

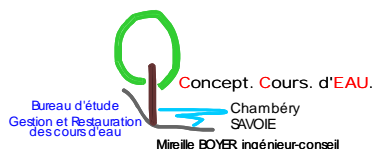


---

## SCHEMA DE RESTAURATION ET DE GESTION DE LA BLEONE ET DE SES AFFLUENTS

### ETAT DES LIEUX DIAGNOSTIC : HYDROLOGIE

OCTOBRE 2005  
N°860070 R1



<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>LE BASSIN VERSANT ET LES AFFLUENTS .....</b>	<b>3</b>
1. MORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT .....	3
2. GEOLOGIE.....	4
3. OCCUPATION DU SOL.....	4
<b>HYDROLOGIE.....</b>	<b>5</b>
1. DONNEES .....	5
1.1. DONNEES HYDROMETRIQUES.....	5
1.2. DONNEES PLUVIOMETRIQUES .....	5
2. DESCRIPTION DU REGIME HYDROLOGIQUE.....	6
3. HYDROLOGIE DES CRUES : DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE .....	9
3.1. HISTORIQUE DES CRUES .....	9
3.2. ANALYSES ANTERIEURES.....	10
3.3. DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE PAR LA METHODE SPEED .....	11
3.4. COMPARAISON REGIONALE.....	16
3.5. MODELISATION PLUIE-DEBIT .....	17
3.6. SYNTHESE DES DEBITS DE CRUE .....	20
4. HYDROLOGIE DES ETIAGES .....	25
4.1. FLUX TOTAL D'ETIAGE.....	25
4.2. FLUX DE NAPPE .....	26
4.3. DEBIT DE SURFACE.....	27
4.4. LES PRELEVEMENTS .....	30
4.5. ANALYSE DE JAUGEAGES RECENTS .....	30
4.6. SYNTHESE .....	34
5. LES USAGES DES EAUX DE SURFACE .....	35
5.1. LES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES.....	35
5.2. LES PRELEVEMENTS AGRICOLES .....	35
5.3. SYNTHESE SUR LES FLUX D'ETIAGE .....	37
<b>ANNEXES.....</b>	<b>39</b>

---

## INTRODUCTION

---

SOGREAH, avec ses partenaires Ecostratégie, C.C.EAU et Brigitte Lambey, s'est vu confier l'élaboration du Schéma d'Aménagement de Restauration et de Gestion de la Bléone et de ses affluents. Ce schéma d'aménagement doit déboucher sur un contrat de rivière.

Un comité technique de suivi a été formé par le maître d'oeuvre afin de valider les résultats de cette étude avant présentation aux élus.

L'objet du document qui suit est de présenter au comité technique l'état d'avancement de l'étude sur le volet hydrologique afin de valider ensemble les différents résultats.

## LE BASSIN VERSANT ET LES AFFLUENTS

### 1. MORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT

La Bléone est un affluent rive gauche de la Durance.

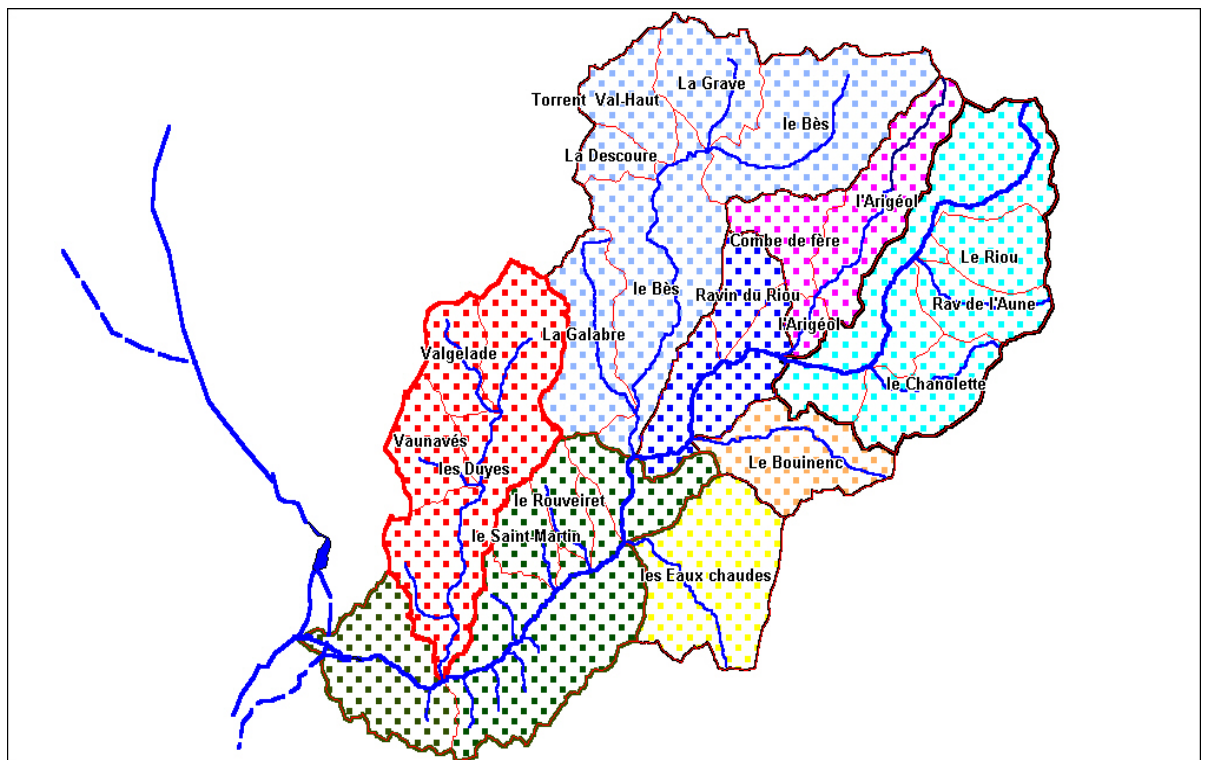
Son bassin versant occupe une superficie totale de 905 km<sup>2</sup> de sa source sous le pic des Trois Evêchés, à sa confluence sur la commune des Mées. L'altitude varie de 2 819 m NGF, sur le pic des Trois Evêchers à 405 m NGF à sa confluence.

Le cours d'eau principal a une longueur de 62 km. Les affluents principaux sont :

- En rive droite : l'Arigéol (66 km<sup>2</sup>), le Bes (233 km<sup>2</sup>) et les Duyes (125 km<sup>2</sup>).
- En rive gauche : Le Bouinenc (38 km<sup>2</sup>), les Eaux Chaudes (61 km<sup>2</sup>).

L'altitude moyenne du bassin versant est de 1 176m.

La carte ci-dessous représente le bassin versant de la Bléone et ses affluents.



## 2. GEOLOGIE

La Bléone traverse deux unités géologiques importantes :

- L'arc de Digne, qui appartient aux chaînes subalpines méridionales. Ces chaînes sont issues de plissements du bassin de sédimentation qui a fonctionné du Trias au Crétacé supérieur.
- La formation de Valensole, bassin tertiaire, constitué de dépôts argileux et molassiques du miocène en amont du Chaffaut, puis des conglomérats de poudingue et d'argiles de Valensole.

Les crêtes sont constituées de calcaire du crétacé moyen et inférieur. La rivière et ses affluents traversent aussi des zones d'affleurement de marnes du crétacé moyen, de terres noires du jurassique et des séries marneuses du Lias. Elle s'étale dans ces secteurs alors qu'au passage des niveaux calcaires sa largeur diminue.

## 3. OCCUPATION DU SOL

L'amont extrême du bassin versant est constitué de terrains de montagne nus car de haute altitude. Les bassins de la Bléone et de l'Arigéol, jusqu'à la Javie sont recouverts de pinèdes, de prairies ou pâturages et de quelques forêts de feuillus dans les zones les plus basses. Il existe quelques rares habitations regroupées en hameaux ou en petits villages (La Favière, Prads, Beaujeu,...).

Les premiers champs de cultures s'observent à la Javie, puis au Brusquet. Sur tout le bassin entre les confluences de l'Arigéol et du Bes, on observe des forêts de feuillus, des pinèdes, des prairies, quelques champs et des habitations dispersées.

Le bassin versant du Bes est resté très naturel. Les parcelles exploitées se font rares.

Dans la partie aval du bassin versant de la Bléone (à l'aval du Bes), l'agriculture devient plus présente sur les versants ainsi qu'au bord des cours d'eau (tout le long des Duyes, au bord du ravin du château, ...), l'urbanisation se fait plus intense puisqu'on traverse les agglomérations de Digne (plus de 10 000 habitants) et de cinq autres communes d'environ 1 000 habitants chacune. Par conséquent, la densité des réseaux de communication s'intensifie, des ZAC se développent, notamment en bordure de cours d'eau.

Le développement de l'agriculture et l'urbanisation se font parfois en gagnant du terrain sur le lit majeur de la rivière, moyennant des travaux d'aménagement et de protection : digues, épis, protections de berges,...

---

## HYDROLOGIE

---

### 1. DONNEES

#### 1.1. DONNEES HYDROMETRIQUES

Il a existé entre 1909 et 1956 une station hydrométrique sur la Bléone à Malijai, sur laquelle ont été mesurées sur 36 années les débits journaliers. Ces données sont aujourd'hui difficiles (voire impossibles) à retrouver. Leur intérêt est de plus limité car elles ne prennent pas en compte les événements hydrologiques récents. Edf relève de plus actuellement quotidiennement les hauteurs d'eau au niveau du barrage de Malijai, excepté en période de débits intenses pour lesquels les vannes sont ouvertes et le canal non alimenté en raison de l'importance du transport solide. Nous n'avons pas encore à ce jour ces relevés.

La seule station hydrométrique actuellement exploitée sur le bassin versant de la Bléone est située sur le Bes à Pérouré. Elle est exploitée depuis 1962.

#### 1.2. DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Le bassin versant de la Bléone est équipé des stations pluviométriques suivantes :

- Beaujeu, Castellard-Mélan, Marcoux, Digne, gérées par la METEO FRANCE,
- Blégiers et Malijai, gérées par Edf .

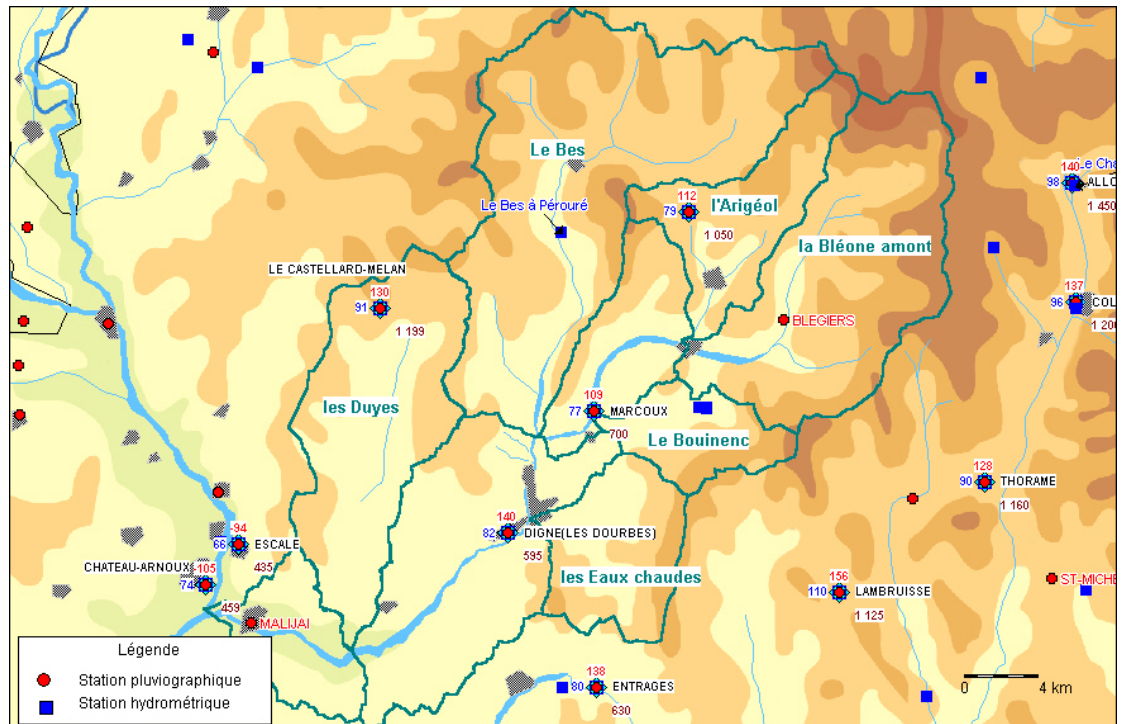
Il est aussi équipé des stations pluviographiques suivantes :

- Digne, gérée par METEO-FRANCE,
- Draix, gérée par le CEMAGREF.

L'étude a été menée à partir des stations pluviométriques (pas de temps 24h) du bassin versant complétées par d'autres stations régionales et notamment celles de Seyne, Thorame, Lambruisse, Entrages.

Les stations pluviographiques ont permis de reconstituer les hyétogrammes des crues récentes pour la modélisation pluie/débit. La station pluviographique de Saint-Auban est la seule station assez ancienne pour pouvoir produire des courbes ldf permettant de mieux analyser les phénomènes orageux responsables des crues. Nous avons donc utilisé les résultats de cette station pour produire les hyétogrammes synthétiques à entrer dans le modèle pluie/débit.

La localisation des stations pluviométriques et de la station hydrométrique du Bes est présentée sur le document suivant :



## 2. DESCRIPTION DU REGIME HYDROLOGIQUE

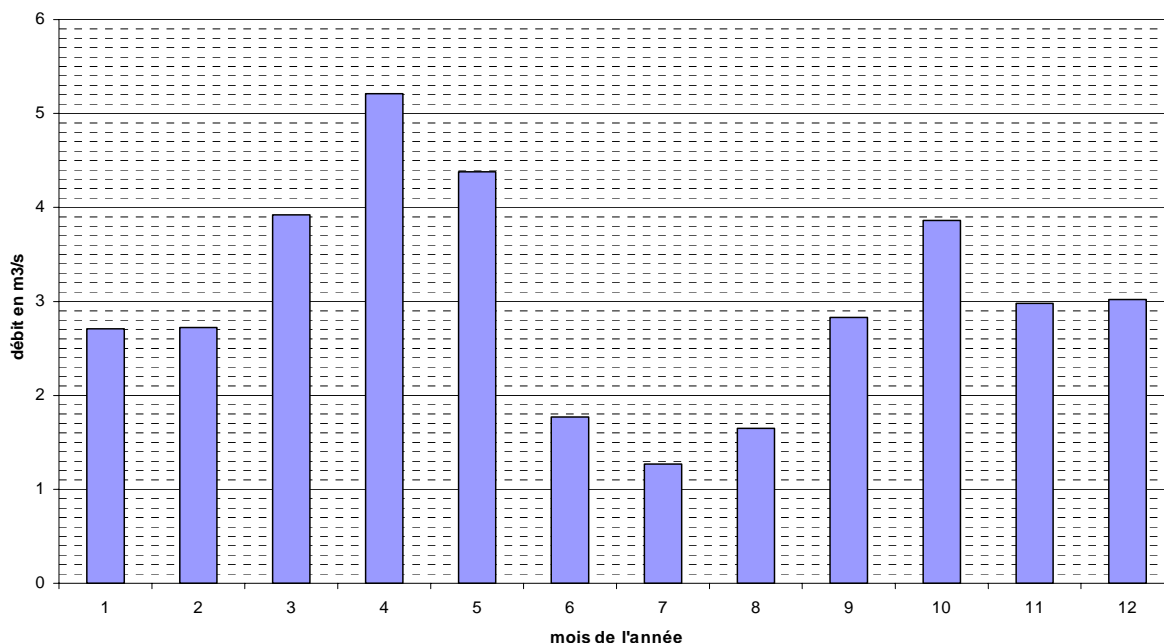
La Bléone est une rivière de montagne à régime nivo-pluvial, à forte influence méditerranéenne. C'est-à-dire que la variation des débits est soumise, d'une part à la fonte nivale, d'autre part aux variations climatiques de type méditerranéen.

En terme de moyennes mensuelles, cela se traduit par :

- deux maximas,
  - l'un en avril assez prononcé, car alimenté par la fonte des neiges,
  - l'autre en octobre qui peut être faible selon les quantités de pluies tombées en automne,
- deux périodes d'étiage,
  - l'une en hiver, liée au fait que les précipitations, sur une partie du bassin versant tombent sous forme de neige et non de pluie,
  - l'autre, plus prononcée et pouvant être sévère en été.
- une très forte variabilité interannuelle.



moennes mensuelles des débits du Bes à Pérouré (bassin versant : 165 km<sup>2</sup>)



En terme de crues, cela se traduit par des événements violents et torrentiels.

La courbe des débits classés d'une rivière est un bon indicateur de son régime. En effet, elle nous renseigne sur la sévérité des étiages, sur l'intensité des crues et sur l'importance des débits courants.

La forme de la courbe des débits classés d'une rivière dépend : de la taille de son bassin versant, de la pluviométrie locale, de la couverture du sol, de la géologie des terrains, ... En général, tout autre paramètre étant équivalent (pluviométrie, géologie,...) les débits courants d'une rivière sont proportionnels à la superficie du bassin versant à la puissance  $b$ ,  $b$  étant compris entre 0,75 et 1.

Notre méthodologie consistera à extrapoler les débits du Bes pour obtenir ceux de la Bléone par un rapport des surfaces à la puissance  $b'$ . Ce coefficient  $b'$  prendra en compte l'effet de la superficie, mais aussi celui des autres paramètres : altitude, pluviométrie,...

Notons que ETRM, pour l'étude de l'abaissement du grand pont de Digne en 1997 s'était fixé un coefficient  $b'$  égal à 0,7. Cette faible valeur, issue d'une étude sur trois stations hydrométriques sur le Verdon sur la période de 1984 à 1990 était justifiée par le fait que les précipitations et la fonte des neiges sont plus importantes sur les bassins versants d'altitude et que l'on prend en compte uniquement les débits pour lesquels le transport solide est important.

Or, dans le cas de la Bléone, on remarque d'une part que le bassin versant du Bes reçoit des pluies moins fortes que celui de la Bléone, et que, d'autre part l'altitude moyenne du haut bassin de la Bléone est plus élevée que celle du bassin du Bes. La remarque qui était valable sur le Verdon le serait alors aussi entre une station du Haut Bassin de la Bléone et une station de la Basse Bléone. Mais, puisque notre station hydrométrique de référence se situe sur le Bes, la prise en compte d'un coefficient de rapport surfacique de 0,7 risque de nous amener à sous-estimer les débits de la Bléone.

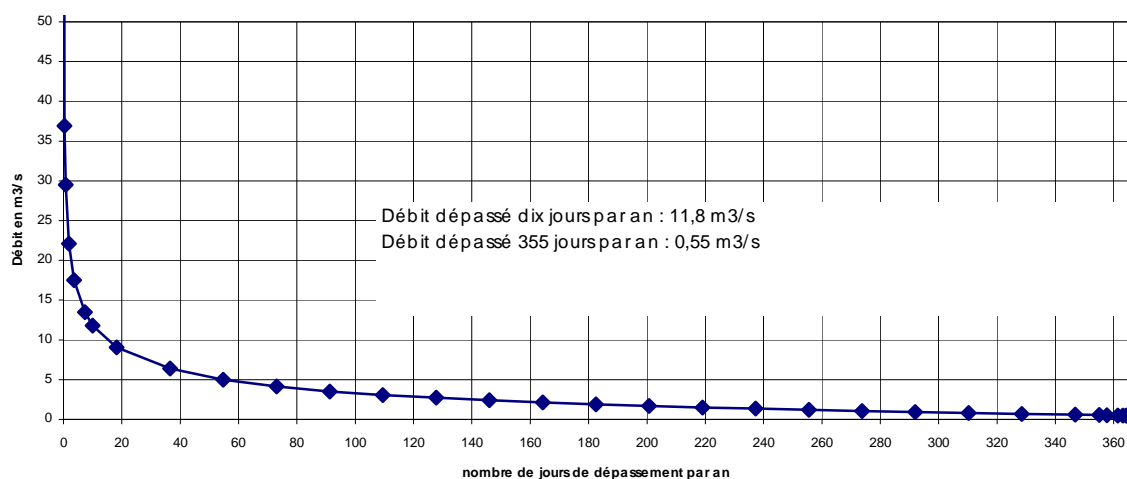


Nous avons par conséquent préféré comparer les débits du Bes à ceux d'autres bassins versants régionaux dont l'altitude, la superficie et la pluviométrie sont à peu près proches de celles de la Bléone.

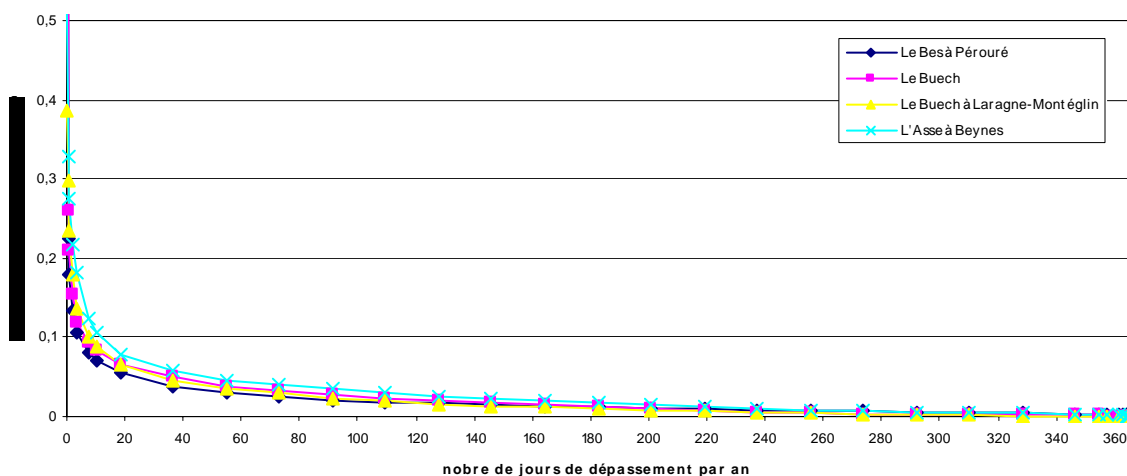
Pour reconstituer les courbes de débits classés sur la Bléone et sur les autres affluents, nous avons comparé la courbe des débits classés du Bes à Pérouré à ceux du Buëch à Laragne-Montéglin et de l'Asse à Beynes, rapportés à la surface des bassins versants à la puissance  $b'$ , en faisant varier  $b'$  entre 0,75 et 1. Il apparaît que :

- les apports liquides du Bes sont plus faibles que les apports de l'Asse et du Buëch. Cela est dû à une pluviométrie plus faible sur le bassin versant du Bes que sur les deux autres bassins versants.
- la valeur de  $b'$  la plus pertinente pour extrapoler les débits du Bes sur la Bléone, est 1.

