



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE LA HAUTE-SAONE

Direction
départementale
des territoires
Service
environnement et
risques

**PLAN DE PREVENTION DU RISQUE D'INONDATION
PAR DEBORDEMENT DE LA RIVIERE « L'OGNON » DE
PART ET D'AUTRE DE LAVILLE DE LURE**

Communes concernées :

Lure, Roye, Vouhenans, Magny-Vernois, Vy-lès-Lure

RAPPORT

Tranche conditionnelle n°1 : Hydrologie

Orig.	auteur	relecture	validation	Affaire BL 0010
	Déc.2010 / StB	Déc.2010 /StB	Déc.2010 /GMG	
V2	Août. 2011/ StB	Août. 2011/ StB	Août. 2011/ GMG	
V3	Déc.2011/ StB	Déc. 2011/StB	Déc. 2011/ GMG	
V4	Mars 2012/ StB	Mars 2012/StB	Mars 2012/ GMG	
V5	Mai 2012/ StB	Mai 2012/StB	Mai 2012/ GMG	

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE	4
2	PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT	5
3	PRÉSENTATION DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES	7
4	PRINCIPE DES CALCULS	8
5	ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE DE L'OGNON À MONTESSAUX	9
5.1	ANALYSE STATISTIQUE DIRECTE DES DONNÉES DE MONTESSAUX.....	9
5.2	ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES DE SERVANCE- CORRÉLATION SERVANCE-MONTESSAUX.....	10
5.2.1	<i>Analyse statistique des données de SERVANCE</i>	10
5.2.2	<i>Débits des grandes crues sous évalués</i>	11
5.2.3	<i>Recherche d'une corrélation SERVANCE-MONTESSAUX</i>	12
5.2.4	<i>Valeurs adoptées pour les débits de crue de l'OGNON à MONTESSAUX</i>	13
5.3	RECHERCHE D'UNE CORRÉLATION SERVANCE-VOUHENANS	13
6	ANALYSE STATISTIQUE DES AUTRES STATIONS HYDROMÉTRIQUES	14
6.1	STATION DE PLANCHER BAS SUR LE RAHIN	14
6.2	STATION DE BONNAL SUR L'OGNON	15
6.3	ÉTUDE DE LA CONCOMITANCE DES CRUES DE L'OGNON ET DU RAHIN	16
6.4	RECHERCHE D'UNE CORRÉLATION ENTRE LA SOMME DES DÉBITS DE SERVANCE ET DE PLANCHER- BAS ET LES DÉBITS DE BONNAL	17
7	DÉTERMINATION DES DÉBITS DE CRUE DE L'OGNON LE LONG DE LA VALLÉE ÉTUDIÉE	18
7.1	LOCALISATION DES POINTS D'INJECTION DE DÉBIT	18
7.2	DÉTERMINATION DES DÉBITS DE CRUE DE L'OGNON LE LONG DE LA VALLÉE.....	18
7.2.1	<i>Méthode</i>	18
7.2.2	<i>Débits retenus pour le PPRI</i>	19
8	DÉFINITION DES HYDROGRAMMES PROJET	21
8.1	MÉTHODE QDF	21
8.2	DÉTERMINATION DU PARAMÈTRE D.....	21
8.3	FORMULATION MATHÉMATIQUE DES COURBES QDF.....	23
8.4	ESTIMATION DES DÉBITS DE POINTE AU DROIT DES POINTS D'INJECTION DE DÉBIT PAR LA MÉTHODE QDF 24	
8.5	CONCLUSION SUR L'ESTIMATION DES DÉBITS DE POINTE.....	25
8.6	DÉFINITION DES HYDROGRAMMES DES CRUES DE PROJET : MÉTHODE QDF.....	26
8.6.1	<i>A partir de la méthode QDF</i>	26
8.6.2	<i>Définition des hydrogrammes d'apport obtenus par modélisation hydraulique</i>	32

FIGURE

Localisation du linéaire d'étude et des stations hydrométriques.

