi_{50} = S^{0.86} * \left(\frac{P_{j-50}}{85.8} \right)^{0.95} * CR_{50}$$

- pas de tentative pour la crue centennale :
 - ▶ *échantillons disponibles de taille trop réduite*
 - ▶ *existence de méthodes a priori mieux adaptées*

▶ Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

- Tentative d'amélioration de la performance du modèle grâce à une analyse naturaliste des sites (Cf. méthode ANETO - Pyrénées françaises)



▶ Résultats

■ Débits de pointe des crues de référence

■ Principe d'analyse :

- Classification des bassins en fonction de traits caractéristiques communs susceptibles d'induire un même type de réponse hydrologique

- ▶ *nombre d'affluents principaux et secondaires*
- ▶ *forme du bassin*
- ▶ *orientation*
- ▶ *densité de drainage*
- ▶ ...

- Pour chaque catégorie de bassin, définition d'une clé de détermination et calage d'un coefficient correcteur applicable à la valeur standard du débit estimé par l'approche régionale

- Pas de résultats probants obtenus pour transposer cette approche sur la zone d'étude

► Conclusion

- Constitution d'une base de données hydrologiques très complète
- Difficultés, au stade actuel de nos connaissances, à proposer une approche pour estimer les volumes écoulés lors des crues
- Établissement d'une méthode d'estimation des débits de pointe :
 - qui présente l'intérêt de couvrir toute la gamme des crues « intermédiaires » : Q5, Q10, Q20 et Q50
 - dont la performance comparable à celle des approches du même type
 - mais qui est fondée sur des données actualisées par rapport aux dernières synthèses des années 1980
- Apport des approches naturalistes pour le moment infructueux

► Perspectives

- Valorisation de la base de données élaborée
 - Fournitures d'annexes dont les éléments permettent de faire des synthèses plus locales
 - Analyse plus détaillée des stations ayant les plus longues durées d'observation
 - Recours à des méthodes d'ajustement différentes pour certaines stations (revisiter les estimations de quantiles)
 - Recherche d'autres démarches de régionalisation (collaborations Cemagref Lyon)
 - Poursuite du travail sur les volumes de crue