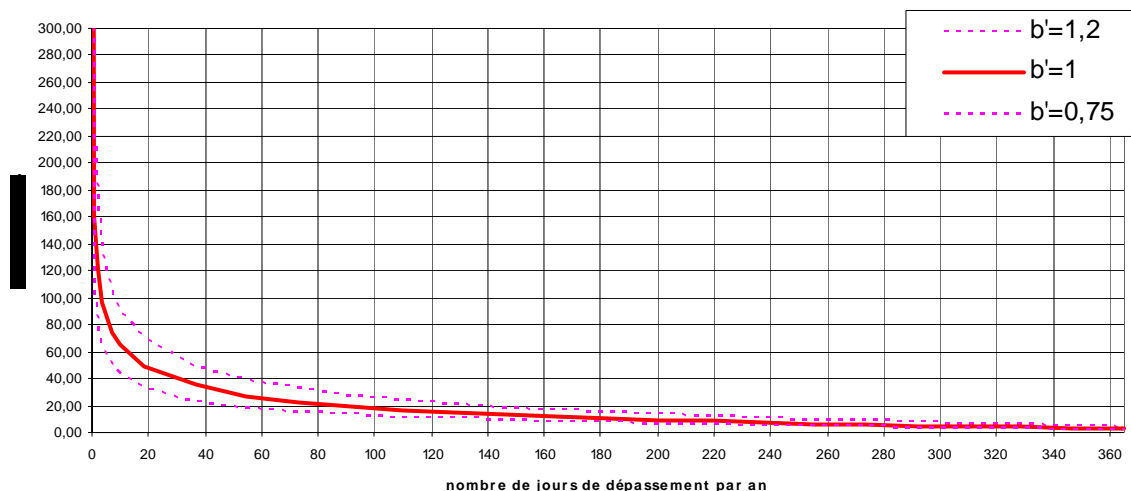
#### débits classés du Bes à Pérouré



#### Comparaison régionale des courbes de débits classés $b'=1$



**Courbe des débits classés de la Bléone à Malijai  
obtenue par extrapolation de celle du Bes à Pérouré**



La courbe des débits classés obtenue en extrapolant les débits du Bes à Pérouré en tout point du bassin versant de la Bléone ne constitue qu'une approximation de la réalité. L'étude ci-dessus permet de déterminer la valeur la plus pertinente de cette approximation. On peut considérer que l'enveloppe des débits constituée des courbes obtenues par une extrapolation des débits du Bes en considérant un coefficient  $b$  de 1,2 puis de 0,75 représente la fourchette d'incertitude des débits de la Bléone et de ses affluents en tout point.

Les valeurs caractéristiques sont ainsi :

Débit dépassé 10 jours par an :  $Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $42 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 91 \text{ m}^3/\text{s}$  ;

Débit dépassé 355 jours par an :  $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $2 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ;

### 3. HYDROLOGIE DES CRUES : DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE

#### 3.1. HISTORIQUE DES CRUES

Une enquête a été menée afin de dresser un historique des crues de la Bléone et de ses affluents, auprès des différents acteurs ou témoins et surtout aux archives départementales des Alpes de Haute Provence.

Les descriptions des événements et des dégâts sont très peu étayées. On n'y trouve peu d'estimations de hauteurs d'eau ni de débits. La crue la plus importante remonte apparemment au 22 juillet 1854. Une évaluation du débit de pointe a alors été réalisée. Le débit a été estimé à  $1\,100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En revanche, la somme des éléments disponibles nous permet de déduire les conclusions suivantes :

- Les événements les plus dommageables sur le bassin versant sont les crues des petits affluents de montagne, notamment le Mardaric et les Eaux Chaudes qui ont inondé Digne à plusieurs reprises.

- Les crues de la Bléone elle-même n'ont pas eu à ce jour d'effets dévastateurs, hormis sur quelques ponts (Grand Pont de Digne, pont du Chaffaut, pont de Marcoux,...). Elles ont occasionné souvent des inondations locales, dans des zones non urbanisées avec pour effet des érosions de berges et des inondations en domaine rural, ainsi que des coupures d'axes routiers. A Malijai, le parking de l'hôtel de ville a été inondé en 1994 et en 2000.

Les études diverses réalisées sur la Bléone ont mené à des estimations approximatives des débits de crues lors des événements les plus récents :

7 janvier 1994	Le débit à la confluence est estimé à environ 300 à 400 m <sup>3</sup> /s. Le débit de pointe du Bes à Pérouré ce jour là est mesuré à 29 m <sup>3</sup> /s, mais le bassin du Bes est alors en dehors de la zone de fortes pluies.  Période de retour légèrement inférieure à 10 ans.
6 novembre 1994	Le débit de la Bléone serait estimé entre 350 et 500 m <sup>3</sup> /s. Le débit mesuré à la station de Pérouré sur le Bes est alors de 82 m <sup>3</sup> /s.  Période de retour d'environ 10 ans.
6 novembre 2000	L'expertise ETRM du pont du Chaffaut (pont détruit lors de cette crue) amène à une estimation de 260 m <sup>3</sup> /s au pont du Chaffaut, ce qui pourrait correspondre à une estimation de 320 m <sup>3</sup> /s à Malijai.  Période de retour inférieure à 10 ans.  D'après EDF, on aurait approché à deux fois le débit de crue cinquantennal au barrage de Malijai lors de cette crue. Or le débit cinquantennal est estimé à 500 m <sup>3</sup> /s par EDF.

### 3.2. ANALYSES ANTERIEURES

Les différentes études précédentes ont aboutit aux résultats suivants concernant les débits de crue sur la Bléone :

	SOGREAH (1974)	CERIC (1977)	Sud-Aménagement (1988)	EDF
Q10 à Digne	235 m <sup>3</sup> /s	170 m <sup>3</sup> /s	177 m <sup>3</sup> /s	
Q100 à Digne	400 à 520 m <sup>3</sup> /s	500 m <sup>3</sup> /s	470 m <sup>3</sup> /s	
Q10 à Malijai	343 m <sup>3</sup> /s	245 m <sup>3</sup> /s	252 m <sup>3</sup> /s	300 m <sup>3</sup> /s
Q100 à Malijai	580 à 760 m <sup>3</sup> /s	700 m <sup>3</sup> /s	690 m <sup>3</sup> /s	900 m <sup>3</sup> /s

Les trois premières études ont été réalisées à partir des données de la station hydrométrique de Malijai entre 1909 et 1956. Les valeurs trouvées nous semblent faibles en comparaison des résultats obtenus sur d'autres rivières de la région. Il apparaît en commentaire, dans l'étude de SOGREAH réalisée en 1974 qu'aucune crue de débit supérieur à 300 m<sup>3</sup>/s n'est enregistrée à la station pendant la période de mesure des débits. Il se pourrait que l'échantillon ne soit pas très représentatif.

### 3.3. DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE PAR LA METHODE SPEED

#### 3.3.1. DESCRIPTION DE LA METHODE

La méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evénements Discrets), développée par SOGREAH, est fondée d'une part sur une analyse particulière et régionale des pluies et, d'autre part, sur la relation mise en évidence par SOGREAH entre pluie et débit de crue.

SPEED est un système probabiliste mis au point à partir de la théorie du Processus de Poisson et de la théorie de l'échantillonnage.

Ceci implique en particulier que les maximums annuels (ou saisonniers) de la pluie journalière ( $P_j$ ) suivent une loi de Gumbel. Cet ajustement des pluies observées sur graphique de Gumbel se traduit par une droite définie par :

- $Y_0$ , qui est le pivot de la distribution, c'est à dire le point où la droite d'ajustement des pluies coupe l'axe des X. On peut montrer que ce pivot est en relation avec le nombre d'événements météorologiques annuels générateurs de pluie.
- La moyenne  $P_{jm}$  qui est plus caractéristique du régime des pluies du secteur.

Le Gradex, pente de la droite de Gumbel utilisée pour évaluer les débits de crues rares.

#### 3.3.2. ANALYSE DES PLUIES

Une analyse pluie-débit régionale réalisée par SOGREAH, à l'occasion de l'élaboration du schéma de restauration et de gestion du torrent des Eaux Chaudes a démontré que l'altitude joue un rôle de majoration de l'intensité des précipitations, sur le département des Alpes de Haute Provence.

Une analyse locale permet d'observer que l'altitude n'est pas forcément, sur le bassin versant de la Bléone, le seul paramètre représentatif de l'intensité des pluies. La position des sites par rapport aux chaînes de montagne est aussi importante. On observe en effet que les pluies sont plus intenses sur les stations de Digne, Entrages, Lambruisse, Thorame et Castellard-Melan que sur les stations de Seyne, Beaujeu, Marcoux.

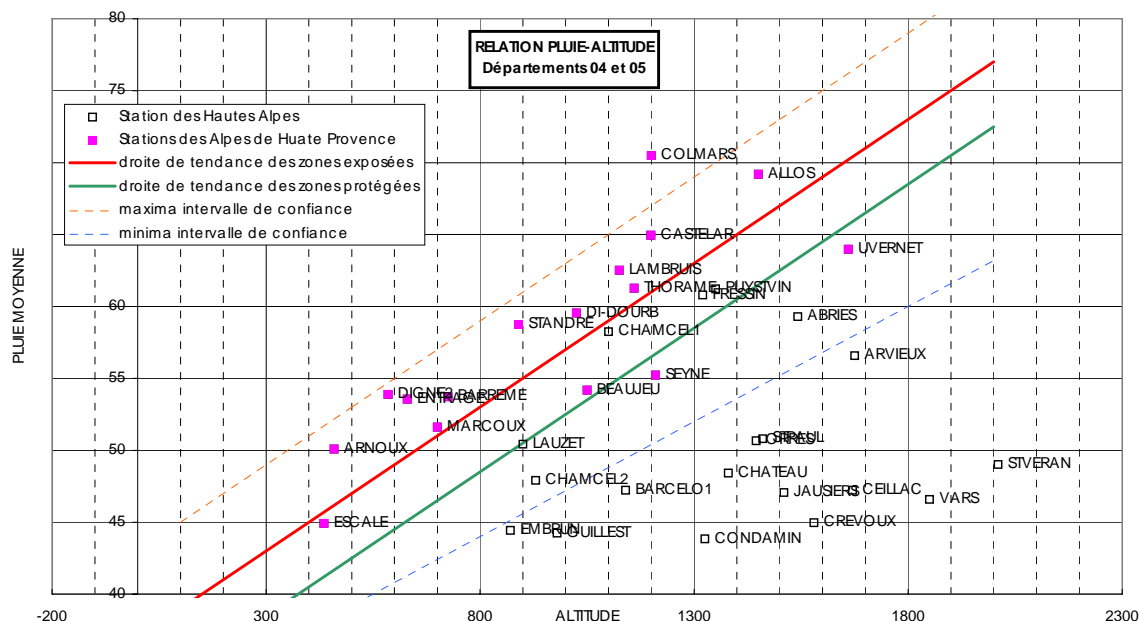
Dans la région, les flux de sud-est sont en général à l'origine des précipitations importantes. Les perturbations se propagent alors des bassins du Verdon et de l'Asse vers celui de la Bléone. Les reliefs exposés au sud-est et situés en avancée subissent les pluies maxima. Les vallées ont des précipitations moindres. Les reliefs situés en retrait de lignes de crête reçoivent des pluies atténuées par rapports aux premiers reliefs exposés.

Ainsi :

- Le bassin versant de la Bléone est beaucoup moins arrosée que celui du Verdon et un peu moins que celui de l'Asse, car les reliefs de ces bassins arrêtent une partie des précipitations.
- Une grande partie du bassin versant est protégée par le contrefort est. Les bassins du Bes et de l'Arigéol sont moins arrosés que la Haute Bléone.
- Les pluies les plus importantes se trouvent sur les sommets du contrefort, puis sur les zones non protégées par le relief, sur l'aval du bassin versant

Nous avons établi, à partir de cette analyse deux droites caractérisant les moyennes de pluies maximales annuelles en fonction de l'altitude :

- L'une caractérisant les zones abritées : bassin versant du Bes, de l'Arigéol,...
- L'autre caractérisant les zones exposées aux flux de sud-est.



A partir de ces deux droites, est déduite, en chaque bassin versant élémentaire la moyenne des pluies maximales annuelles en fonction de l'altitude moyenne du bassin versant. Un intervalle de confiance encadre ces deux droites.

Des analyses locales des pluies ont été réalisées par SOGREAH et ont fait apparaître sur les pluviomètres régionaux un pivot de  $-3.4$ .

Le pivot et la moyenne des pluies maximales annuelles étant connus, on construit une droite de gumbel synthétique en chaque bassin versant élémentaire, représentant les pluies extrêmes du bassin versant.

Les résultats sont les suivants :

bassin	Altitude moyenne du bassin versant en m NGF	Pjm En mm	Intervalle de confiance de P10 En mm	P10 en mm	Intervalle de confiance de P100	P100 en mm	gradex : 1/a
l'Arigéol	1378	60	80<P10<105	90	113<P100<149	128	15.95
la Haute Bléone	1567	68	84<P10<112	103	120<P100<158	145	18.14
la Bléone à la Javie	1510	64	83<P10<110	97	118<P100<156	137	17.12
le Bouinenc	1212	61	76<P10<100	92	107<P100<142	130	16.26
la Bléone amont Bes	1385	63	80<P10<106	95	113<P100<150	134	16.77
le Bes à Pérouré	1457	62	82<P10<108	92	116<P100<153	131	16.37
le Bes à la confluence	1321	59	79<P10<104	88	111<P100<147	125	15.64
le Bléone à	1358	61	79<P10<105	92	112<P100<148	130	16.30

l'aval du Bes							
les Duyes	1201	61	76<P10<100	92	107<P100<141	130	16.20
les Eaux Chaudes	1200	61	76<P10<100	92	107<P100<141	130	16.20
le Bléone à Digne	1308	60	78<P10<103	90	111<P100<146	127	15.93
la Bléone à Malijai	1176	59	72<P10<99	89	102<P100<140	125	15.67

### 3.3.3. ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE

Nous avons utilisé, pour déterminer les débits de crues, les données des stations hydrométriques de Pérouré sur le Bes (bassin versant de 165 km<sup>2</sup>) et de Beynes sur l'Asse (bassin versant de 375 km<sup>2</sup>).

#### 3.3.3.1. RECHERCHE DU SEUIL DE RUISSELLEMENT

Le seuil de ruissellement pur de chaque bassin versant considéré dépend de la nature du sol, de son degré d'altération et de l'épaisseur de la couche altérée. Il représente la lame d'eau maximale qui peut s'infiltrer dans le sol.

La détermination du seuil de ruissellement pur (P0) tel que défini en annexes s'effectue en comparant l'ajustement des débits maximum instantanés réduits aux pluies journalières.

Le débit réduit s'exprime par :  $Q_{re} = Q_{ix} * 12/S^{0.75}$

Nous avons déterminé le seuil de ruissellement sur le Bes, à partir des données limnimétriques à la station de Pérouré et de la droite de Gumbel reconstituée, puis sur l'Asse à partir des débits de la station à Beynes et des données pluviométriques à Entrages.

**Nous avons trouvé P<sub>0</sub> = 50 sur le Bes et P<sub>0</sub> = 65 sur l'Asse.**

La valeur obtenue sur le Bes est extrêmement faible au regard des valeurs obtenues sur d'autres bassins versants régionaux. Cela est dû à la géologie du terrain. Le bassin versant du Bes est entièrement situé en terrain marneux, dont la caractéristique est d'être très peu perméable.

La station hydrométrique de Beynes sur l'Asse est située à la limite entre le haut bassin de l'Asse, en milieu principalement calcaire et un peu marneux, et la basse vallée qui traverse le plateau de Valensole. Cette valeur serait probablement plus importante sur une station plus en aval, car les pentes sont plus faibles et les versants moins boisés.

Sur le bassin versant de la Bléone, seul le Bes comporte une aussi grande proportion de marnes. Le seuil de ruissellement sur le Bes nous semble par conséquent trop faible pour représenter l'ensemble du bassin versant de la Bléone. Les valeurs de P<sub>0</sub> sont fixées par sous-bassin versant au regard de la couverture des terrains, de la géologie et des pentes des versants, par comparaison avec le bassin versant de l'Asse.

1. La couverture végétale des bassins amont de la Bléone est comparable avec celle de l'Asse à l'amont de Beynes. Ces bassins sont tous en terrains calcaires. Les pentes de l'Arigéol, de la Haute Bléone et du Bouinenc sont cependant plus importantes que celle du bassin versant de l'Asse. C'est pourquoi le seuil de ruissellement sur les bassins amont de la Bléone doit être légèrement inférieur à celui de l'Asse.

Nous choisissons : P0 = 60 sur l'Arigéol, la Haute Bléone et le Bouinenc,

Avec, comme intervalle de confiance :  $55 < P_0 < 70$

2. Le bassin versant intermédiaire de la Bléone entre les confluences de l'Arigéol et du Bes est situé en terrain marneux. Les pentes et la couverture végétale y sont comparables.

Nous choisissons donc :  $P_0 = 50$  sur le bassin intermédiaire entre l'Arigéol et le Bes ainsi que sur le Bes.

Avec, comme intervalle de confiance :  $45 < P_0 < 65$

3. A l'aval de la confluence du Bes, tous les bassins versants sont situés dans le plateau de Valensole. Ce terrain est plus perméable que le terrain marneux et sans doute plus perméable que les calcaires du bassin de l'Asse (car même si la perméabilité d'un terrain calcaire est difficilement quantifiable du fait de la présence de réseaux karstiques, un seuil de ruissellement de 65 sur l'Asse révèle une infiltration modeste).

La vallée de la Bléone, à partir de Digne est localement urbanisée. La culture y devient plus présente, ce qui compense la différence géologique avec l'Asse.

Nous choisissons donc :

$P_0 = 65$  pour les bassins intermédiaires de la Bléone et pour les Eaux Chaudes,

Avec comme intervalle de confiance :  $60 < P_0 < 70$

$P_0 = 70$  sur les Duyes qui sont très cultivés, mais très peu urbanisés,

Avec comme intervalle de confiance :  $60 < P_0 < 75$

### 3.3.3.2. RECONSTITUTION DES DEBITS

A partir des droites de Gumbel représentant les pluies extrêmes sur les différents bassins versants et connaissant le seuil de ruissellement, on déduit, pour les crues extrêmes, les débits réduits, puis les débits de pointe pour différentes périodes de retour.

Cette méthodologie est applicable en un bassin versant donné et à la période de retour  $T$ , si la quantité  $P_0$  de pluie a pu s'infiltrer. C'est-à-dire, si la « cassure » (point à partir duquel la droite d'ajustement des débits réduits est parallèle à la droite d'ajustement des pluies) du bassin versant s'effectue avant  $T$ .

Les « cassures » des courbes d'ajustement des débits réduits se font en général autour de la période de retour de 10 ans. Sur le Bes, elle se fait légèrement plus tard, sur l'Asse elle se fait plutôt vers 30 ans.

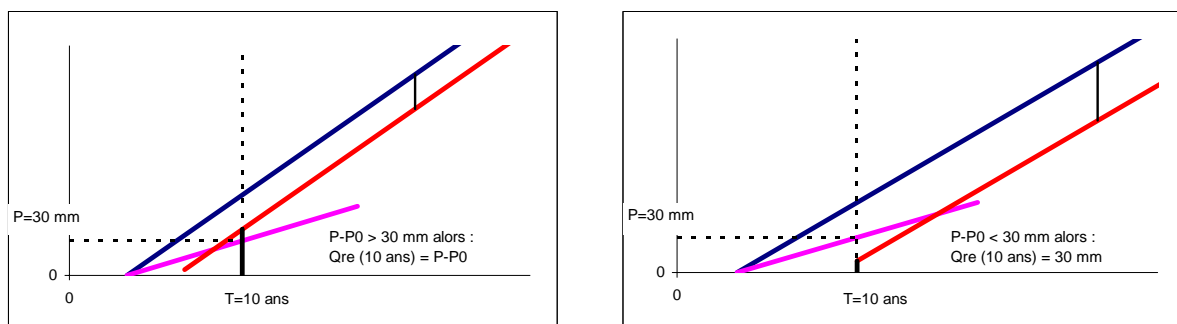
On observe, sur ces deux stations, que la pente de la droite d'ajustement avant la « cassure » est la même. Ce qui signifie que les débits réduits ont les mêmes périodes de retour pour ces deux cours d'eau jusqu'à ce que la capacité d'infiltration du sol soit atteinte.

En chaque bassin versant, la droite d'ajustement, pour les périodes de retour importantes est parallèle à celle des pluies, décalée de  $P_0$ . Pour les périodes de retour faibles, elle est identique à celles du Bes et de l'Asse. La « cassure » a lieu à l'interception de ces deux droites.

Ainsi, pour la période de retour 10 ans, si  $P_{10} - P_0 < 30$  mm ( $Q_{re}(T)$  de la droite d'ajustement pour les périodes de retour faibles) cela signifie que la « cassure » a lieu pour une période de retour plus importante que 10 ans.

Alors  $Q_{re} = 30$  mm.





Il se peut que cette valeur de débit réduit amène à surévaluer légèrement le débit décennal des Duyes. En effet, sur ce bassin versant, la méthodologie retenue fait apparaître la cassure à une période de retour supérieure à 10 ans. Or l'infiltration sur ce bassin est probablement plus rapide sur les Duyes que sur le Bes ou l'Asse du fait de la couverture végétale différente (plus d'agriculture et moins de forêts) et du fait que les pentes y sont moins importantes. N'ayant pas plus d'éléments pour quantifier ce débit, nous conserverons toutefois la valeur obtenue.

On obtient ainsi :

bassin	P10 en mm	P100 en mm	P0 en mm	Qre10 en mm	Qre100 en mm	S en km <sup>2</sup>	Q10 en m <sup>3</sup> /s	Q100 en m <sup>3</sup> /s
l'Arigéol	90	128	60	30	68	66.2	58	132
la Haute Bléone	103	145	60	43	85	153.7	157	310
la Bléone à la Javie	97	137	60	37	77	220	176	367
le Bouinenc	92	130	60	32	70	37.9	41	89
la Bléone amont Bes	95	134	58	37	76	313	228	470
le Bes à Pérouré	92	131	50	42	81	165	161	311
le Bes à la confluence	88	125	50	38	75	23.4	189	373
le Bléone à l'aval du Bes	92	130	55	37	75	546	351	709
les Duyes	92	130	70	30	60	124.5	93	186
les Eaux Chaudes	92	130	65	30	65	60.5	54	118
la Bléone à Digne (aval des eaux Chaudes)	90	127	56	34	71	630	355	743
la Bléone à Malijai	89	125	59	30	66	906	413	908

Nous obtenons une valeur de débit centennal identique de celle considérée par EDF à Malijai. En revanche, le débit de crue décennal est un peu plus élevé. Notons qu'en 8 ans, ces dernières années la valeur de 300 m<sup>3</sup>/s a été dépassée au moins trois fois, ce qui permet de penser qu'effectivement un débit décennal supérieur à 300 m<sup>3</sup>/s peut être réliste.

Nous attirons cependant l'attention sur le fait que les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus ne sont qu'un ordre de grandeur des débits de crue de la Bléone et de ses affluents. Sur un bassin versant non jaugé, il est impossible d'approcher de manière certaine ces valeurs. Nous ne proposons par conséquent ci-dessus que les valeurs de débit qui nous semblent les plus pertinentes. Le tableau ci-dessous permet d'encadrer en tout point les débits de crue.

Le débit maximum en chaque point est établi en prenant la valeur de la pluie maximale en chaque sous-bassin versant et le seuil de ruissellement minimum.