ANNEXES

- ANNEXE 1 : Analyse statistique des séries de mesures :
 - Annexe 1.1 : Estimation des débits de crue à la station de Montescaux
 - Annexe 1.2 : Estimation des débits de crue à la station de Servance
 - Annexe 1.3 : Corrélation entre les débits de crue de Servance et Montescaux
 - Annexe 1.4 : Estimation des débits de crue à la station de Plancher Bas sur le Rahin
 - Annexe 1.5 : Estimation des débits de crue à la station de Bonnal
 - Annexe 1.6 : Corrélation entre les débits de crue de Servance et de Vouhenans
 - Annexe 1.7 : Corrélation entre la somme des débits de Servance et Plancher-Bas et les débits de Bonnal
- ANNEXE 2 : Hydrogrammes historiques mesurés aux stations hydrométriques

1 Contexte et objet de l'étude

Les objectifs de cette phase sont de déterminer les débits de pointe et les hydrogrammes aux stations hydrométriques et dans la zone d'étude pour les crues historiques, pour les crues d'occurrence décennale, cinquantennale, centennale, et pour la crue exceptionnelle.

Les conditions à considérer au niveau des confluences seront déterminées (confluences de l'Ognon avec la Reigne et avec le Rahin).

On rappelle que les zones inondables étudiées concernent le linéaire de vallée situé entre les limites suivantes :

- *limite amont : 1 km en amont du franchissement de l'Ognon par la voie ferrée entre Lure et Malbouhans (limite communale de Roye),*
- *limite aval : 600 m en aval du franchissement de l'Ognon par la voie ferrée en amont du moulin Petenieux (limites communales de Vy-les-Lure et Vouhenans .*

Le PPRI a été prescrit sur les communes de Lure, Roye, Magny-Vernois, Vouhenans, Vy-les-Lure, et concerne les inondations par débordement de l'Ognon.

Pour les calculs de la condition aval, le modèle hydraulique sera cependant monté jusqu'aux Aynans, de manière à prendre en compte la confluence avec le Rahin.

2 Présentation du bassin versant

Le linéaire d'étude appartient à la Haute Vallée de l'Ognon. L'Ognon prend sa source sur la commune de Château-Lambert (70) en tête du vallon du bois des Brosses-Lémont à 904 m d'altitude, et conflue avec la Saône, à Heuillez-sur-Saône, à 185 m d'altitude.

Le cours de la rivière, d'orientation générale Nord-Est /Sud-Ouest se développe sur un tracé de 215 km, de la bordure méridionale des Vosges à la vallée de la Saône.

Le Rahin naît au Nord du massif de Saint-Antoine à 950 m d'altitude et rejoint l'Ognon aux Aynans après 50 km de parcours.

La Reigne naît d'un système d'émergences situées dans l'agglomération luronne à 290 m d'altitude, et conflue avec l'Ognon à 281 m, à la jonction des massifs forestiers des Iles et de Talère sur la commune de y-Lès-Lure.

Le régime des eaux et la dynamique des rivières sont marqués par l'existence d'un gradient altitudinal et climatique prépondérant, des formations hercyniennes du massif vosgien à la plaine de la Saône. L'organisation des différentes unités se fait perpendiculairement à la direction des écoulements NE-SO des rivières.

L'histoire glaciaire et les phénomènes karstiques ont affecté la mise en place des écoulements superficiels et souterrains, et participent au fonctionnement actuel des rivières.

Le potentiel hydrologique est très étroitement associé aux données climatiques caractérisées par l'abondance des précipitations distribuées selon un gradient longitudinal du massif vosgien (isohyète 2 000) à la confluence de la Saône (isohyète 700). Un gradient de pluviométrie croissante de la plaine de la Saône à la zone des Avants-Monts, plus nettement marqué dans le secteur méridional (600 m à 1150 m) vient aussi se superposer.

Les maximums des précipitations apparaissent pendant les mois froids, de septembre à mars, les plus fortes valeurs étant régulièrement relevées en novembre. Lors des années très pluvieuses, le maximum peut se déplacer en décembre, janvier ou février, la quantité d'eau tombée au cours de ces trois mois pouvant atteindre plus de la moitié du volume annuel.

Les minimums sont moins localisées dans le cycle annuel, apparaissent en moyenne en avril et septembre.

Le cadre géologique du bassin versant de l'Ognon est marqué par le passage des structures hercyniennes de la retombée méridionale des Vosges (ligne de partage des eaux des réseaux rhénan et rhodanien), aux puissantes formations calcaires du jurassique moyen des secteurs de l'aval.