Le débit minimum est établi en prenant la pluie minimale et le seuil de ruissellement maximum. En ce qui concerne les débits décennaux de crue, ceux-ci sont établis en considérant que le débit réduit minimum est égal à 15 mm (ce qui correspond, avant la « cassure », à un ruissellement deux fois moindre que pour les hypothèses retenues ci-dessus).

On obtient alors les intervalles de confiance suivants :

bassin	Q10inf	Q10sup	Q100inf	Q100sup
l'Arigéol	29	97	83	182
la Haute Bléone	55	208	180	375
la Bléone à la Javie	71	262	227	481
le Bouinenc	19	57	48	111
la Bléone amont Bes	93	327	274	600
le Bes à Pérouré	64	242	195	414
le Bes à la confluence	75	293	229	507
le Bléone à l'aval du Bes	141	520	424	925
les Duyes	47	124	100	252
les Eaux Chaudes	27	72	67	146
la Bléone à Digne	157	544	451	994
la Bléone à Malijai	206	622	452	1186

On observe bien que ces intervalles de confiance sont très étendus. Le rapport entre les deux valeurs de l'intervalle de confiance vont de 1 à 2,5 en crue centennale et de 1 à 4 en crue décennale.

Notons que ces valeurs de débits vont, par la suite être utilisées pour déterminer les conditions d'écoulement de la Bléone et de ses affluents ainsi que pour évaluer les apports de matériaux en crue. Or, les cours d'eau du bassin de la Bléone ont des lits mineurs très étendus. Ainsi une variation de débit de 20% (valeur relative de l'augmentation des débits par rapport aux valeurs antérieures) n'induirait qu'une faible variation des hauteurs d'eau. De plus, le lit de la Bléone ainsi que ceux de ses affluents étant amenés à se modifier considérablement dans les années à venir, l'imprécision des calculs de lignes d'eau due à l'incertitude sur les débits est beaucoup moins importante que celle liée à l'abaissement ou l'exhaussement du lit à court ou moyen terme. D'autre part, en ce qui concerne les apports de matériaux, le débit est un paramètre moins imprécis encore que celui du diamètre moyen. L'imprécision qu'il génère est faible au regard de celle générée par l'erreur sur l'estimation du diamètre des matériaux.

### 3.4. COMPARAISON REGIONALE

Les débits naturels de crue du Verdon ont été reconstitués par SOGREAH et donnent les résultats suivants :

Le Verdon à Castellane  $s=700 \text{ km}^2$ ,  $Q_{10} = 284 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{100} = 748 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

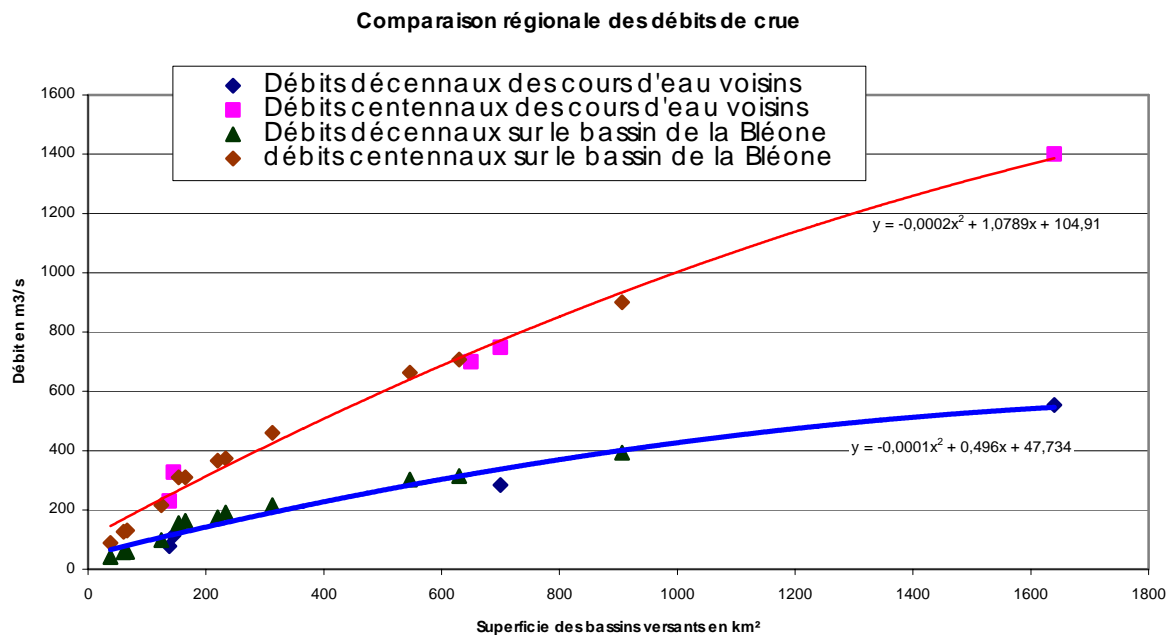
Le Verdon à Quinson  $s= 1640 \text{ km}^2$ ,  $Q_{10} = 554 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{100}=1400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

D'autres études ont abouti aux résultats suivants sur des cours d'eau régionaux :

L'Asse :  $S = 650 \text{ km}^2$ ,  $Q_{100} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

Le Jabron :  $S = 145 \text{ km}^2$ ,  $Q_{10} = 113 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{100} = 327 \text{ m}^3/\text{s}$

Le Guil à Abriès:  $S = 138 \text{ km}^2$ ,  $Q_{10} = 78 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{100} = 230 \text{ m}^3/\text{s}$ .



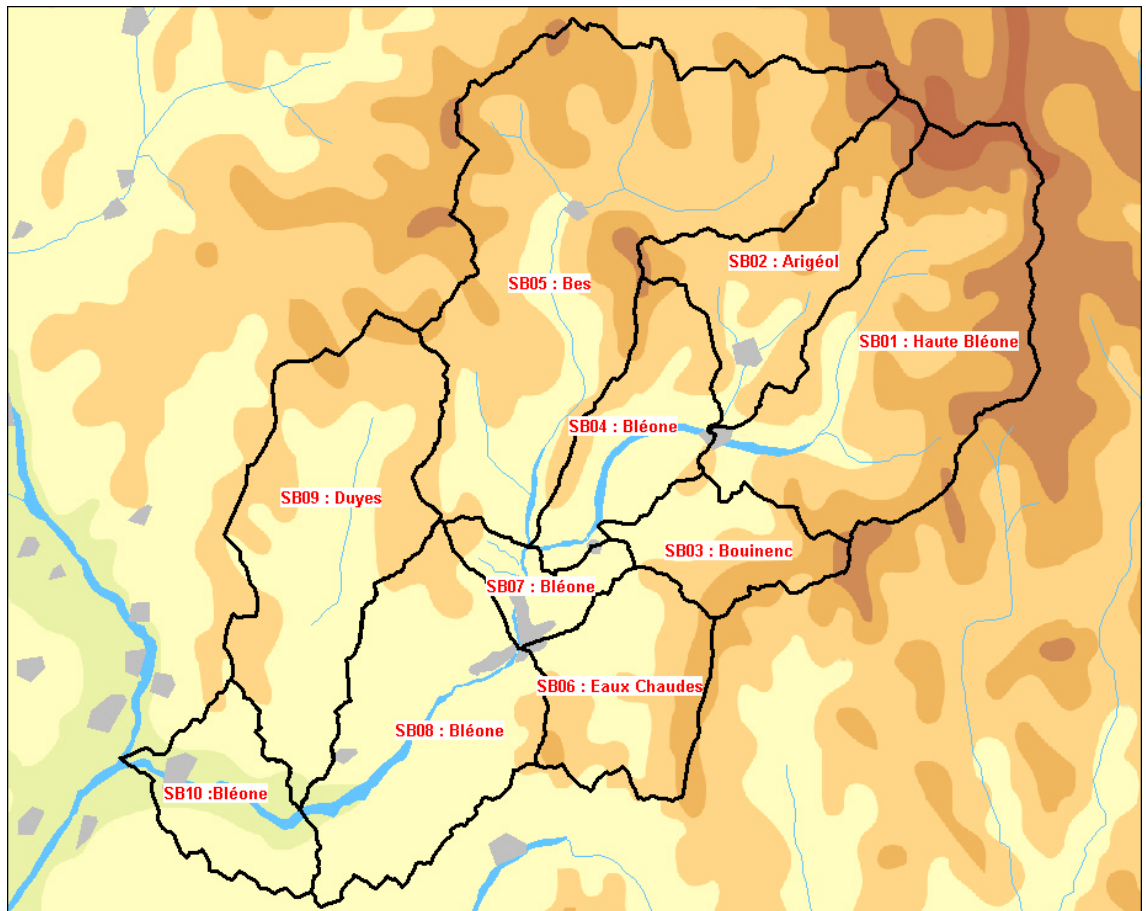
La courbe ci-dessus montre une cohérence régionale, ce qui permet de valider l'analyse ci-dessus.

### 3.5. MODELISATION PLUIE-DEBIT

Le modèle Pluie\_Débit a été construit à l'aide du logiciel PLUTON, développé par SOGREAH.

L'objectif de cette modélisation est de déterminer les apports des différents affluents de la Bléone en période de crue, afin, d'une part d'étudier plus précisément les crues des affluents, d'autre part de définir le rôle de chaque sous-bassin versant dans la formation des crues.

Le bassin versant a été découpé en 10 sous-bassins versants élémentaires, décrits par leur surface, la longueur du drain principal et la pente moyenne pour le calcul du temps de concentration. Le découpage est présenté sur la carte suivante.



Les temps de concentration ont été calculés par la méthode SOGREAH qui représente bien les bassins naturels. Les résultats, pour les affluents sont les suivants :

Bassin versant	Temps de concentration
SB01 : Haute Bléone	3 h 20
SB02 : Arigéol	2 h 40
SB03 : Le Bouinenc	1 h 50
SB05 : Le Bes	4 h 30
SB06 : Les Eaux Chaudes	3 h 10
SB09 : Les Duyes	3 h 50

Les débits de la Bléone, en aval du bassin élémentaire de la Haute Bléone sont calculés par des combinaisons des sous-bassins affluents et des sous bassins intermédiaires en faisant intervenir des décalages temporels entre les différents apports, de manière à représenter le temps de transit de l'hydrogramme de l'amont à l'aval d'un bassin intermédiaire. Le temps de concentration de la Bléone à l'aval de La Javie dépend donc des temps de transit pris en compte. Ces-derniers sont donnés, à l'aval du Bes par le modèle hydraulique réalisé pour l'étude des zones inondables. De La Javie à la confluence du Bes, il est estimé en fonction de la longueur du tronçon et de sa pente. On obtient :

La Bléone à :	Temps de concentration en heures
---------------	-------------------------------------

L'aval immédiat de la confluence du Bes	4 h 30
L'aval des Eau Chaudes	5 h 00
L'aval des Duyes	6 h 20
Confluence Durance	7 h 20

On notera que les crues type de la Durance aval ont un temps de base de l'ordre de 40h, et un temps de montée de l'ordre de 20h. Un temps de concentration de 7h sur la seule Bléone paraît donc tout à fait cohérent.

Les coefficients de ruissellement ont été fixés en fonction de la couverture des bassins versants. Classiquement, on utilise, pour des terrains de perméabilité moyenne les valeurs suivantes :

	Crue de période de retour 10 ans	Crue de période de retour 100 ans
Bois	0.1 à 0.2	0.15 à 0.3
Paturages	0.15 à 0.25	0.20 à 0.35
Cultures	0.2 à 0.4	0.3 à 0.5

### **Modélisation des crues historiques récentes**

Les crues historiques récentes (janvier et novembre 1994, 6 novembre, 23 novembre 2000) ont été modélisées à partir des pluviogrammes à la station de Saint-Auban, Météo-France n'étant pas en mesure de nous garantir la validité des autres pluviogrammes du bassin. Le modèle donne, pour les pluies enregistrées à Saint-Auban les résultats suivants :

Date	Débit de pointe
6-7 janvier 1994	340 m <sup>3</sup> /s
5-6 novembre 1994	372 m <sup>3</sup> /s
6 novembre 2000	383 m <sup>3</sup> /s
23-24 novembre 2000	224 m <sup>3</sup> /s

Ces résultats correspondent aux évaluations antérieures (voir début du chapitre).

### **Modélisation des crues synthétiques**

Nous avons considéré pour cela, deux types d'événements :

- les pluies d'orage avec des intensités très fortes sur des pas de temps de l'ordre de l'heure, provoquant des crues particulièrement importantes sur les affluents et sur le bassin versant amont, de période de retour plus faible sur la Bléone à l'aval.
- des pluies moins intenses, mais plus durables (pluie intense constante sur 8h, durée se rapprochant du temps de concentration de la Bléone), provoquant des crues particulièrement importantes sur la Bléone dans sa partie aval, mais plus faibles sur les affluents.

La durée totale de la pluie est prise à chaque fois égale à 24 h. La pluie totale est égale à la pluie journalière de période de retour considérée. L'intensité de la pluie, sur les différents pas de temps est calculée par la méthode de Montana.

Les coefficients de Montana, pour les durées de 1 à 6h et de 6 à 24h ont été calculés par METEO-FRANCE à la station de Saint-Auban :

Durée de retour	Durée de pluie de 1 à 6h		Durée de pluie de 6 à 24h	
	a	b	a	b
10 ans	11.871	0.739	12.080	0.743
100 ans	18.861	0.760	17.221	0.747

Les coefficients de ruissellement pris en compte sont les suivants :

Bassin versant	Coefficient de ruissellement		Bassin versant	Coefficient de ruissellement	
	En Q10	En Q100		En Q10	En Q100
BV01	0.22	0.30	BV06	0.18	0.35
BV02	0.17	0.32	BV07	0.35	0.36
BV03	0.17	0.32	BV08	0.15	0.30
BV04	0.22	0.35	BV09	0.17	0.30
BV05	0.21	0.37	BV10	0.15	0.30

Les hydrogrammes résultants sont présentés en annexes.

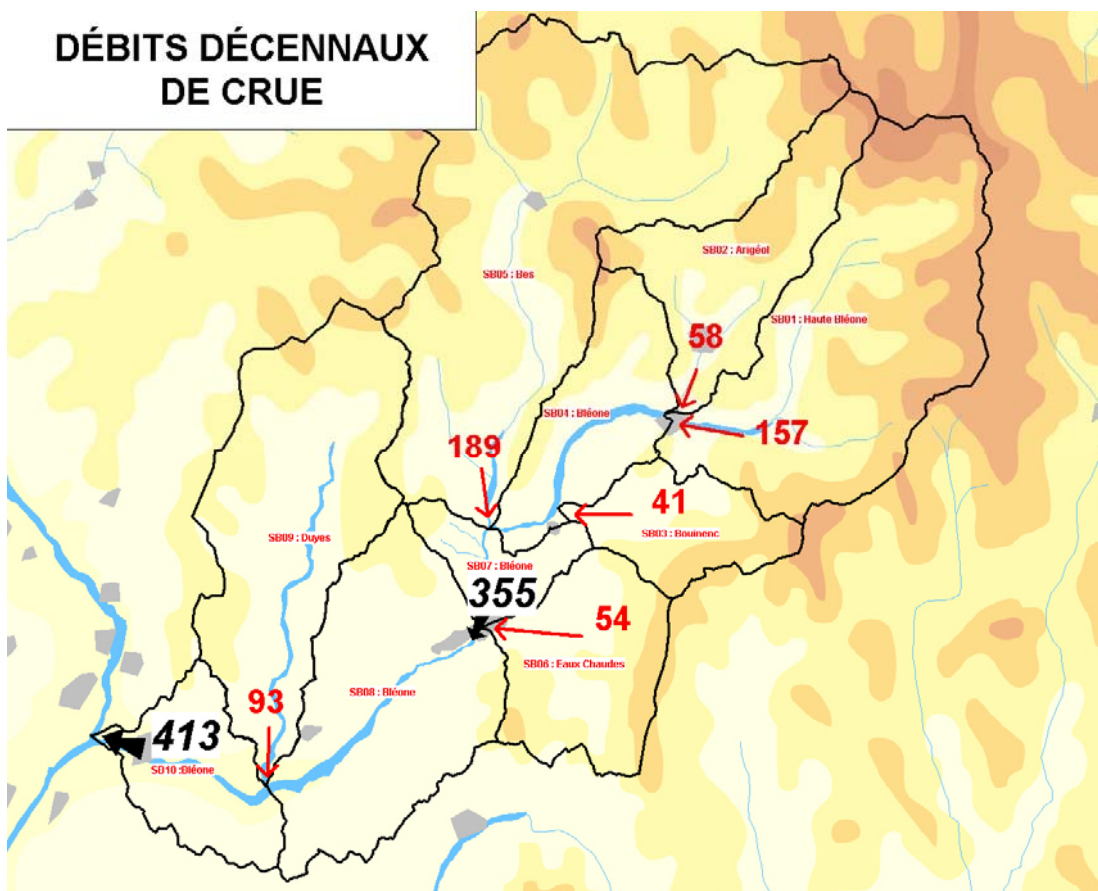
### 3.6. SYNTHESE DES DEBITS DE CRUE

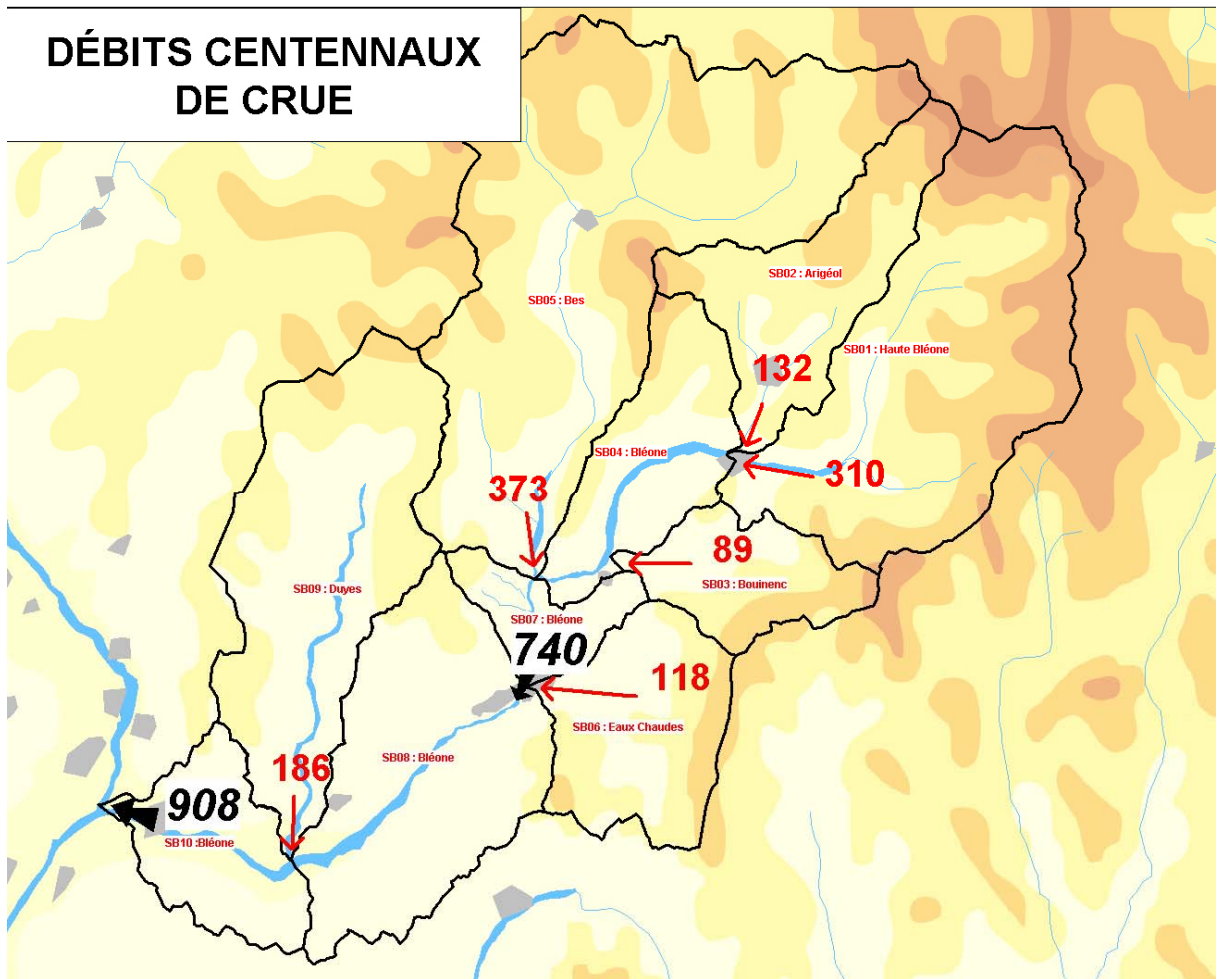
Les figures suivantes présentent une synthèse des débits de crue que nous proposons de retenir.

PAGE 21



## DÉBITS DÉCENNAUX DE CRUE





*Nota : Au moment de l'édition définitive de ce document, nous disposons d'une expertise réalisée fin 2006 par Ph. Lefort<sup>1</sup> qui comprend notamment une analyse critique de l'hydrologie de la Bléone.*

*Dans le but d'ouvrir la réflexion sur ce sujet, nous reproduisons ci-dessous la conclusion de cette expertise :*

*« L'analyse qui précède montre que la majoration des débits de référence proposée par Sogreah sur la Bléone [à Digne, à l'amont des Eaux Chaudes] est dans une large mesure excessive : au lieu de 40 % d'un débit de 500 m³/s, elle serait comprise entre 10 % et 20 %, si l'on se réfère aux données et interprétations du bassin voisin du Verdon.*

<sup>1</sup> Philippe Lefort - Expertise des études de la Bléone en amont du Grand Pont de Digne - Note technique - Novembre 2006

*L'insuffisance des mesures sur la Bléone est la cause la plus évidente de l'écart entre les estimations anciennes et actuelles. Il nous semble cependant qu'une critique rigoureuse des données, pluies et débits, et de leur répartition spatiale pourrait permettre d'aller au delà de notre raisonnement. Il faudra pour cela :*

- ⇒ *Analyser les données de pluie et décrire leur répartition spatiale pour chaque événement.*
- ⇒ *Revoir, à partir de jaugeages, les courbes de tarage des stations les plus proches et d'abord Pérouré et Chabrières.*
- ⇒ *Effectuer une enquête auprès des riverains en amont et en aval de Digne afin d'établir un classement qualitatif des crues majeures historiques et des crues de la période récente, notamment celles de 1994, 1999, 2000.*

*Dans la suite de cette analyse, nous décrirons les conséquences sur le risque inondation en amont du Grand Pont pour des débits compris entre 550 m<sup>3</sup>/s et 700 m<sup>3</sup>/s. »*

## 4. HYDROLOGIE DES ETIAGES

L'analyse des étiages est sans doute aussi délicate que celle des crues, dans la mesure où le « bruit » sur les observations prend une place très importante.

Une des difficultés provient du caractère très ponctuel des observations : le débit mesuré à un endroit précis dépend bien sûr des apports du bassin versant, mais aussi de la proportion de ces apports qui se sont infiltrés dans la nappe, ou au contraire que la nappe a restitué. A l'extrême, les infiltrations peuvent absorber la totalité des apports, entraînant des assecs (cas des Duyes).

Les valeurs ponctuelles ne peuvent donc pas être extrapolées à d'autres points du bassin sans précautions.

**En revanche, on peut s'intéresser au flux total d'étiage débit de surface + débit de nappe : on peut légitimement admettre que ce flux total est en relation directe avec la taille du bassin versant.**

La démarche proposée est donc la suivante :

- ✓ évaluer le flux total, en s'appuyant notamment sur les stations où la nappe est négligeable, et assurant une cohérence amont - aval
- ✓ évaluer les flux de nappe à partir des caractéristiques disponibles de l'aquifère
- ✓ déduire les débits de surface par différence des deux, et analyser la cohérence des valeurs obtenues avec les observations directes de surface.

Cette démarche est certes entachée d'importantes incertitudes, mais elle permet de disposer d'une trame cohérente pour interpréter les données disponibles.

### 4.1. FLUX TOTAL D'ETIAGE

La seule station disponible sur le bassin est celle de Pérouré sur le Bès :

- ✓ 165 km<sup>2</sup>
- ✓ QMNA5 (débit moyen mensuel le plus bas avec une période de retour de 5 ans): 610 l/s (3,7 l/s/km<sup>2</sup>)
- ✓ VCN10 – 5 ans (débit non dépassé pendant 10 jours consécutifs avec une période de retour de 5 ans): 500 l/s (3 l/s/km<sup>2</sup>)

Cette station est située sur un tronçon où la nappe est négligeable: ces valeurs caractérisent donc le flux total d'étiage.

Toutefois, le débit spécifique du Bès semble élevé, et ne caractérise sans doute pas l'ensemble du bassin.

Sur les bassins voisins, on obtient pour le QMNA5 des débits spécifiques de 3,2 l/s/km<sup>2</sup> sur le Verdon à Castillon, 2,4 l/s/km<sup>2</sup> sur le Buëch à Serres et à peine 1 l/s/km<sup>2</sup> sur l'Asse à Chabrières. On ne dispose pas d'informations sur le flux souterrain à ces stations.

Toutefois, il apparaît clairement que les débits spécifiques du Bès sont forts, caractéristiques d'un bassin de forte altitude et bien exposé. On peut s'attendre à des débits spécifiques de l'ordre de 2 l/s/km<sup>2</sup>, voire moins, sur le bassin inférieur de la Bléone.

La synthèse exposée plus loin donne des résultats assez cohérents en admettant les débits spécifiques suivants :

- ✓ 3,7 l/s/km<sup>2</sup> sur le Bès
- ✓ 3,0 l/s/km<sup>2</sup> sur la Bléone amont et l'Arigéol, plus abrités (cf. le Verdon)
- ✓ 1 à 2 l/s/km<sup>2</sup> sur le reste du bassin : Eaux Chaudes, Duyes et bassin intermédiaire.

## 4.2. FLUX DE NAPPE

A partir des informations disponibles sur les perméabilités, les dimensions de l'aquifère et le gradient de la nappe, on peut tenter de cerner les débits écoulés par la nappe phréatique.

Les dimensions de l'aquifère sont issues des coupes-type et des autres informations présentées dans le rapport « hydrogéologie ». Les épaisseurs sont parfois seulement hypothétiques (notées « ? »).

Le gradient est issu des cartes piézométriques sur la Bléone, et présumé comparable à celui de la vallée sur les affluents.

Enfin, on dispose d'informations précises sur les perméabilités au droit des captages :

- ✓ de l'ordre de 10<sup>-3</sup> à 5.10<sup>-3</sup> m/s à Marcoux, valeurs centrales que nous avons admises en général en l'absence d'autres informations
- ✓ des valeurs plus fortes au Chaffaut et à Aiglun (7.10<sup>-3</sup> m/s)
- ✓ des valeurs plus faibles à Malijai.

De ces éléments, on peut calculer une fourchette de débit par la formule de Darcy :

$$Q = k \cdot L \cdot e \cdot i$$

(débit = perméabilité x section de l'aquifère x gradient)

			Perméabilité min	Perméabilité max		Epaisseur		Largeur	Gradient		Débit min	Débit max
			k			e		L	i		Q=keLi	
			m/s	m/s		m		m			l/s	l/s
Arigéol	La Javie		1.0E-03	5.0E-03	?	7	?	250	2%		35	175
Duyes	Chevalet		1.0E-03	5.0E-03	?	4		300	1.80%	?	22	108
	Thoard		1.0E-03	5.0E-03	?	10		150	1.80%	?	27	135
	Barras		1.0E-03	5.0E-03	?	10	?	350	1.80%	?	63	315
Bès	Verdaches		1.0E-03	5.0E-03	?	11.5		150	2.00%	?	35	173
Eaux Chaudes	Dignes	Pigeonnier	1.0E-03	5.0E-03	?	7.2		120	1.50%	?	13	65
Bléone	La Javie	amont pont	1.0E-03	5.0E-03	?	14		200	2.00%		56	280
		aval Arigéol	1.0E-03	5.0E-03	?	7		900	1.40%		88	441
	Marcoux	amont pont	1.0E-03	5.0E-03	?	21		600	1.70%		214	1071
		entre pont et t	1.0E-03	5.0E-03	?	20		400	0.95%		76	380
	Digne	amont EC	1.0E-03	5.0E-03		15		400	0.91%		55	273
		pont CP	1.0E-03	5.0E-03	?	12		700	1.20%		101	504
		STEP	7.0E-03	7.0E-03		9		700	0.83%		366	366
	Aiglun		2.0E-03	7.0E-03		30		1150	0.93%		642	2246
	Malmoisson		1.0E-03	5.0E-03	?	17		1400	0.83%		198	988
	Cornerie		1.0E-03	5.0E-03	?	20		900	0.83%		149	747
	Malijai		7.0E-04	2.0E-03		6		130	0.60%		3	9

Les débits estimés sont très variables : quasiment nuls dans les verrous (Malijai, par exemple), ils sont très importants notamment dans la plaine de Marcoux et dans celle d'Aiglun.

#### 4.3. DEBIT DE SURFACE

En s'appuyant sur une répartition du flux global entre la surface et la nappe (les apports latéraux de la nappe contribuent à l'accroissement du flux global comme les apports de surface par les affluents), on peut tenter la synthèse de la page suivante.

Pour le VCN10-5 ans, le rapport entre cette valeur et le QMNA5 varie de 0.6 à 0.8 selon les bassins (Buëch, Verdon, Asse, Bès). On a admis un rapport constant pour le flux global de 0.7, dans la mesure où on manque trop d'informations pour prétendre nuancer. L'intérêt de ce calcul complémentaire est de montrer la forte sensibilité de la valeur du débit de surface lorsque le débit de nappe est important (cf. Marcoux ou Aiglun).

SYNDICAT MIXTE D'AMENAGEMENT DE LA BLEONE  
ELABORATION DU SCHEMA DE RESTAURATION ET DE GESTION DE LA BLEONE ET DE SES AFFLUENTS  
ETAT DES LIEUX – DIAGNOSTIC  
VOLET HYDROLOGIE

			Evaluations antérieures (source DDAF)		Flux de nappe		QMNA5				VCN10 - 5 ans		Source DDAF 04			
		superficie du BV	QMNA5 antérieur	débit spécifique	Q nappe min	Q nappe max	total surface + nappe	débit spécifique	Q nappe	Q surface	Q total	Q surface	DOE	DCR	Etiage 2004 mini	Etiage 2003 mini
		km²	l/s	l/s/km²	l/s	l/s	l/s	l/s/km²	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s
Arigéol	à la confluence	66	116	1.8	40	150	200	3.0	95	105	140	45				
Le Bès	à la confluence	233	780	3.3	100	300	840	3.6	200	640	588	388				
	Pérouré	165	620	3.8	0	0	610	3.7	0	610	427	427				
Eaux Chaudes		61	46	0.8	20	50	121	2.0	35	86	85	50				
Duyes	Barras	100			100	300	200	2.0	200	0	140	0				
	confluence	125	0	0.0	100	400	250	2.0	250	0	175	0				
Bléone	Bléone amont	154	300	1.9	100	200	460	3.0	150	310	322	172				
	aval Arigéol	220			100	400	660	3.0	250	410	462	212				
	Marcoux	270			200	1000	760	2.8	600	160	532	0	470	235	73	
	amont Bès	313	556	1.8	100	300	840	2.7	200	640	588	388				
	aval Bès	546	1300	2.4	100	300	1680	3.1	200	1480	1176	976				926
	amont Eaux Chaudes	569	1350	2.4	100	300	1730	3.0	200	1530	1211	1011	810	405	840	
	aval Eaux Chaudes	630			100	300	1851	2.9	200	1651	1296	1096				
	STEP Dignes	688	1400	2.0	400	400	1950	2.8	400	1550	1365	965				
	Aiglun	710			600	2000	2010	2.8	1300	710	1407	107				
	amont Duyes	737	1468	2.0	150	700	2050	2.8	425	1625	1435	1010				
	aval Duyes	861			150	700	2300	2.7	425	1875	1610	1185				
	Malijai	906	1700	1.9	10	10	2380	2.6	10	2370	1666	1656				

Avec débit spécifique de 2 l/s/km² sur l'aval du bassin



SYNDICAT MIXTE D'AMENAGEMENT DE LA BLEONE  
ELABORATION DU SCHEMA DE RESTAURATION ET DE GESTION DE LA BLEONE ET DE SES AFFLUENTS  
ETAT DES LIEUX – DIAGNOSTIC  
VOLET HYDROLOGIE

			Evaluations antérieures (source DDAF)		Flux de nappe		QMNA5				VCN10 - 5 ans		Source DDAF 04			
		superficie du BV km²	QMNA5 antérieur l/s	débit spécifique l/s/km²	Q nappe min l/s	Q nappe max l/s	total surface + nappe l/s	débit spécifique l/s/km²	Q nappe l/s	Q surface l/s	Q total l/s	Q surface l/s	DOE l/s	DCR l/s	Etiage 2004 mini l/s	Etiage 2003 mini l/s
Arigéol	à la confluence	66	116	1.8	40	150	200	3.0	95	105	140	45				
Le Bès	à la confluence	233	780	3.3	100	300	840	3.6	200	640	588	388				
	Pérouré	165	620	3.8	0	0	610	3.7	0	610	427	427				
Eaux Chaudes		61	46	0.8	20	50	60	1.0	35	25	42	7				
Duyes	Barras	100			100	300	100	1.0	200	0	70	0				
	confluence	125	0	0.0	100	400	125	1.0	250	0	88	0				
Bléone	Bléone amont	154	300	1.9	100	200	460	3.0	150	310	322	172				
	aval Arigéol	220			100	400	660	3.0	250	410	462	212				
	Marcoux	270			200	1000	710	2.6	600	110	497	0	470	235	73	
	amont Bès	313	556	1.8	100	300	750	2.4	200	550	525	325				
	aval Bès	546	1300	2.4	100	300	1590	2.9	200	1390	1113	913				926
	amont Eaux Chaudes	569	1350	2.4	100	300	1610	2.8	200	1410	1127	927	810	405	840	
	aval Eaux Chaudes	630			100	300	1670	2.7	200	1470	1169	969				
	STEP Dignes	688	1400	2.0	400	400	1720	2.5	400	1320	1204	804				
	Aiglun	710			600	2000	1750	2.5	1300	450	1225	0				
	amont Duyes	737	1468	2.0	150	700	1780	2.4	425	1355	1246	821				
	aval Duyes	861			150	700	1800	2.1	425	1375	1260	835				
	Malijai	906	1700	1.9	10	10	1850	2.0	10	1840	1295	1285				

*Avec débit spécifique de 1 l/s/km² sur l'aval du bassin*

DOE : débit objectif d'étiage

DCR : débit de crise

Ce tableau appelle un certain nombre de commentaires :

- ✓ Les valeurs obtenues pour le QMNA5 de surface ne diffèrent pas fondamentalement des valeurs antérieurement retenues (d'ailleurs, on ne dispose guère de beaucoup de mesures supplémentaires), mais permet de leur donner de la cohérence. Seule exception : la valeur à Malijai, que nous proposons de revoir à la hausse dans la mesure où la capacité de l'aquifère à ce niveau est négligeable.
- ✓ Cette approche permet de mieux percevoir l'influence de la nappe sur les débits de surface.
- ✓ Sur les Duyes, où les assecs sont réguliers, la puissance de la nappe explique la disparition des débits de surface. Il est même probable que la capacité de la nappe dépasse les évaluations faites ici, dans la mesure où les assecs ne sont pas limités – semble-t-il – à une fréquence quinquennale.
- ✓ Au niveau de Marcoux, la capacité de la nappe atteint l'ordre de grandeur des flux globaux d'étiage : il semble donc que les assecs signalés certaines années puissent s'expliquer par le simple fonctionnement naturel du système, même si les pompes AEP doivent amplifier le phénomène.
- ✓ Au niveau d'Aiglun, la capacité de la nappe doit conduire à une forte réduction du débit de surface, même si nous ne disposons pas de données à ce niveau.

#### 4.4. LES PRELEVEMENTS

##### 4.4.1. PRELEVEMENTS AGRICOLES

##### 4.4.2. AUTRES PRELEVEMENTS

#### 4.5. ANALYSE DE JAUGEAGES RECENTS

##### 4.5.1. JAUGEAGES B. LAMBEY 2002

Nous avons réalisé dans le cadre de l'étude une campagne de Jaugeage en 2002 (B. Lambey : cf. annexe rapport « milieux aquatiques ») qui a donné les résultats suivants :

#### DEBITS DE LA BLEONE ET DE SES AFFLUENTS - en l/s - JAUGEAGES 2002-2003

STATIONS	Surface du BV km <sup>2</sup>	21 mai 2002	19-20 août 2002	17 septembre 2002	28 octobre 2002	26 février 2003
<b>BLEONE</b>						
1. Prads	38	1390	550	650	770	590
2. pont du Mousteiret (Brusquet)	244	3870	1570	2100	2700	1690
3. pont de Marcoux	303	3315	1030	2240	3000	1510
4. pont des Arches	552	5250	1760	3750	5000	3100

STATIONS	Surface du BV km <sup>2</sup>	21 mai 2002	19-20 août 2002	17 septembre 2002	28 octobre 2002	26 février 2003
5. pont CP	640	6210	2370	4280	5730	3550
6. Plan du Chaffaut (aval STEP de Digne)	700	6910	2830	4760	5950	3690
7. Malijai, aval confluent des Duyes)	868	9780	3280	5460	6150	3820
Malijai, aval barrage EDF			215	260		
<b>BES</b>						
8. le Vernet	22	150	100	200	250	160
9. Verdaches	66	590	230	520	650	440
10. Esclangon - Pérouré	173	1720	890	1020	1050	870
<b>DUYES</b>						
Thoard			15	100		
11. Mallemoisson	120	1010	20	70	150	760
<b>AUTRES AFFLUENTS</b>						
<b>ARIGEOL</b>			200	290		
<b>EAUX CHAUDES</b>			70	100		

Aucun de ces relevés ne semble correspondre à un étiage sévère.

Ils apportent toutefois des informations sur les flux relatifs et sur les échanges nappe – rivière :

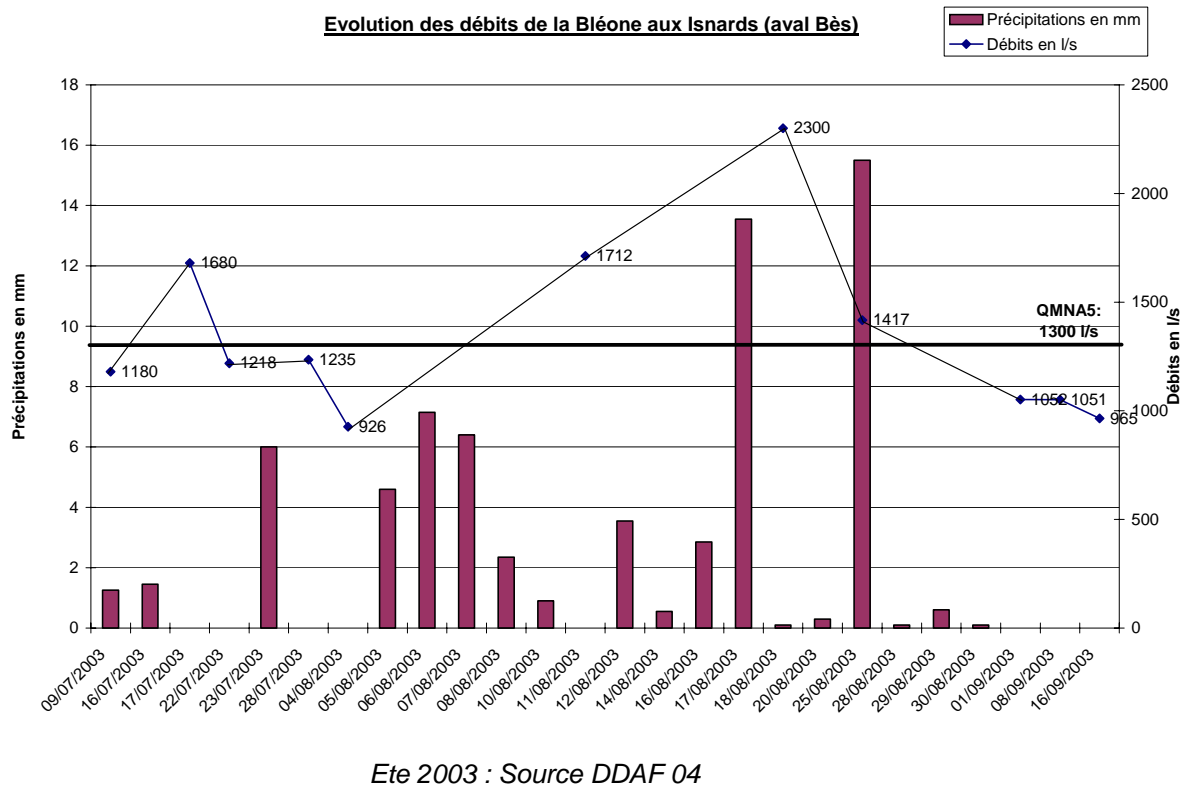
- sur le Bès, les stations d'amont sont relativement plus pourvues lors de l'étiage d'hiver (stock de neige ?). En revanche, en été, on identifie un déficit de l'ordre de 100 l/s à Verdaches (on attendrait 339 l/s au lieu de 230 l/s à proportion du débit à Esclangon), qui peut donner une idée du flux de nappe à ce niveau.
- les débits spécifiques de la haute Bléone sont supérieurs à ceux du Bès (de l'ordre de 5 l/s/km<sup>2</sup> sur le Bès en août comme en février contre 6.4 à 6.9 l/s/km<sup>2</sup> sur la Bléone à l'amont du Brusquet), contrairement à l'estimation que nous proposons en étiage sévère. Le Bès étant une donnée fiable, il faudrait alors dans cette estimation revoir à la hausse les apports de la Haute-Bléone, ce qui conduirait à débits spécifiques excessifs à l'aval. Il faut donc mieux conserver ces estimations, et admettre que les réserves du Bès sont plus importantes que celles de la Haute Bléone en étiage sévère.
- A Marcoux, les débits montrent un déficit marqué en mai et août, et pas en automne et en hiver : il s'agit là de l'effet direct de la prise du canal du Bourg, au Brusquet, autorisée à 350 l/s. Le déficit est plus marqué, et le solde doit être imputable aux infiltrations dans la nappe. Si on tient compte de l'augmentation du bassin (en admettant une contribution homogène de la Bléone et du Buoinenc), le déficit à Marcoux s'établit entre 350 et plus de 1000 l/s : ces valeurs semblent compatibles avec la puissance de la nappe à ce niveau.
- Les mesures entre Digne et Malijai ne permettent ni de confirmer, ni d'infirmer les estimations sur le rôle de la nappe.

#### 4.5.2. JAUGEAGES DDAF 2003 ET 2004

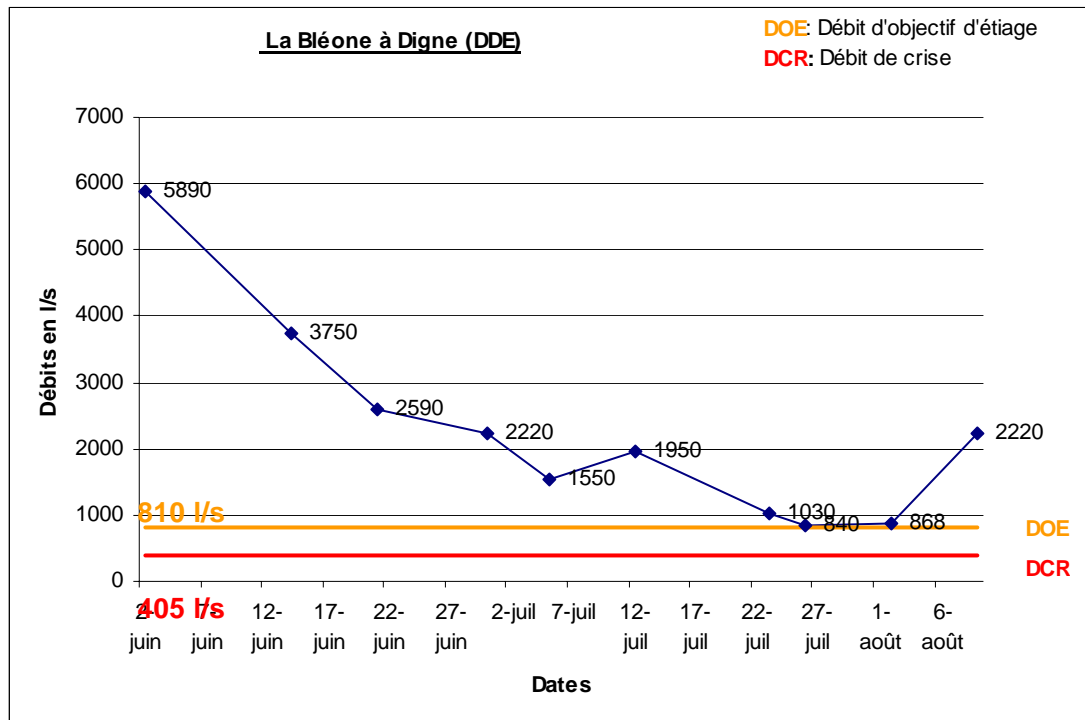
La DDAF 04 a réalisé des relevés lors des étiages sévères des étés 2003 et 2004.

Le débit mensuel de juillet 2003 avoisine 1200 l/s, contre 1600 l/s en août. Cela paraît compatible avec un QMNA5 de 1300 à 1400 l/s, dans la mesure où il s'est agi d'un été réputé très sec.

Le VCN10 a dû avoisiner 1000 l/s, à comparer avec un VCN10 de période de retour 5 ans de 913 l/s.