Cette succession correspond à différentes types de drainage et de perméabilité, et s'accompagne de variations longitudinales de la minéralisation des eaux.

L'étude morphométrique et hypsométrique réalisée dans l'étude du SRAE (1987) a permis de montrer que l'Ognon quitte plus rapidement la zone montagnarde que le Rahin, qui demeure « à cheval sur la montagne et le piémont sous-vosgien » (Mathieu 1984).

Les deux cours d'eau abordent progressivement la région des plateaux où la disproportion entre la largeur des vallées et le cours actuel témoigne de l'importante

activité érosive et sédimentaire ayant régné dans cette zone témoin de la compétence du complexe hydrodynamique ancien.

Le tableau ci-dessous présente les précipitations de référence sur quatre stations situées dans le bassin versant.

stations	période	altitude	P10	P100	Max. observé
Lure	1957-2009	310	51	67,5	79,5 le 30/08/68
Mélisey	1968-2009	331	57,2	81,2	75,5 le 24/10/99
Plancher-les-Mines	1957-2009	520	100,2	127,7	119 le 14/02/90
Servance	1951-2009	425	90,2	124,6	110 le 06/02/58

Pluviométrie sur 1 jour.

stations	période	altitude	P10	P100	Max. observé
Lure	1957-2009	310	71,4	88,7	96,5 le 24/10/99
Mélisey	1968-2009	331	81,9	96,4	92 le 24/10/99
Plancher-les-Mines	1957-2009	520	145,4	197,2	220 le 13/02/90
Servance	1951-2009	425	129,4	184,8	131,2 le 26/11/83

Pluviométrie sur 2 jours.

stations	période	altitude	P10	P100	Max. observé
Lure	1957-2009	310	95,3	119	128,5 le 22/10/99
Mélisey	1968-2009	331	107,5	130,7	123,5 le 22/10/99
Plancher-les-Mines	1957-2009	520	187	231,4	261 le 12/02/90
Servance	1951-2009	425	164,5	215,5	201,9 le 12/02/90

Pluviométrie sur 4 jours.

Les valeurs à Plancher-les-Mines, station la plus élevée, sont les plus fortes. Les valeurs à la station de Lure, station la moins élevée et la plus méridionale, sont les plus faibles.

Le maximum observé à la station de Plancher-les-Mines correspond à l'événement pluvieux de février 1990 qui a engendré une des plus fortes crues de l'Ognon sur la haute vallée.

3 Présentation des stations hydrométriques

Les stations hydrométriques les plus proches de la zone d'étude sur l'Ognon et sur les affluents concernés sont les suivantes :

Cours d'eau	Station	Surface BV (km ²)	Données disponibles
OGNON	SERVANCE	73,5	1968-2009
OGNON	MONTESSAUX	168	1993-2009
OGNON	VOUHENANS	203	1985-1990
OGNON	CHASSEY-lès-MONTBOZON (BONNAL)	866	1987 – 2009
RAHIN	PLANCHER-BAS	33	1968-2009
RAHIN	VAL DE GOUHENANS	149	1985-1990

Stations hydrométriques.

La station de Montescaux est située 7,75 km en amont de la zone d'étude.

La station de Vouhenans est située dans la zone d'étude. La confluence de l'Ognon avec la Reigne et le Rahin s'effectue à l'aval de Vouhenans. L'Ognon ne reçoit pas d'affluent notable entre la station de Vouhenans et celle de Montescaux.

En fait, la station a été déplacée de Vouhenans à Montescaux pour des raisons techniques. Les données disponibles sur la banque hydrologique s'arrêtent au 31/12/90 pour la station de Vouhenans ; au-delà de cette date, les données ne sont que partielles. En outre, comme on le verra dans l'étude, les données de la station de Vouhenans ne semblent pas pouvoir être utilisées pour l'estimation des grandes crues de référence.

Ces deux stations ne présentent chacune que 17 et 5 années de mesures disponibles. Aussi, s'appuiera-t-on également sur les données de la station de Servance, plus ancienne car suivie depuis 42 ans, et sur celles de la station de Bonnal suivie depuis 23 ans.