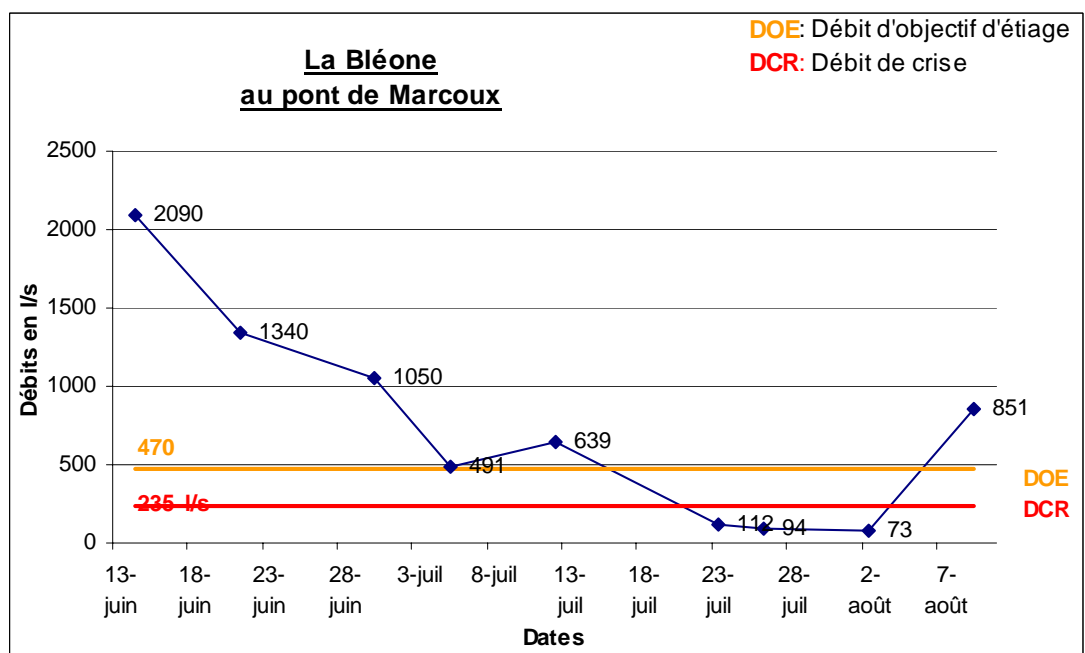


L'été 2004 a été aussi une année d'étiage sévère, peut-être d'ordre quinquennal, voire plus rare.



*Ete 2004 : Source DDAF 04*

A Digne (amont Eaux Chaudes), le débit moyen de juillet a avoisiné 1300 l/s, le VCN10 900 l/s. Ces valeurs sont à comparer avec les estimations ci-dessus : QMNA5 entre 1410 et 1530 l/s, VCN10-5 ans entre 927 et 1011 l/s. Les ordres de grandeur semblent satisfaisants.



*Ete 2004 : Source DDAF 04*

A Marcoux, le débit moyen de juillet est de l'ordre de 330 l/s, le VCN10 de l'ordre de 90 l/s. En comparaison, les tableaux ci-dessus retiennent 110 à 160 l/s pour le QMNA5, et 0 pour le VCN10-5 ans : il semblerait donc qu'on surestime les pertes vers la nappe. Nous réduirons donc le flux de nappe à 400 l/s.

#### 4.6. SYNTHESE

En conclusion, on peut proposer :

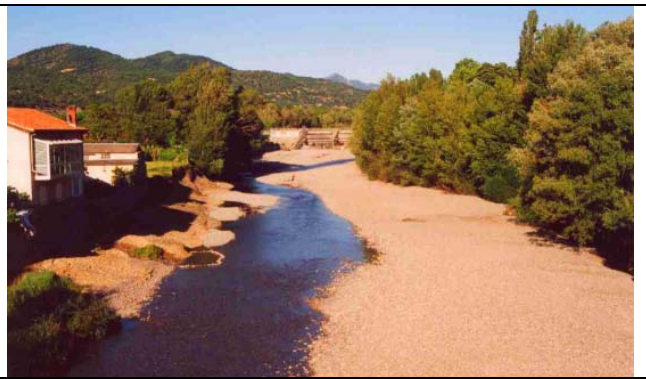
		superficie du BV km²	Evaluations antérieures	Q nappe	QMNA5		VCN10 - 5 ans	
			QMNA5 antérieur l/s	l/s	total surface + nappe l/s	Q surface l/s	total surface + nappe l/s	Q surface l/s
Arigéol	à la confluence	66	116	95	200	100	140	45
Le Bès	à la confluence	233	780	200	840	640	590	390
	Pérouré	165	620	0	610	610	430	430
Eaux Chaudes		61	46	35	60 - 120	30 - 80	40 - 80	10
Duyes	Barras	100		200	100 - 200	0	70 - 140	0
	confluence	125	0	250	125 - 250	0	90 - 170	0
Bléone	Bléone amont	154	300	150	460	310	320	170
	aval Arigéol	220		250	660	410	460	210
	Marcoux	270		400	710 - 760	300 - 350	500 - 530	100 - 130
	amont Bès	313	556	200	750 - 850	550 - 640	530 - 580	330 - 380
	aval Bès	546	1300	200	1600 - 1700	1400 - 1500	1120 - 1170	910 - 980
	amont Eaux Chaudes	569	1350	200	1600 - 1700	1400 - 1500	1130 - 1210	930 - 1010
	aval Eaux Chaudes	630		200	1700 - 1800	1500 - 1600	1170 - 1300	970 - 1100
	STEP Dignes	688	1400	400	1700 - 1900	1300 - 1500	1200 - 1360	800 - 960
	Aiglun	710		1300	1800 - 2000	500 - 700	1230 - 1400	0 - 100
	amont Duyes	737	1468	425	1800 - 2000	1400 - 1600	1250 - 1430	800 - 1000
	aval Duyes	861		425	1800 - 2200	1400 - 1800	1300 - 1600	900 - 1200
	Malijai	906	1700	10	1900 - 2300	1900 - 2300	1300 - 1600	1300 - 1600

## 5. LES USAGES DES EAUX DE SURFACE

### 5.1. LES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES

L'installation des ouvrages hydroélectriques de Trente Pas et de Malijai ont comme incidence une réduction notable des débits (pour l'hydrologie courante) dans les tronçons court-circuités par ces ouvrages.

Le barrage de Malijai ne laisse dans le tronçon aval qu'un très faible débit réservé, de 240 l/s (valeur comprise entre le 1/50<sup>ème</sup> et le 1/70<sup>ème</sup> du module interannuel de la Bléone), réduisant fortement le potentiel trophique, et peu compatible avec le développement d'une population piscicole diversifiée et dense.



Le débit réservé dans le tronçon court-circuité de Trente Pas est de 200 l/s. Ce débit, qui n'atteint pas le 1/10<sup>ème</sup> du module, reste faible et pénalisant pour le milieu aux vues des potentiels salmonicoles du tronçon.

De plus, la prise d'eau est de type "par en dessous", les poissons en dévalaison peuvent être entraînés dans la conduite forcée. La hauteur de chute importante et le type de turbine supposent une mortalité quasi totale de ces sujets.

L'échéance de la concession expirant au 31.12.2015, la situation de l'ouvrage, qui demande certains travaux de réhabilitation, est en cours d'examen pour définir l'abandon ou non de son exploitation par EDF.

### 5.2. LES PRELEVEMENTS AGRICOLES

De nombreux prélèvements sont effectués sur les cours d'eau du bassin versant ou dans la nappe alluviale de la Bléone, pour des usages agricoles ou d'alimentation en eau potable.

En période estivale, l'ensemble de ces prélèvements accentue les étiages naturellement sévères des cours d'eau.

Les prélèvements effectués en eaux de surface sont réalisés pour les besoins agricoles des vallées. L'usage irrigation est relativement important sur le bassin de la Bléone.



Le Bès reste peu sollicité par les prélèvements agricoles.

Sur les Duyes, au vu des problèmes de débit du cours d'eau en période estivale qui limitent les prélèvements directs, une retenue collinaire a été construite en tête de bassin, sur le ruisseau de Vaulouve ; cet ouvrage de stockage assure l'irrigation d'une grande partie des terres agricoles de la vallée.

Pour les besoins de l'agriculture, de nombreuses dérivations alimentant des canaux sont installées sur la Bléone, en aval de la Javie, et sur les Duyes, pour une irrigation gravitaire. Ces canaux sont gérés par des Associations Syndicales Autorisées (ASA).

Quelques prélèvements individuels avec un matériel de pompage sont répartis sur les bassins, pour une irrigation par aspersion.

### Bilan

## BASSIN DE LA BLEONE ET PRELEVEMENTS AGRICOLES

### PRINCIPAUX PRELEVEMENTS COLLECTIFS

	Droit d'eau / capacité	Prélèvement mensuel moyen maximum (juillet)	Consommation effective	Restitution au milieu
	l/s	l/s	l/s	l/s
Canal de Chaudol	150	68	29	39
Canal du Bourg	300	159	49	110
AEP Digne Marcoux	167	84	55	29
Canaux des Arches et Epinettes	110	40	91	717
Canal des Sieyes	260	313		
Canal de la Plaine (Gaubert)	700	455		
Sivom des Duyes/Bléone (barrage de Vaulouve)	Barrage	0	0	
AEP Mallemoisson - Aiglun - Le Chaffaut	65	15	10	5
Canal de la Plaine à l'Escale	680	840	840	0
Canal des Paluds - Mallemoisson	85			
AEP Malijai	28	8	5	3
Prélèvements individuels amont Bès		37	37	0
Prélèvements individuels Digne / Mallemoisson		79	79	0
Prélèvements individuels Duyes		8	8	0
Prélèvements individuels aval Mallemoisson		42	42	0

Les données fournies par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt et la Chambre d'Agriculture, ont permis d'établir un bilan des prélèvements sur les rivières pour la période estivale. Ces données, encore incomplètes, regroupent les prélèvements les plus importants.

Il faut souligner que ce bilan reste imprécis, bien que les principales dérivations soient connues ; l'inventaire des prélèvements agricoles sur les bassins étant actuellement en cours, mené par la DDAF.

Pour chaque sous-bassin référencé, la somme des prélèvements maximum a été calculée et mise en regard avec le débit d'étiage du cours d'eau, caractérisé par son QMNA5 (débit moyen mensuel le plus faible de temps de retour 5 ans), dans le tableau ci-contre. Cette comparaison donne une première vision de la situation de la ressource en eau en période critique d'étiage estival.

Le bilan montre la pression importante des prélèvements agricoles sur la basse Bléone : les différentes dérivations représentent sur ce parcours aval 95% du débit d'étiage de la rivière. Ce débit, déjà naturellement bas, est ainsi fortement diminué par les besoins de l'agriculture.

Sur les Duyes, les prélèvements sont conditionnés par la valeur du débit transitant dans la rivière, celle-ci subissant des assèchs durant la majeure partie de la période estivale.

Les prélèvements importants sur les rivières, et ayant un impact marqué sur leur débit d'étiage, favorisent et accentuent les phénomènes défavorables à la vie aquatique, notamment : réchauffement des eaux, écoulements en lame d'eau, baisse de l'oxygénation des eaux et ainsi des processus d'autoépuration.

#### BILAN DES PRELEVEMENTS AGRICOLES

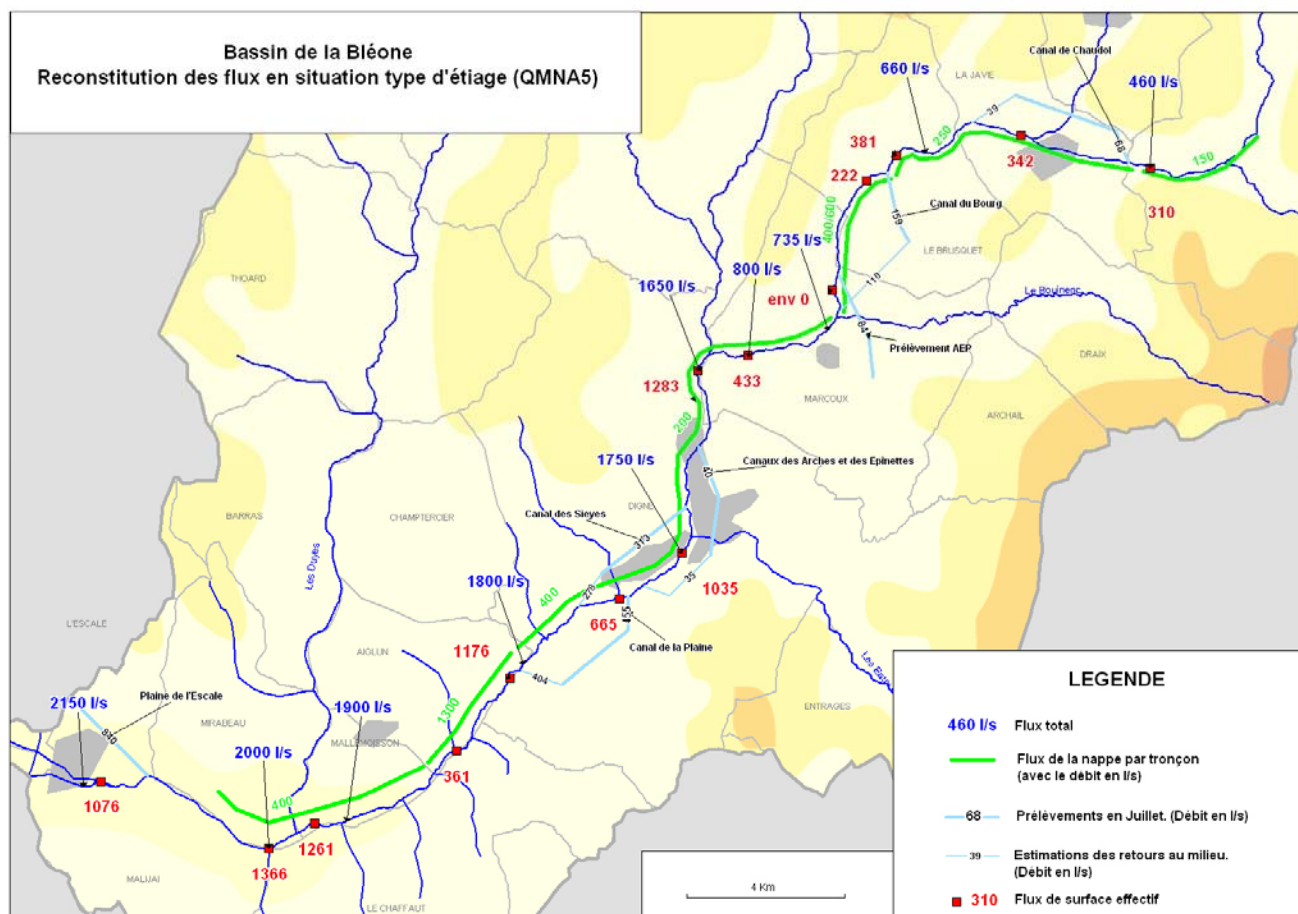
SOUS BASSIN		PRELEVEMENTS COLLECTIFS	PRELEV. INDIVIDUELS	TOTAL
Réf.	Limite aval	Débit	Débit	Débit
<b>BLEONE</b>				
X120	confluence Arigéol	150 l/s		150 l/s
X121	confluence Bès	325 l/s	15 l/s	340 l/s
X123	confluence Duyes	1100 l/s		1100 l/s
X125	Durance	915 l/s	35 l/s	950 l/s
<b>DUYES</b>				
X124		90 l/s	15 l/s	105 l/s

#### PRELEVEMENTS AGRICOLES ET RESSOURCE EN EAU

SOUS BASSIN		MODULE	QMNA5	PRELEVEMENTS		DEBIT RESERVE REGLEMENTAIRE
Réf.	Limite aval			Débit	% du QMNA5	1/10 module
<b>BLEONE</b>						
X120-X121	confluence Bès	5740 l/s	1450 l/s	490 l/s	34%	574 l/s
X123-X125	Durance	16600 l/s	2100 l/s	2050 l/s	98%	1660 l/s
<b>DUYES</b>						
X124		2280 l/s	0	105 l/s	-	228 l/s

### 5.3. SYNTHÈSE SUR LES FLUX D'ÉTIAGE

La figure suivante présente un bilan général en situation d'étiage (QMNA5), qui permet, au-delà des incertitudes sur les chiffres annoncés, de prendre la mesure du poids des différents éléments.