La station de Bonnal présente cependant un bassin versant très supérieur à celui de la zone d'étude (l'Ognon présente un bassin versant de 452 km² aux Aynans, et de 866 km² à Bonnal).

Dans la Banque Hydro, la qualité globale des mesures des stations de Servance, Montescaux, et Bonnal est indiquée bonne en basses, moyennes et hautes eaux.

La station de Plancher Bas sur le Rahin est située très en amont de la confluence du Rahin avec l'Ognon (environ 29 km en amont). Le bassin versant contrôlé est de 33 km², alors que le bassin versant total du Rahin est de 153 km². Elle dispose cependant de 42 années de mesure.

Dans la Banque Hydro, la qualité des mesures de la station de Plancher-Bas est indiquée bonne en basses, moyennes et hautes eaux.

La station du Val de Gouhenans présente un bassin versant de 149 km², soit proche de celui du Rahin à la confluence avec l'Ognon, mais dispose de très peu d'années de suivi pour être utilisée.

La Reigne ne dispose pas de station de suivi des débits.

4 Principe des calculs

L'étude hydrologique a été menée de la façon suivante :

- *Étape n°1* : Analyse statistique directe des données de Montescaux, pour établir les débits de crue de l'Ognon à Montescaux. Compte tenu du nombre d'années de suivi, cette approche ne permet l'estimation des crues que jusqu'à une période de retour de 10 ans maximum ; au-delà (20 ans, 50 ans, 100 ans), il est obligatoire de recouper les estimations par une autre source ; c'est la raison pour laquelle a été menée l'étape n°2.
- *Étape n°2* :
 - A. Analyse statistique des données de Servance, pour établir les débits de crue de l'Ognon à Servance (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans).
 - B. Application de la méthode du gradex pour déterminer les forts débits à Servance, comparaison avec l'estimation statistique précédente (A), et choix des débits.
 - C. Recherche d'une corrélation entre les débits de Servance et Montescaux (corrélation sur les plus grandes valeurs de débits instantanés maximums mensuels sur la période commune d'exploitation).
 - D. Application de cette corrélation pour estimer les débits des grandes crues (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans) de l'Ognon à Montescaux à partir des valeurs correspondantes retenues à Servance.

On a ensuite recoupé les deux approches, pour arrêter une estimation des débits de crue à Montescaux, estimation qui a ensuite été extrapolée au restant de la vallée, jusqu'à Vouhenans, en utilisant une corrélation à partir des surfaces respectives des bassins versants. Comme il n'y a pas d'arrivée d'affluent majeur entre Montescaux et Vouhenans, il est paru possible d'utiliser cette corrélation.

- *Étape n° 3* :
 - A. Analyse statistique des données de Bonnal et de Plancher-Bas, pour établir les débits de crue de l'Ognon à Bonnal et du Rahin à Plancher-Bas (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans),
 - B. Recherche d'une corrélation entre les débits de Montescaux et Bonnal, et entre la somme des débits de Plancher-Bas et Servance et Bonnal (corrélation sur les plus grandes valeurs de débits instantanés maximums mensuels sur la période commune d'exploitation). [nb : L'étude conclut à l'absence de corrélation.]
 - C. Détermination des débits de l'Ognon aux confluences avec la Reigne et avec le Rahin, à partir des surfaces respectives des bassins versants, et en utilisant la corrélation mise en évidence dans l'étape n°2.
- *Étape n° 4* : Recouplement des résultats avec ceux issus de la méthode QDF mise au point par le CEMAGREFF, et estimation des hydrogrammes de crues à partir de cette méthode.

5 Estimation des débits de crue de l'OGNON à MONTESSAUX

5.1 Analyse statistique directe des données de MONTESSAUX.

Il a été procédé à un ajustement statistique de la série des maxima instantanés annuels enregistrés à la station de Montesaux (16 années de mesures). Deux lois de probabilité usuelles ont été testées : loi de Gumbel et loi de Frechet. Toutes deux sont des lois dites doublement exponentielles (ou lois des valeurs extrêmes) ; la différence est que l'ajustement est, dans le cas de la loi de Gumbel, réalisé directement sur la série classée des valeurs des débits maximaux instantanés annuels ; dans le cas de la loi de Frechet, l'ajustement s'effectue sur la série des logarithmes de ces valeurs.