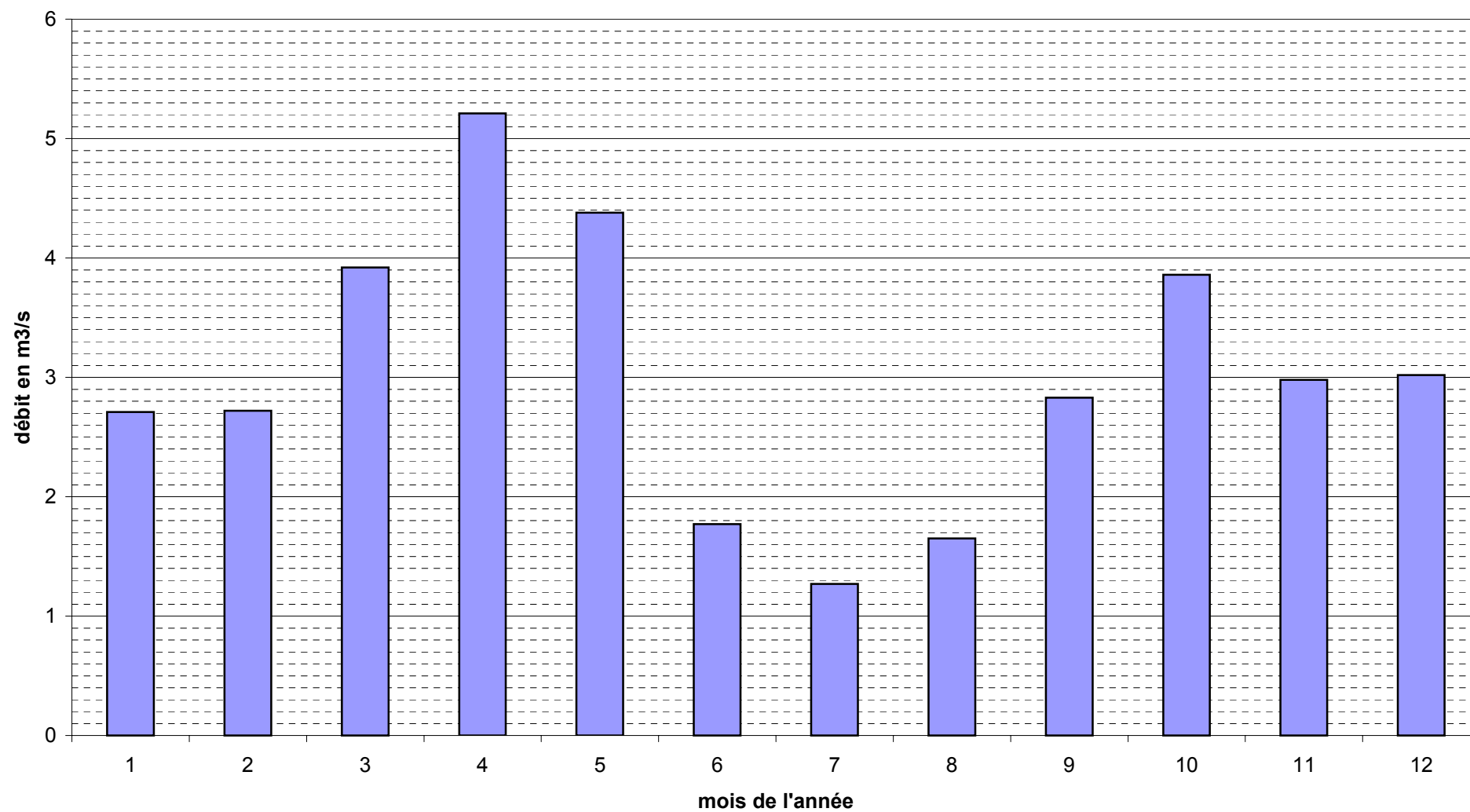


---

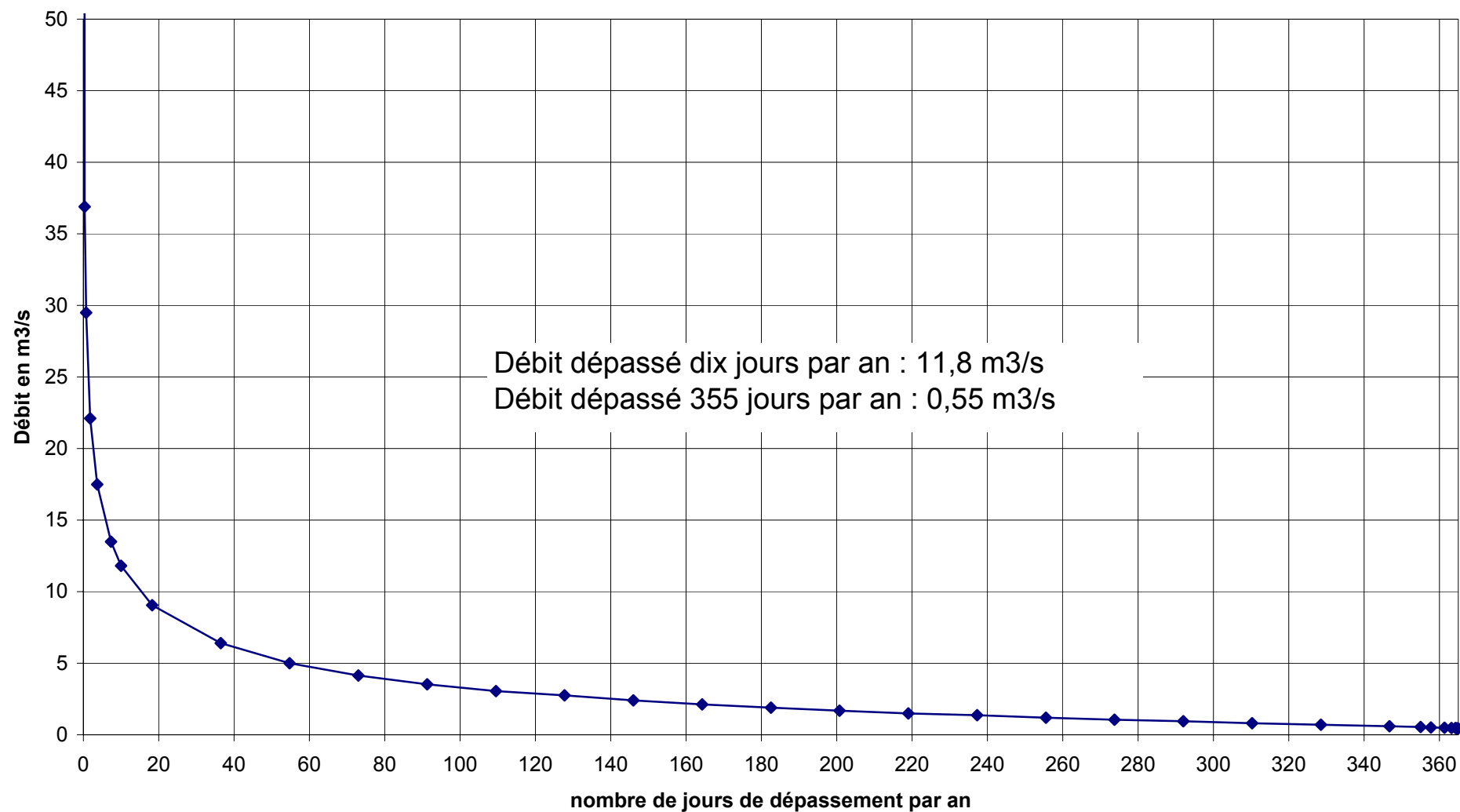
## ANNEXES

---

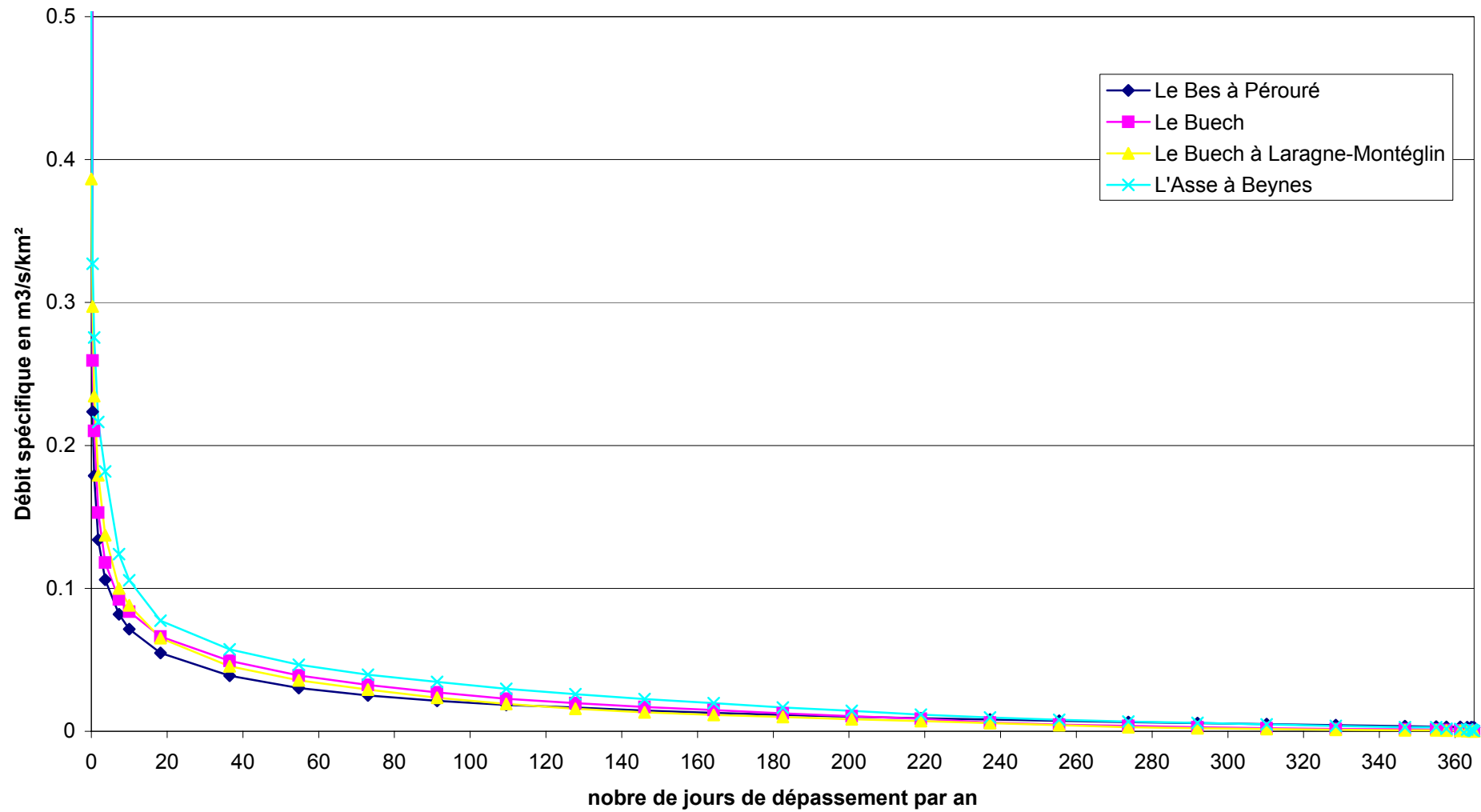
**moyennes mensuelles des débits du Bes à Pérouré (bassin verant : 165 km<sup>2</sup>)**



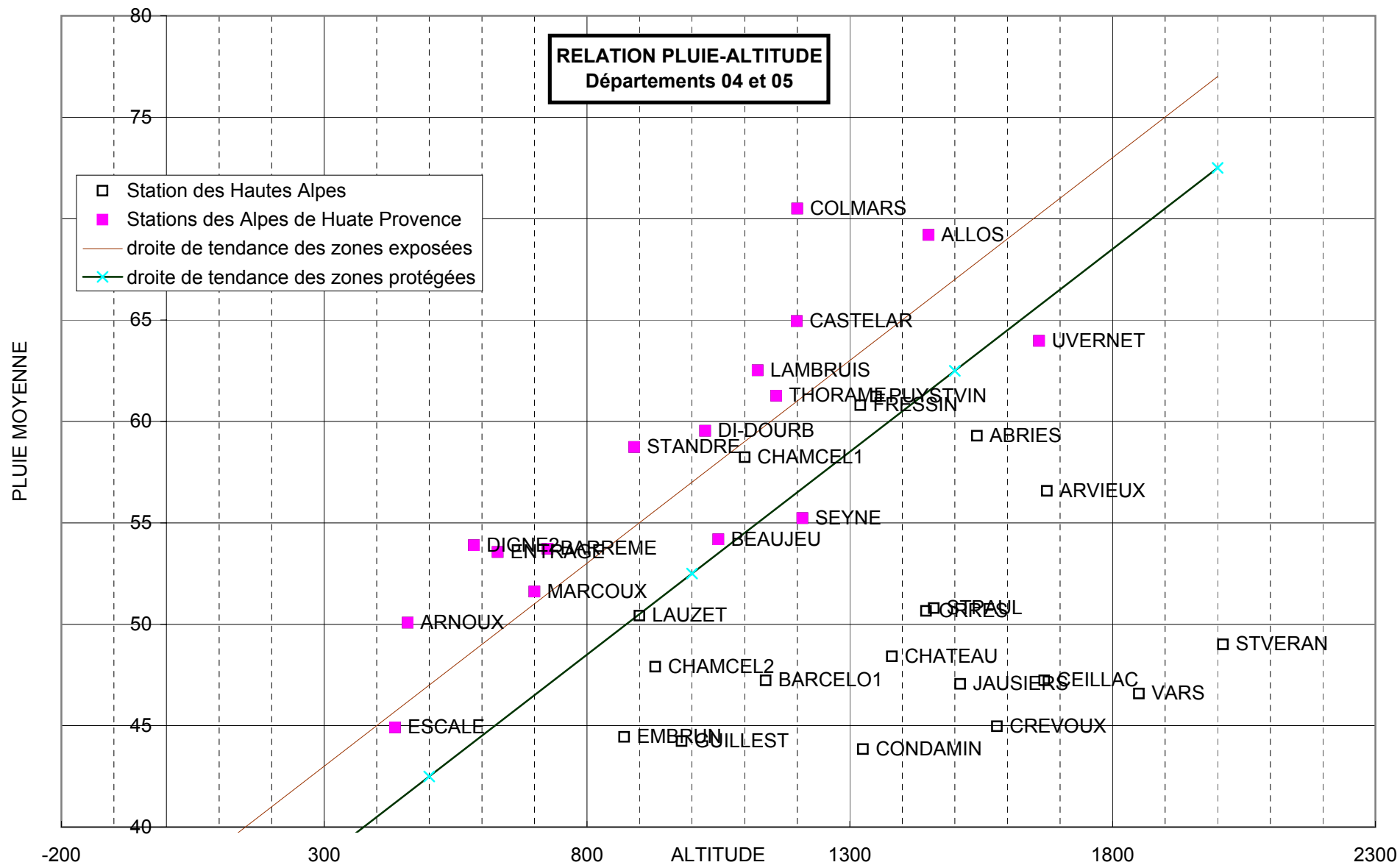
### débits classés du Bes à Pérouré



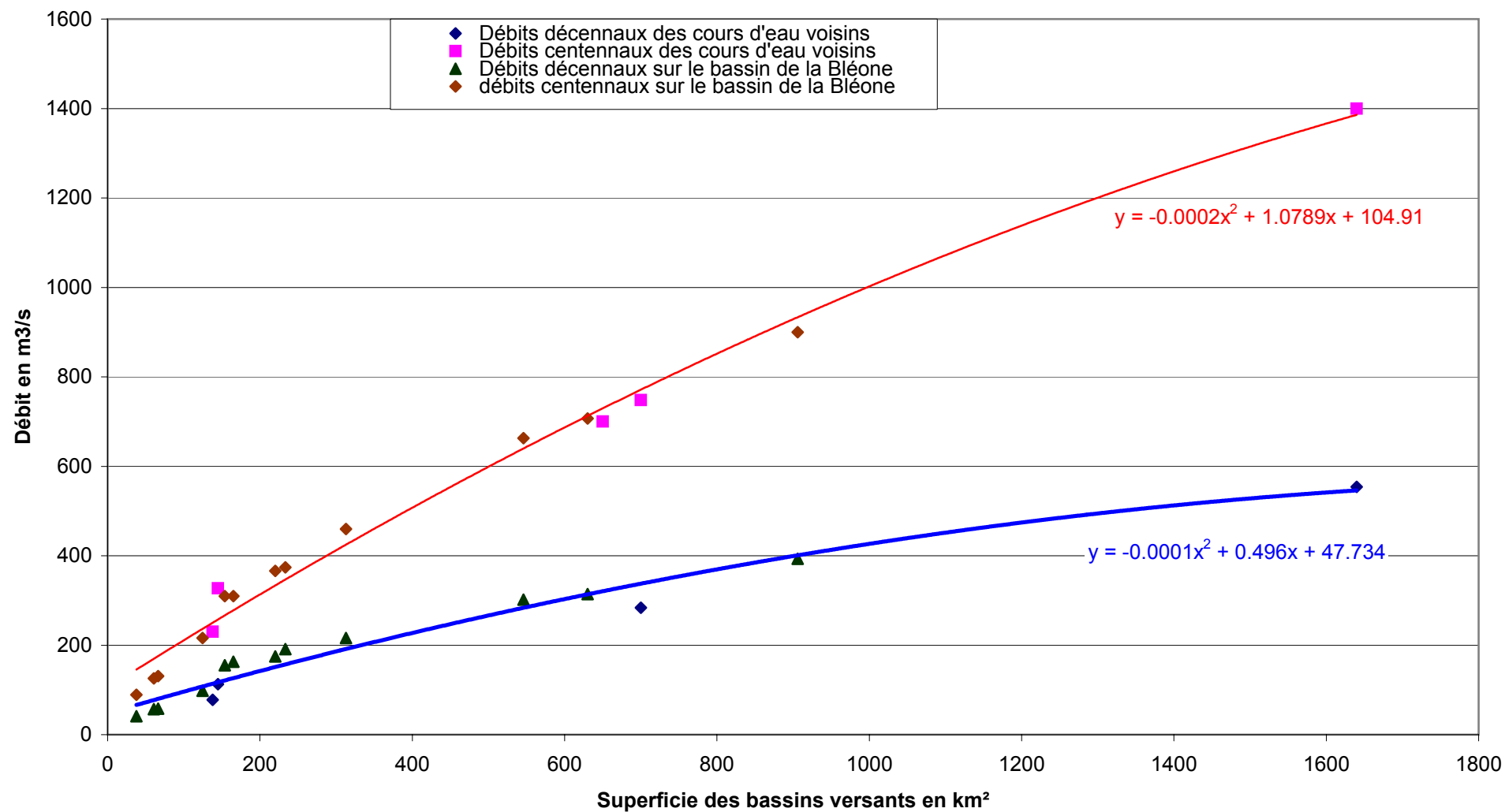
### Comparaison régionale des courbes de débits classés b'=1







## Comparaison régionale des débits de crue



## DESCRIPTION DE LA METHODE SPEED

La méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evènements Discrets), développée par SOGREAH, est fondée d'une part sur une analyse particulière et régionale des pluies et, d'autre part, sur la relation mise en évidence par SOGREAH entre pluie et débit de crue.

SPEED est un système probabiliste mis au point à partir de la théorie du Processus de Poisson et de la théorie de l'échantillonnage.

## **A1.1 L'ANALYSE REGIONALE DES PLUIES JOURNALIERES**

### **A1.1.1 BASES THEORIQUES**

La théorie adoptée est le processus de Poisson. Il est considéré que la pluie (comme d'autres événements météorologiques accidentels – coups de vent, cyclones, orages etc.) satisfait aux axiomes de base de cette théorie.

Ceci implique en particulier que les maximums annuels (ou saisonniers) de la pluie journalière ( $P_j$ ) suivent une loi de Gumbel. Cet ajustement des pluies observées sur graphique de Gumbel se traduit par une droite définie par :

- $Y_0$ , qui est le pivot de la distribution, c'est à dire la valeur de la variable de Gumbel pour laquelle la droite de Gumbel coupe l'axe  $P_j = 0$ .

Il est démontré que  $n = e^{-Y_0}$  est le nombre d'évènements indépendants d'où sont tirés les maximums annuels. Ce nombre  $n$  est proportionnel au nombre de perturbations météorologiques et on peut s'attendre à son invariance dans une région géographique, donc à l'invariance de  $Y_0$ , pour des phénomènes de même origine.

- La moyenne  $P_{jm}$ , qui est plus caractéristique du régime de pluie dont dépend le secteur.

Elle peut varier spatialement au contraire du paramètre  $Y_0$  (pour une même famille d'évènement), cette variation étant liée à des raisons géographiques (un même évènement pluvieux peut évoluer au cours de son déplacement). On démontre mathématiquement que la moyenne est associée à une variable de Gumbel de 0.5772 (variable d'Euler) soit une période de retour de 2,3 ans.

C'est cette moyenne  $P_{jm}$  et le pivot  $Y_0$  qui sont utilisés pour caractériser les pluies sur le secteur d'étude. Dans l'étude qui suit nous considérerons la pluie de période de retour 2 ans ( $P_{j2}$ ) très proche de la moyenne (période de retour 2,3 ans).

Le Gradex est la pente de la droite de Gumbel utilisée pour évaluer les débits de crues rares.

### **A1.1.2 REGIONALISATION**

L'intérêt de régionaliser l'étude réside en premier lieu dans la détermination du pivot ce qui permet de réduire l'incertitude sur les ajustements statistiques. Mais

la régionalisation a permis, au fil des applications de la méthode, de mettre en évidence des phénomènes particuliers liés à la géographie du secteur d'étude et révélant des "cassures" dans les droites d'ajustement de Gumbel.

On citera en particulier deux phénomènes qui peuvent apparaître sur certains bassins et qui conduisent chacun d'eux à une augmentation de la valeur des pluies rares et donc à celles des débits rares ce qui explique les phénomènes catastrophiques de Nîmes, Vaison la Romaine etc...

### **A1.1.3 EFFET OROGRAPHIQUE**

Le premier effet est observable sur une station située en aval d'une chaîne de montagne (par rapport au flux des masses d'air humides).

Considérons deux stations A et B comme indiqué sur la figure page suivante, la première étant au pied du versant montagneux amont et la seconde en aval du versant recevant la perturbation.

Lorsqu'une masse d'air chaude et humide arrive sur le versant, le massif montagneux l'oblige à s'élever en altitude ce qui se traduit par des pluies. Lorsque la masse d'air arrive en B, son humidité a diminué ce qui se traduit en B par des pluies moins intenses qu'en A. Sur un graphique de Gumbel cela se traduirait par deux ajustements A et B passant par le même pivot mais dont la pente (le Gradex) est plus faible pour la station B que pour la station A.

Or, si l'on considère une masse d'air de grande ampleur et très humide donc un phénomène de fréquence rare, on peut imaginer que les pluies tombant en A ne provoquent qu'un faible "assèchement" de la masse d'air qui arrive en B avec quasiment les mêmes potentialités qu'en A. Il s'en suit des pluies en B comparables à celles tombées en A. Sur un graphique de Gumbel, cela conduit à une cassure pour l'ajustement B : en dessous d'une certaine période de retour T1 les pluies sont inférieures aux pluies en A et au-dessus d'une autre période de retour T2, les pluies sont identiques aux pluies A.

### **A1.1.4 BULLES FROIDES (GOUTTE FROIDE)**

Le phénomène des bulles froides conduit au même résultat que celui exposé précédemment.

Il peut apparaître sur des stations situées à proximité d'un relief même réduit et en amont de ce relief par rapport au flux des perturbations atmosphériques.

Il arrive parfois qu'une masse d'air froide se bloque contre le relief et joue alors, pour la masse d'air chaude et humide qui survient de la Méditerranée, le rôle d'un relief plus prononcé c'est à dire provoque une ascension de cette masse d'air humide générant ainsi des pluies plus intenses que celles qu'il y aurait en l'absence de la masse d'air froide.

Ce phénomène est fréquent dans les Pyrénées orientales où il peut concerner des bassins étendus et explique les crues exceptionnelles survenues ces deux dernières décennies à Nîmes, Vaison la Romaine entre autres. Il peut expliquer les ajustements cassés des stations de Baccarat et Blamont.

Il conduit à des ajustements comparables à ce qui était décrit précédemment pour la station B.

## A1.2 RELATION PLUIE-DEBIT

### A1.2.1 BASES THEORIQUES

La relation pluie-débit à l'échelle d'une crue de période de retour  $T$  fait intervenir les variables suivantes :

- le débit de pointe  $Q_T$  (en  $m^3/s$ ) de la crue,
- le volume de la crue  $V_T$  (en millions de  $m^3$ ),
- le temps de base de la crue  $T_b$  (en heures),
- la pluie journalière  $P_{jT}$  (en mm) telle que mesurée au pluviomètre,
- la pluie de durée  $t_e$ ,  $P_T(t_e)$  (en mm), mesurée au pluviographe,
- le temps de concentration  $t_c$  du bassin (qui est une constante, en heures),
- la superficie  $S$  du bassin versant (en  $km^2$ ),
- la lame ruissellée en crue  $R_T$  (en mm) :  $R_T = 1000 V_T/S$

Physiquement, une pluie  $P(t_e)$  provoque une crue de volume  $V$  et de débit de pointe  $Q$  :  $t_e$  est le temps de pluie efficace, c'est à dire qu'il y a ruissellement sur le bassin pendant la durée  $t_e$ .

Les relations ci-dessous sont toutes très classiques :

#### a) Théorie de l'hydrogramme unitaire :

- Il existe un temps caractéristique du bassin versant, le temps de concentration  $t_c$ .
- $T_B = 1000 V/1,8Q$  est le temps de base de la crue triangulaire équivalente.

Ce qui signifie qu'à un accroissement de la pluie de durée efficace  $t_e$ , le bassin répond par un accroissement proportionnel des débits de la crue, sans changement du temps de base  $T_b$ .

- $T_B = t_e + t_c$  ne dépend pas de la quantité de pluie efficace  $P(t_e)$
- $T_B = 2 t_c$  pour les phénomènes exceptionnels ( $t_e = t_c$ ).

Il existe donc un hydrogramme type des crues exceptionnelles.

#### a) Théorie du Gradex

Elle relie les forts volumes de crue aux fortes pluies par :

$$R_t = P_T(t_c) - P_0(t_c) \text{ si } T > T_0$$

la loi probabiliste des lames d'eau ruisselées est parallèle à celle des pluies dès que le temps de retour est supérieur à  $T_0$  (alors  $t_e = t_c$ ).

#### c) Loi intensité–durée–fréquence

Pour des pluies cycloniques pures (dépressions océaniques ou cyclones tropicaux) on observe :

$$P_T(t) = a \cdot P_{jT} \cdot t^{0,4} \quad (a \text{ vaut souvent } 1/3).$$

Où

$P_T(t)$  = pluie de durée  $t$  et de période de retour  $T$ .

$P_{jT}$  = pluie journalière de même période de retour.

*Remarques :*

- *Le dépouillement des pluviogrammes pour l'étude des relations intensité–durée–fréquence est une tâche particulièrement délicate: beaucoup d'études basées sur des dépouillements faux donnent des résultats erronés.*
- *D'autre part, il convient dans certaines régions de séparer les pluviogrammes de pluies cycloniques des enregistrements de pluies d'origine convective. Quand un régime de pluies cycloniques existe dans une région (c'est le cas de la France), c'est ce régime qui provoque les crues de forts temps de retour, quelle que soit la taille du bassin versant, sauf en cas de bassin imperméabilisé (hydrologie urbaine).*

#### d) Formule de temps de base :

$$T_B = k \cdot S^{0,417}$$

Cette dernière formule n'est pas classique, mais peut être rapprochée de la formule de Kirpich donnant le temps de concentration  $t_c = K \cdot (L/\sqrt{S})^{0,77}$ , avec  $L$  = longueur du thalweg principal en km. Le calcul de  $T_B$  par les deux formules (avec  $T_B = 2 t_c$ ) fournit des résultats extrêmement proches.

La combinaison de ces différentes formules conduit à :

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (P_T - P_0) \quad \text{si } T > T_0$$



Cette formule est extrêmement stable d'un bassin à l'autre bien que les paramètres d'ajustement des formules 1 à 4 soient très variables suivant les régions.

Quand on dispose de données concomitantes de pluies journalières sur le bassin et de débits de pointe de crue à l'exutoire, on compare graphiquement les quantités  $P$  et  $12.Q/S^{0,75}$  : on trouve systématiquement (dès que  $T$  dépasse une certaine valeur  $T_0$ ) une droite des crues parallèle à celle des pluies (ce qui justifie le coefficient  $1/12$ ) et décalée de  $P_0$ . Cette relation probabiliste permet de déterminer  $P_0$  bassin par bassin.

On a vérifié expérimentalement que cette formule est valable pour des bassins versants tout petits (à condition qu'ils soient "naturels") et jusqu'à des bassins de 500 à 1000 km<sup>2</sup>, voire plus (comme pour la méthode du Gradex).

Il faut remarquer que, dans cette formule,  $P_T$  est la pluie journalière afférente à un pluviomètre particulier, dit pluviomètre caractéristique du bassin.

Enfin, pour  $T < T_0$ , on effectue l'ajustement direct à partir des observations (après correction des erreurs d'échantillonnage). En effet, pour ces épisodes de période de retour relativement faible, une partie de la pluie tombée sert à remplir la nappe et les flaques de surface (théorie des "aires contributives").

On a pu déterminer que le paramètre  $P_0$  prend, en France, une valeur souvent proche de 60 mm, hors bassins karstiques.  $P_0$  dépend de la nature du sol, de son degré d'altération et de l'épaisseur de la couche altérée.

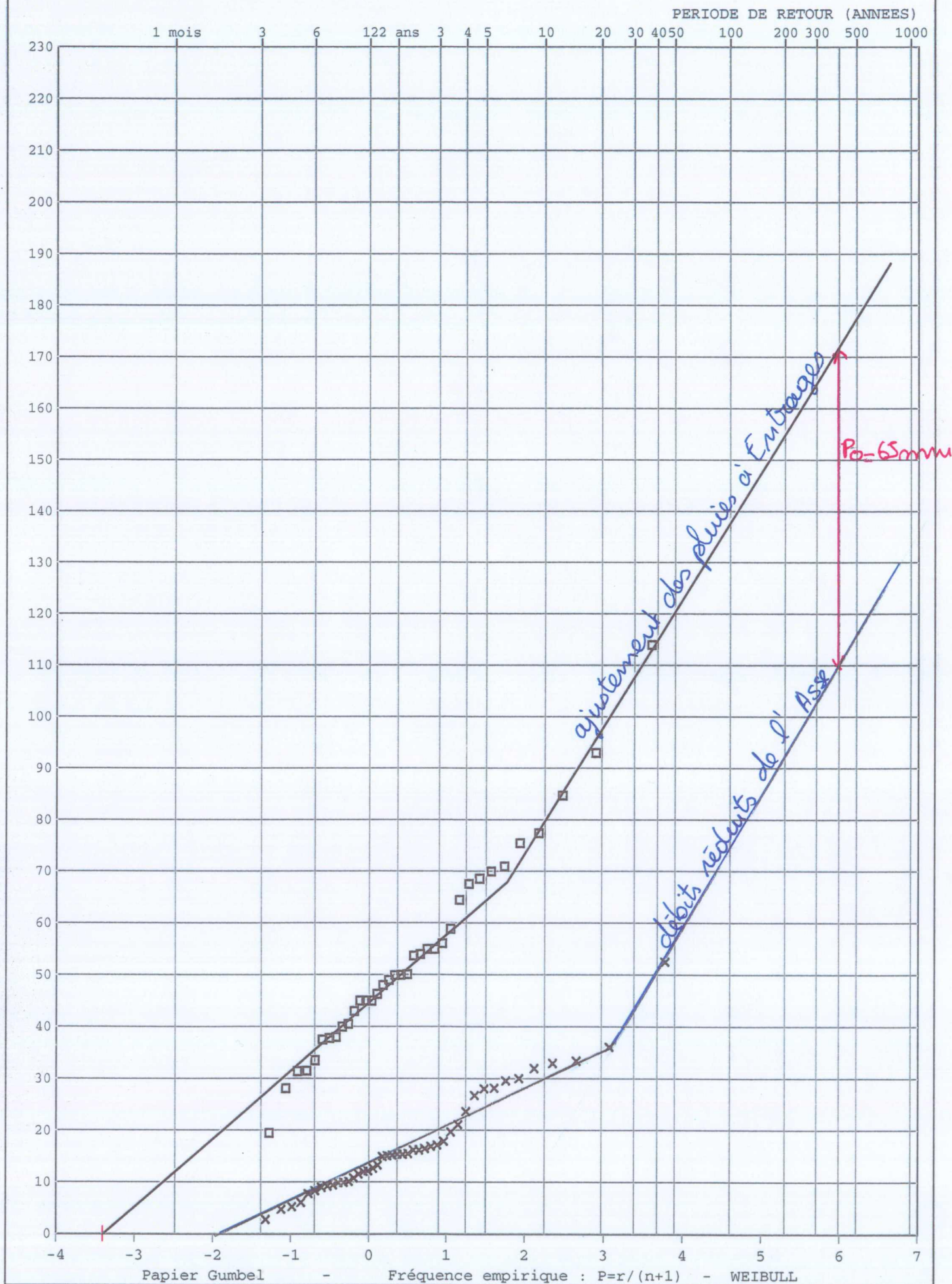
On voit que l'on obtient une formulation probabiliste du débit de pointe  $Q_T$  en fonction de la superficie qui :

- est très proche de l'ancienne formulation SOGREAH ( $Q = A.S^\alpha$  avec  $\alpha$  compris entre 0,75 et 0,8),
- fait intervenir directement la pluie journalière  $P_T$ ,
- est compatible avec les deux théories les plus vraisemblables en hydrologie, Gradex et hydrogramme unitaire.

## RELATION LPUIE/DEBIT SUR LE BASSIN DE L'ASSE

pluies ou débits réduits (mm)

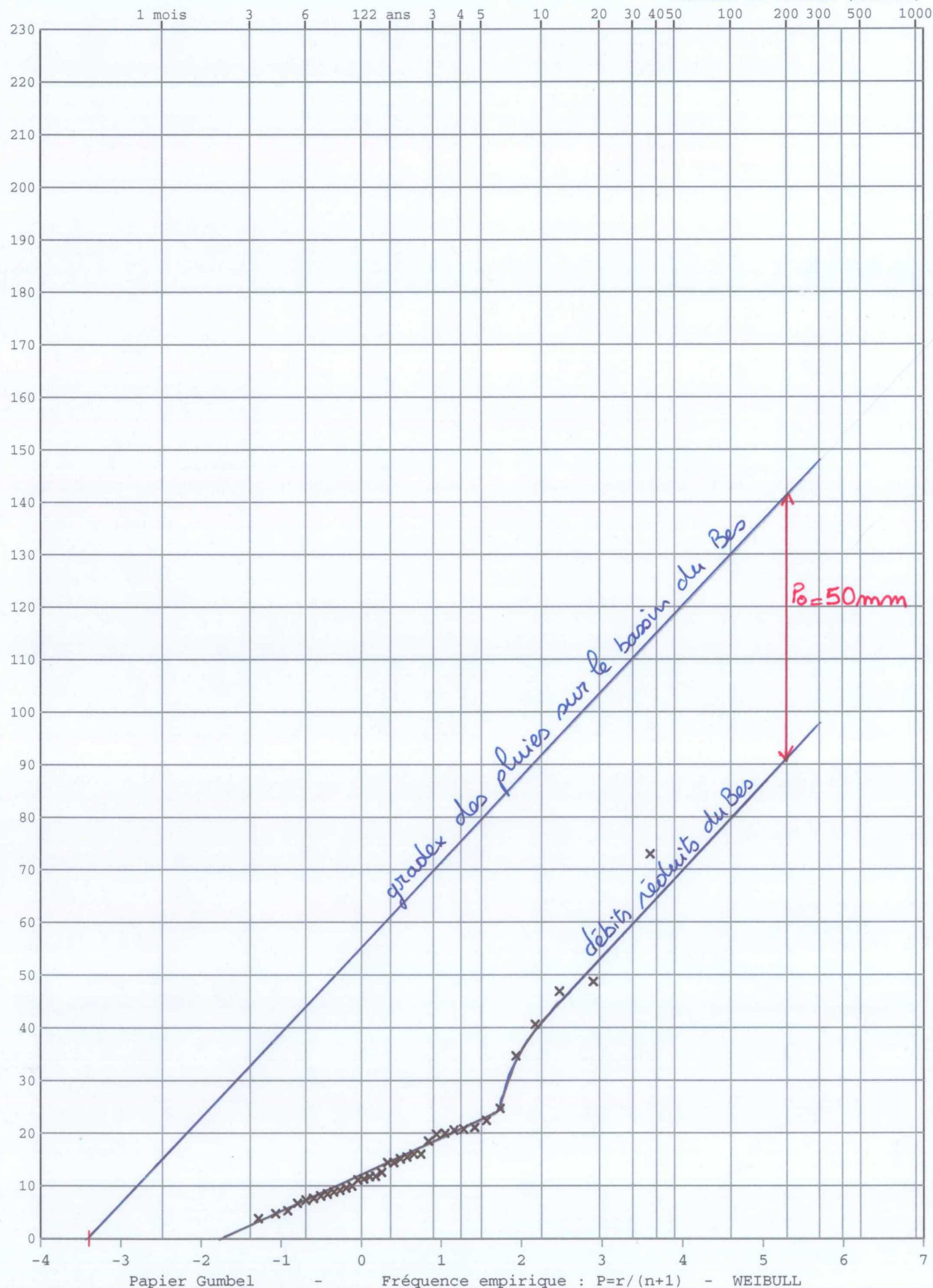
PERIODE DE RETOUR (ANNEES)



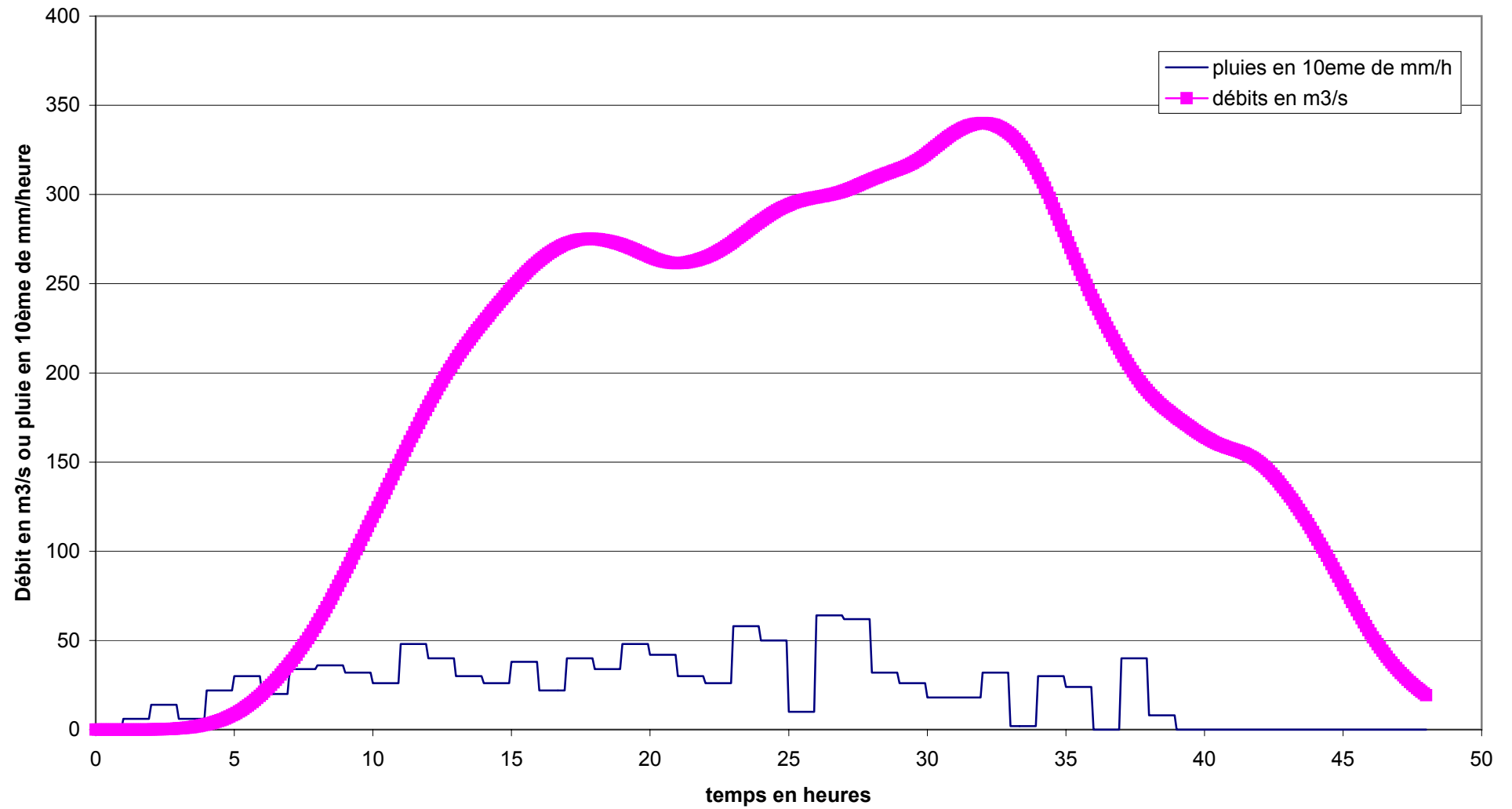
## RELATION PLUIE/DEBIT SUR LE BES

pluies ou débit réduit (mm)

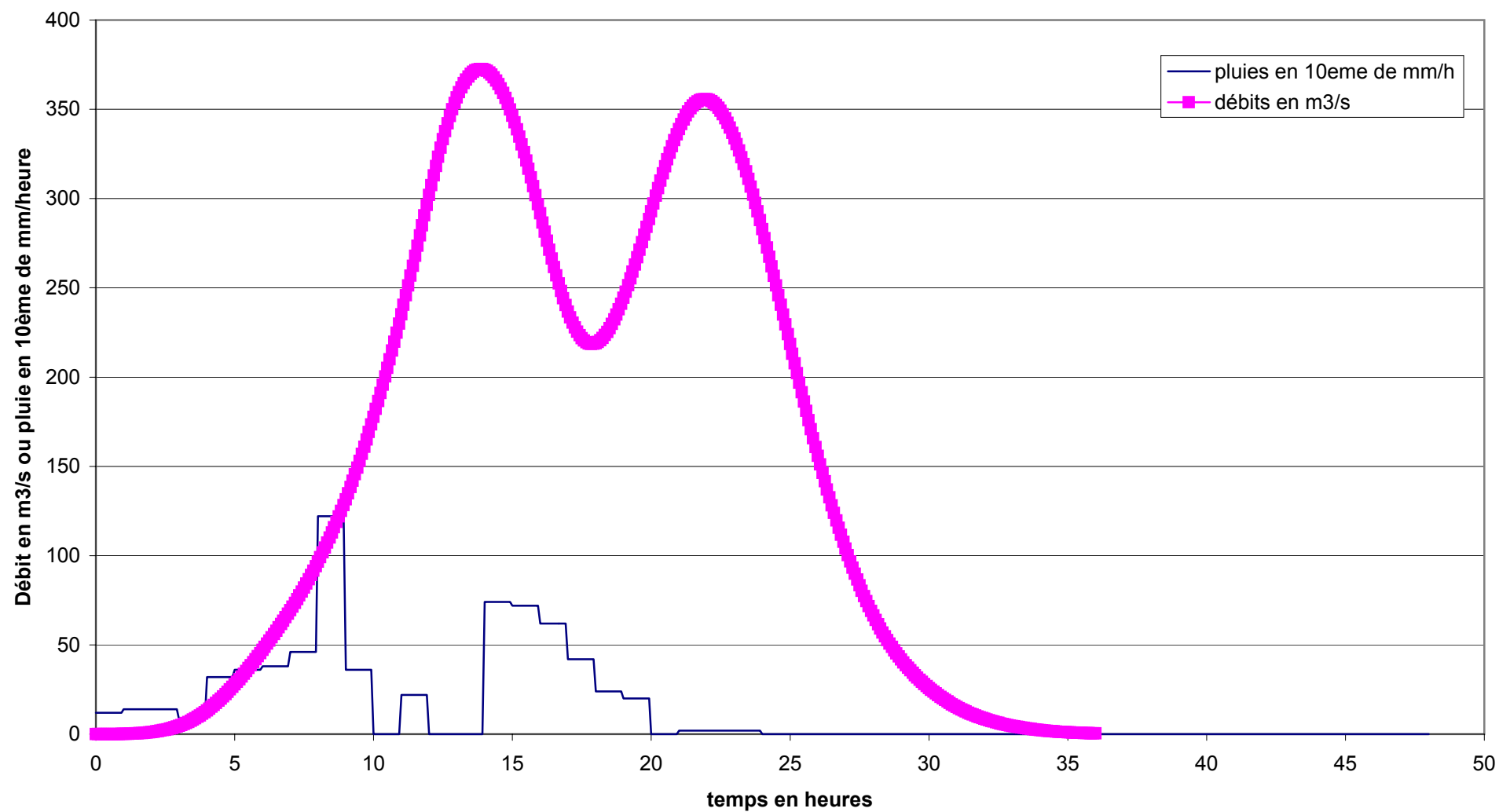
PERIODE DE RETOUR (ANNEES)



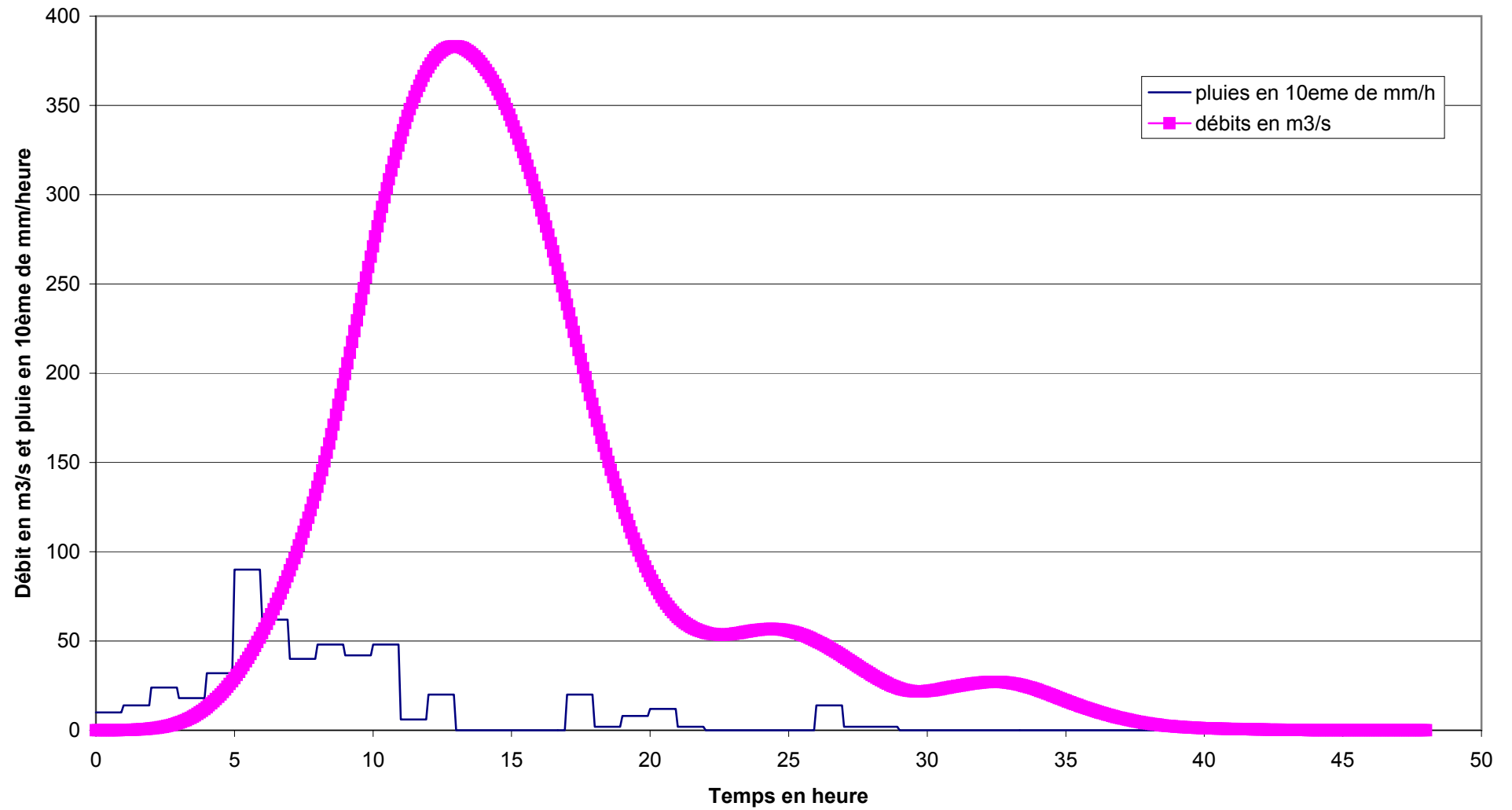
## Hyétogramme et hydrogramme de la crue de janvier 1994



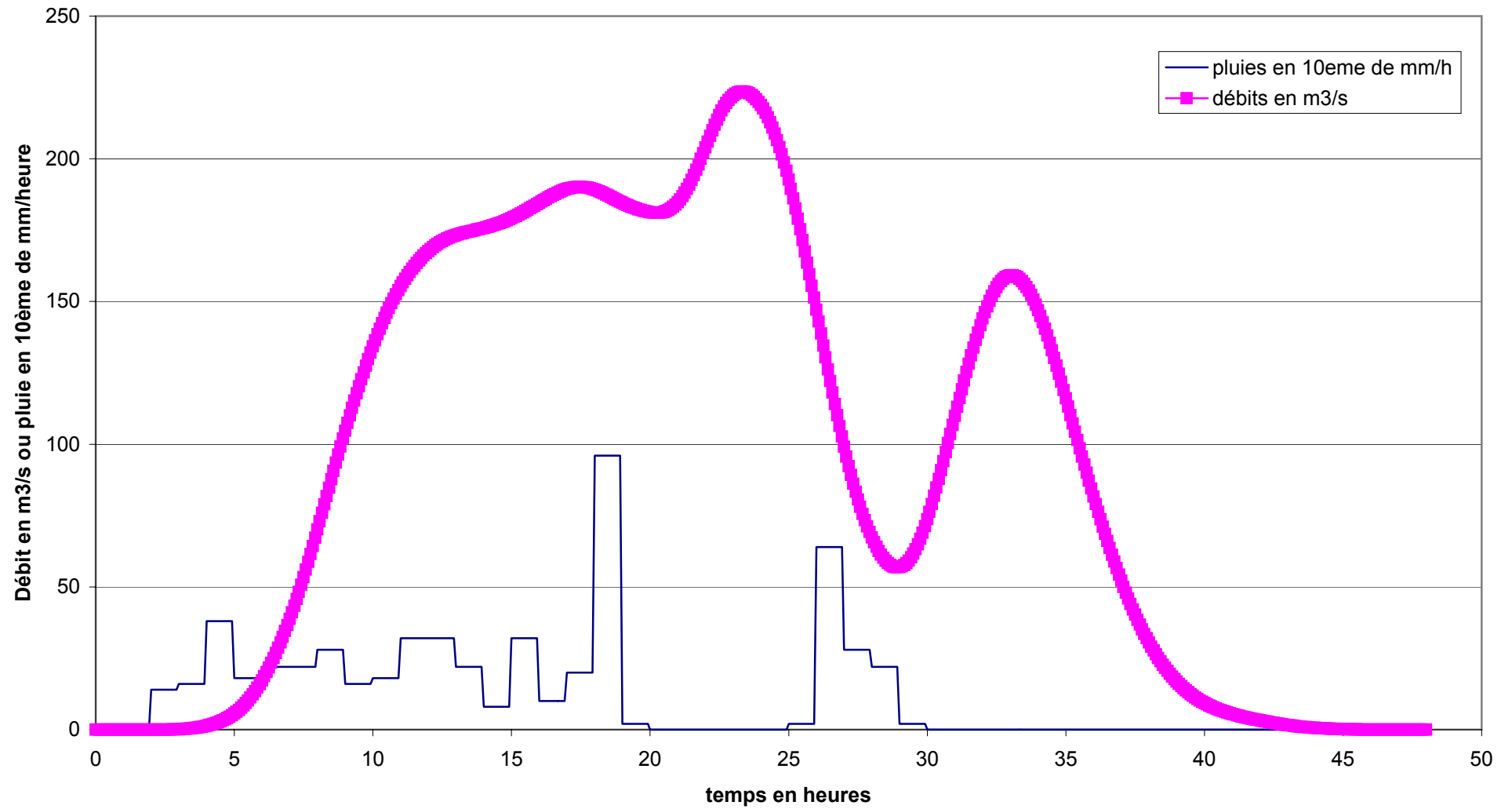
## Hyétogramme et hydrogramme de la crue de novembre 1994