La figure A de l'annexe n° 1.1 permet d'apprécier graphiquement les résultats des différents ajustements et de comparer les fréquences expérimentales¹ des crues observées aux fréquences théoriques estimées par les deux approches.

Si on s'intéresse plus particulièrement aux crues les plus fortes enregistrées à Montesaux- soit les épisodes de février 1999, décembre 1999 et décembre 2001 -, on obtient les résultats suivants :

Crue	Débit	Fréquence expérimentale	Fréquence par Gumbel
Station de Montesaux (1994-2010)			
20/02/1999	104	8,5 ans	12 ans
19/12/1999	100	5,7 ans	10 ans
30/12/2001	106	17 ans	13 ans

Comparaison des fréquences statistique et expérimentale des plus fortes crues historiques à Montesaux.

Comme on peut le constater, l'ajustement statistique à la série de données de la station de Montesaux ne sont pas très bons. Graphiquement parlant, les points expérimentaux des crues ne s'alignent pas bien sur les courbes théoriques d'extrapolation, que ce soit par la méthode de Gumbel ou de Frechet. Il convient donc de rester prudent sur la validité de ces résultats.

Les estimations des débits de crue de l'Ognon à Montesaux sont les suivantes :

- $Q_{10} = 101 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{20} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{50} = 132 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 145 \text{ m}^3/\text{s}$

Il est nécessaire de comparer les débits des grandes crues (crues de période de retour supérieure à la décennale) à l'aide d'une seconde approche, développée au paragraphe suivant.

¹ Si n est le nombre d'années d'observations (ici 10) et j le rang d'une crue donnée (les crues étant classées de la moins forte à la plus forte), la fréquence expérimentale vaut $F = j / (n+1)$. La période de retour T, exprimées en années (et que par abus de langage, on appellera fréquence dans le texte), vaut $T = 1 / (1-F)$.

Pour information, le plus fort débit jaugé à la station de Montceaux est de 59,5 m³/s le 26 janvier 1995. Onze des seize valeurs retenues pour l'ajustement de Gumbel sont donc estimées.

5.2 Analyse statistique des données de SERVANCE- corrélation SERVANCE-MONTESSAUX

5.2.1 Analyse statistique des données de SERVANCE.

Il a été cette fois procédé à un ajustement statistique de la série des maxima instantanés annuels enregistrés à la station de Servance. Les mêmes lois de probabilité usuelles ont été testées : loi de Gumbel et loi de Frechet.

La figure B de l'annexe 1.2 permet d'apprécier graphiquement les résultats des différents ajustements. Le tableau permet de comparer les fréquences expérimentales des crues observées aux fréquences théoriques estimées par les deux approches.

On s'est ensuite intéressé aux trois plus fortes crues enregistrées à Servance, et aux crues les plus fortes enregistrées à la station de Montceaux. On obtient ainsi les résultats suivants :

Crue	Débit	Fréquence expérimentale	Fréquence par Gumbel
15/02/1990	99,6	41 ans	34 ans
23/02/1970	82,3	21 ans	11 ans
01/02/1984	82	14 ans	11 ans
20/02/1999	59	3 ans	3 ans
19/12/1999	64,9	3 ans	4 ans
29/12/2001	78,9	7 ans	9 ans

Comparaison des fréquences statistique et expérimentale de crues historiques à Servance.

Comme on peut le constater, c'est l'extrapolation par la méthode de Gumbel qui permet d'ajuster le mieux les fortes crues enregistrées, et c'est donc par cette méthode que l'on a estimé les débits de crue de l'Ognon à Servance.

Les estimations des débits de crue de l'Ognon à Servance sont les suivantes :

- $Q_2 = 51 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_5 = 69 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{10} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{20} = 91 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{50} = 106 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{100} = 117 \text{ m}^3/\text{s}$.

La borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de l'ajustement de Gumbel est, pour le débit centennal, égale à $Q_{100} \text{ IC } 95 \% = 141 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour information, le plus fort débit jaugé à la station de Servance est de 30 m³/s. Vingt des quarante valeurs retenues pour l'ajustement de Gumbel sont donc estimées.

5.2.2 Débits des grandes crues sous évalués

Le débit de 100 m³/s a été enregistré à la station hydrométrique de Servance pour la crue de 1990.