Hyétogramme et hydrogramme de la crue du 6 novembre 2000

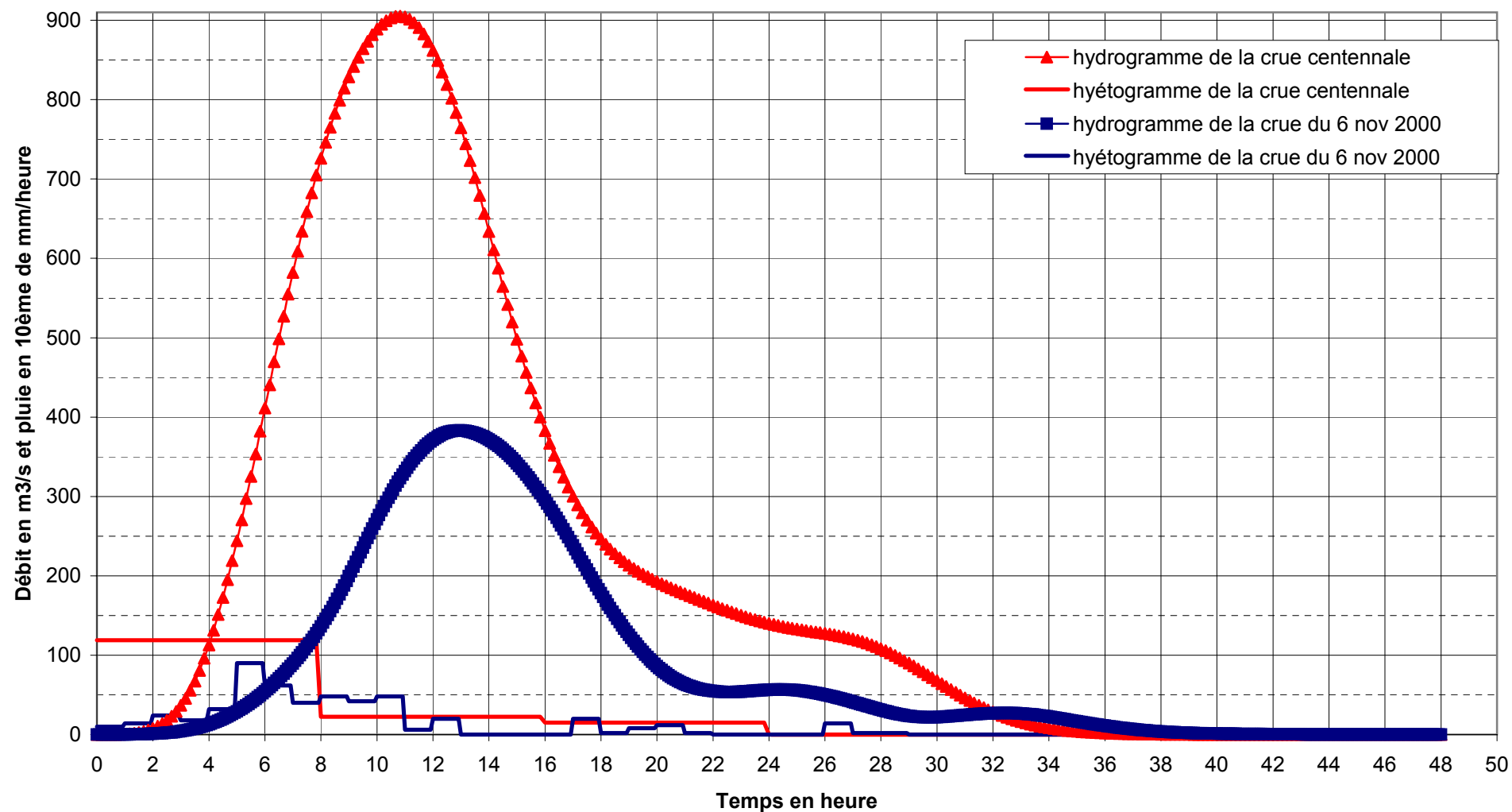


### Hyétogramme et hydrogramme de la crue du 23 novembre 2000

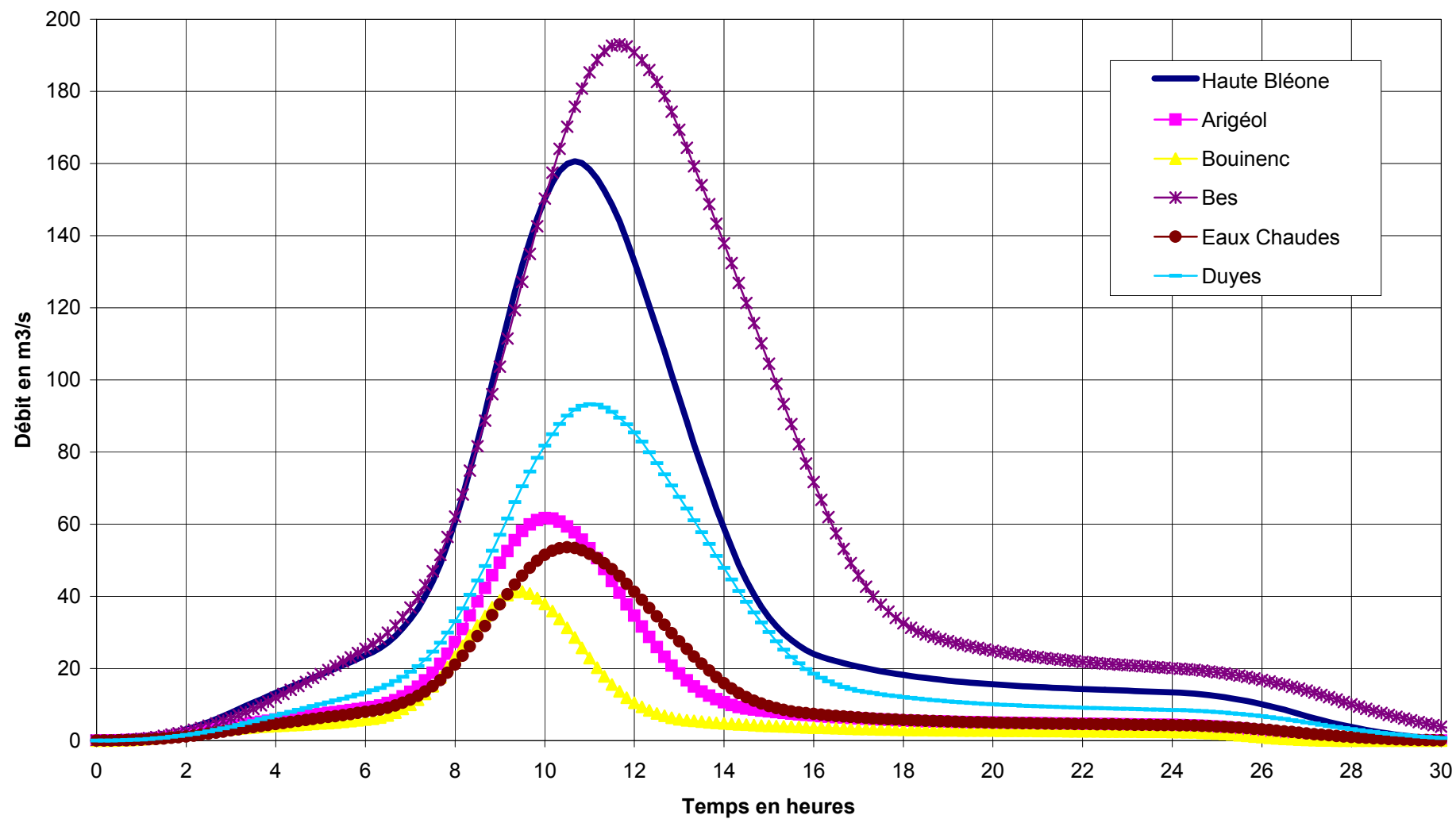




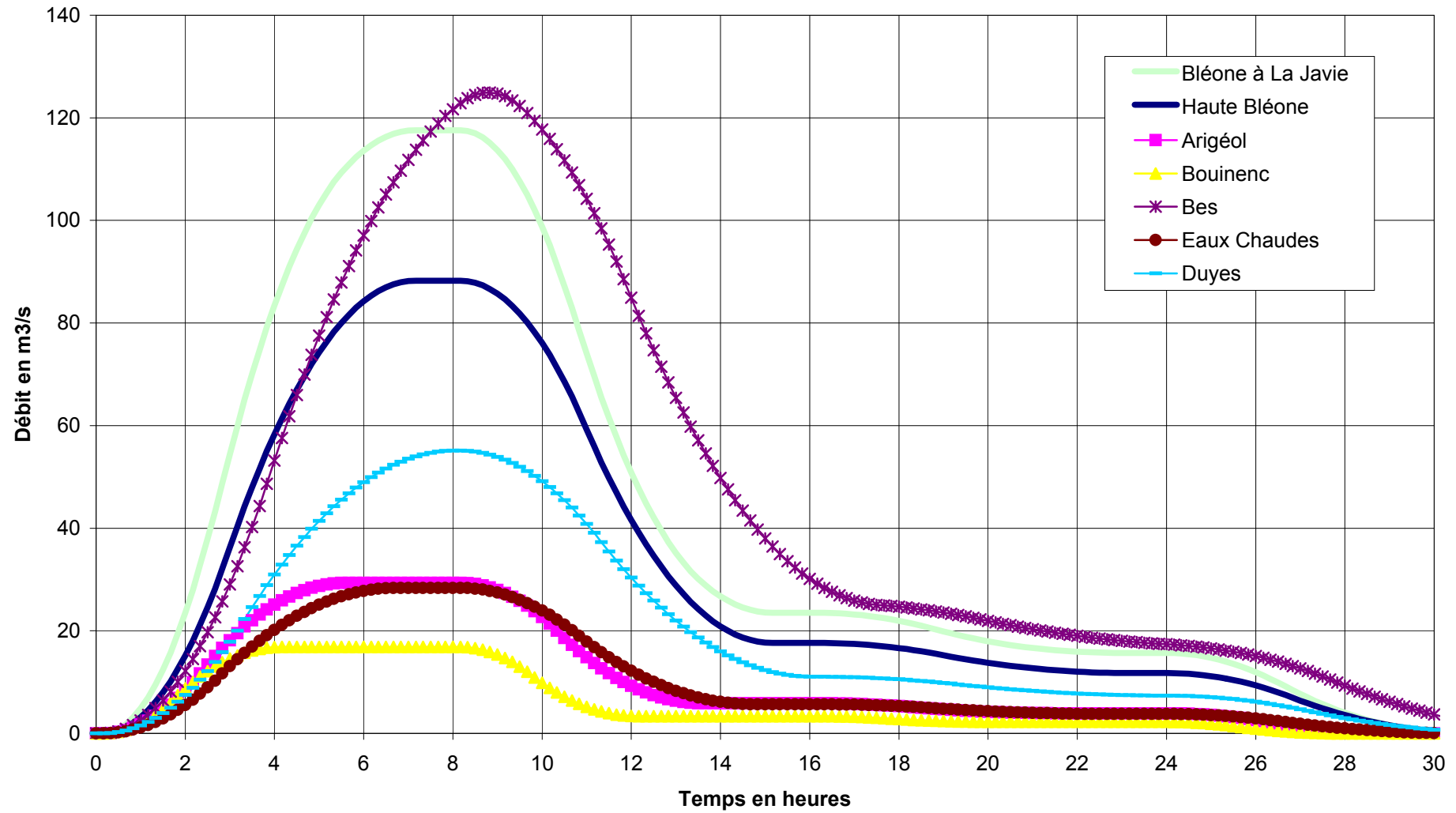
comparaison de la crue synthétique centennale et de la crue du 6 novembre 2000  
à la confluence



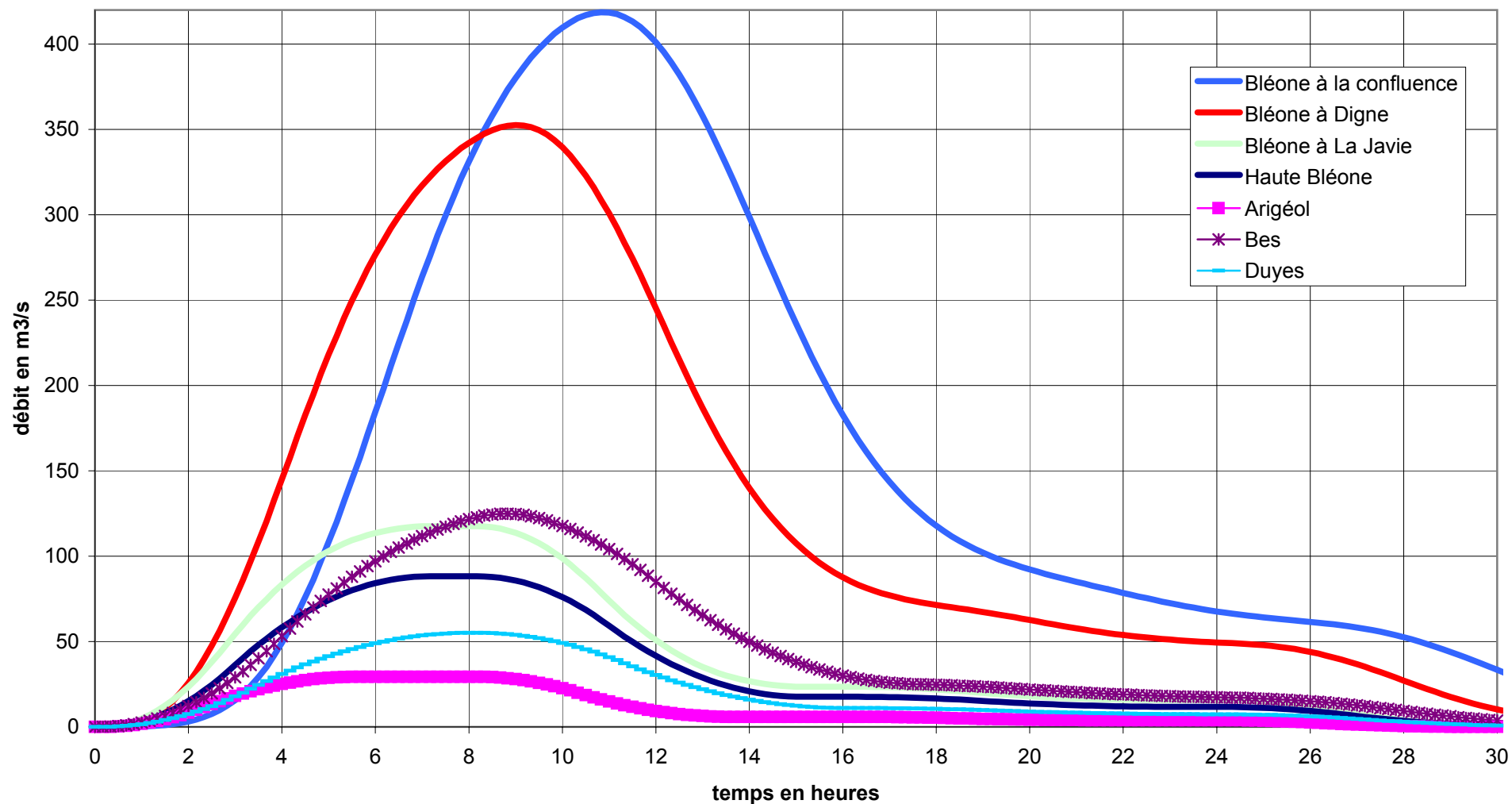
**Apports des affluents en crue décennale**  
**hyétogramme : pluie intense de 1 heure de période de retour 100 ans**



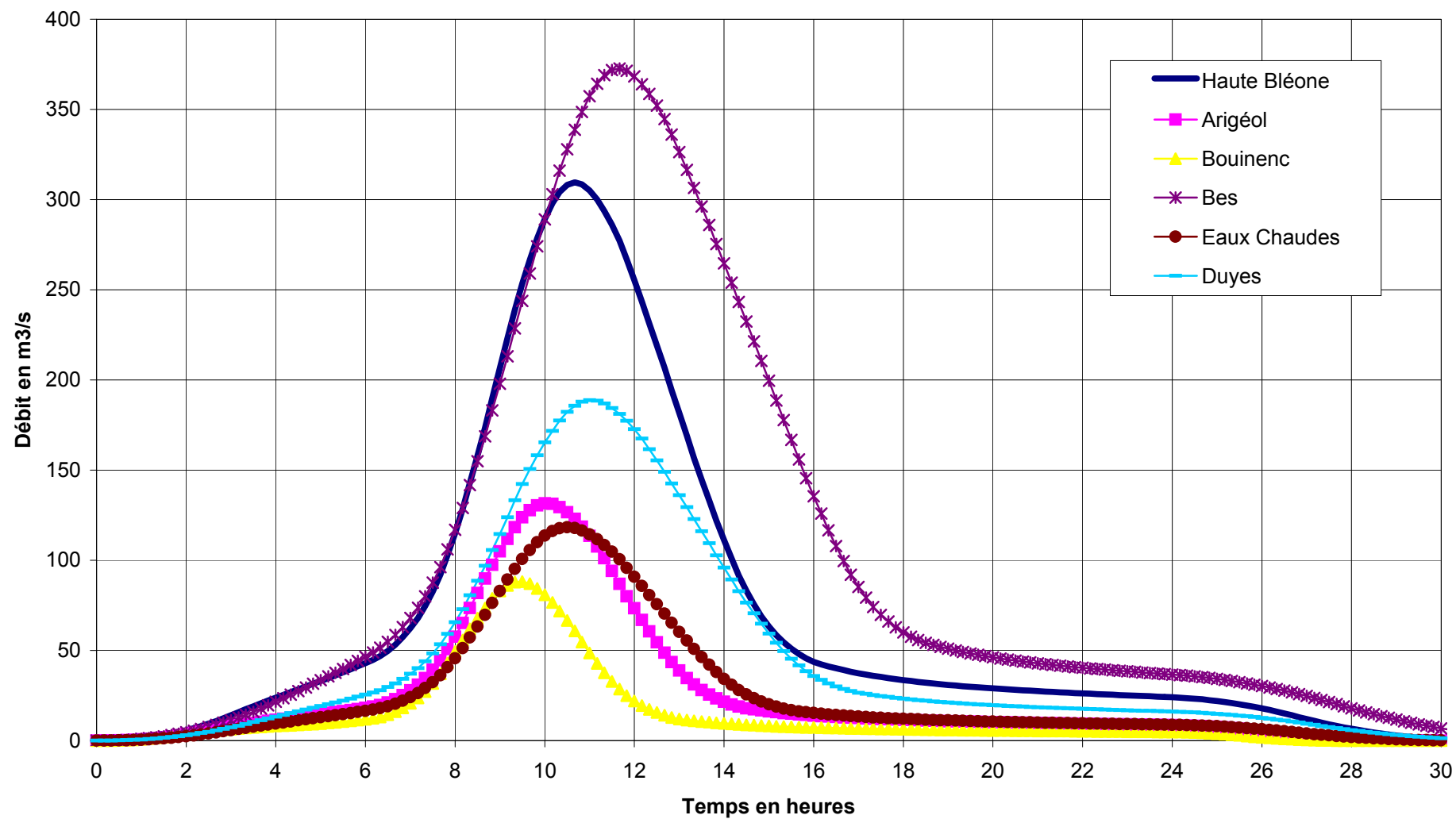
**Apports des affluents et des bassins amont en crue décennale  
hyétogramme : pluie intense de 8 heures de période de retour 100 ans**



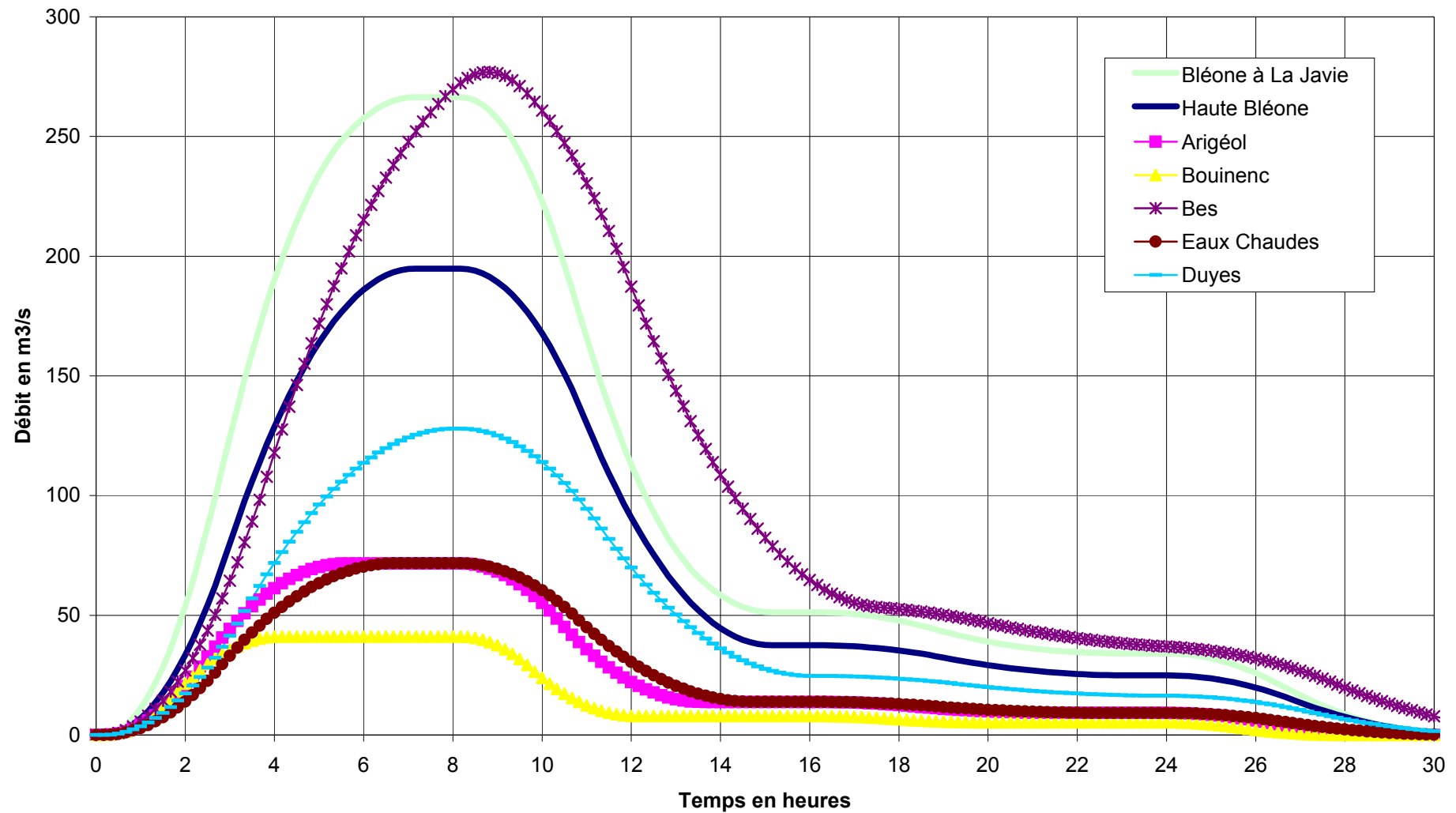
hydrogrammes de crues de la Bléone et de ses principaux affluents en crue décennale  
hyétogramme : pluie intense de 8 heures de période de retour 100 ans



**Apports des affluents en crue centennale**  
**hyétogramme : pluie intense de 1 heure de période de retour 100 ans**



**Apports des affluents et des bassins amont en crue centennale  
hyétoqramme : pluie intense de 8 heures de période de retour 100 ans**



**hydrogrammes de crues de la Bléone et de ses principaux affluents en crue centennale**  
**hyétogramme : pluie intense de 8 heures de période de retour 100 ans**