La DREAL propose de remettre en cause cette valeur pour plusieurs raisons :

- la courbe de tarage établissant la relation entre la hauteur et le débit à la station n'est pas fiable en hautes eaux ; le plus fort débit jaugé est de 30 m³/s.
- l'ajustement statistique à une loi de Gumbel fait apparaître un comportement en « plateau » pour les valeurs rares alors même que l'on pourrait s'attendre sur ces têtes de bassins versants vosgiens à des accroissements de débits type gradex. (cas de la Savoureuse à Giromagny)
- l'hydrologie régionale du secteur sud vosgien (Rahin, Savoureuse) indique que la crue de 1990 est voisine de la crue centennale. Cette analyse est valide sur l'Ognon à Bonnal, pas à Servance d'après les données actuelles.

Les calculs hydrauliques effectués dans le cadre de cette étude montrent que pour le bon calage du modèle sur les laisses de crue de 1990 un débit de 180 m³/s doit être injecté dans Lure. Compte tenu des corrélations mises en évidence (Cf § 5.2.3) entre Servance et Montessaux, le débit correspondant à Servance serait alors de 117 m³/s.

Cet ensemble d'analyses concordantes permet d'affirmer, en accord avec le service gestionnaire de la station, que les débits de la station de Servance sont sous-estimés en hautes eaux. Un redressement de la courbe de tarage est envisagé.

Pour Servance, l'extrapolation aux débits rares donne :

- $Q_{iX100} = 126$ m³/s (loi de Gumbel avec gradex de 19,83 m³/s)
- $Q_{iX1000} = 168$ m³/s (loi de Gumbel, ajustement par le maximum de vraisemblance)

La méthode du gradex est appliquée au-delà de la période de retour 10 ans. Les différents débits de référence retenus à Servance sont donc :

- $Q_2 = 51$ m³/s,
- $Q_5 = 69$ m³/s,
- $Q_{10} = 80$ m³/s,
- $Q_{20} = 94$ m³/s,
- $Q_{50} = 112$ m³/s,
- $Q_{100} = 126$ m³/s,
- $Q_{1000} = 168$ m³/s

5.2.3 Recherche d'une corrélation SERVANCE-MONTESSAUX

On a recherché entre les débits de l'Ognon à Servance et ceux à Montesaux une corrélation de la forme proposée par Myers :

$$Q(MON) = \left(\frac{SMON}{SSERV} \right)^\alpha * Q(SERV)$$

avec α un coefficient à déterminer, $Q(SERV)$ et $Q(MON)$ les débits d'une crue donnée de l'OGNON, respectivement à SERVANCE et MONTESSAUX, $SSERV$ et $SMON$ étant les superficies respectives du bassin versant de l'OGNON au droit de ces stations (73,5 et 168 km²).

Le tableau de l'annexe 1.3 présente la recherche de corrélation entre les débits instantanés maximaux mensuels des stations de Servance et Montesaux pour les treize plus grosses crues enregistrées sur la période de mesures commune (10/1993-02/2010). Comme on peut le voir sur le graphique, la corrélation est assez bonne. La valeur $\alpha = 0,44$ (moyenne des valeurs les plus fortes) conduit à une valeur un peu supérieure à celle de la crue décennale estimée selon la première approche ; ce coefficient donne des valeurs de la crue de décembre 1999 et de la crue de décembre 2001 proches de celles mesurées (la corrélation donne en revanche des résultats plus médiocres pour les crues de janvier 1995 et février 1999).

	OGNON à SERVANCE	OGNON à MONTESSAUX (valeurs estimées par corrélation à partir de SERVANCE)	OGNON à MONTESSAUX (valeurs estimées par approche statistique directe ou mesurée)	Ecart
Q ₁₀	83 m ³ /s	115 m ³ /s	101 m ³ /s	+14 %
Crue janv. 95	78,7 m ³ /s	113 m ³ /s	94,8 m ³ /s (mesurée)	+19 %
Crue fév.99	59 m ³ /s	85 m ³ /s	104 m ³ /s (mesurée)	- 18 %
Crue déc.99	64,9 m ³ /s	93 m ³ /s	100 m ³ /s (mesurée)	- 7%
Crue déc. 01	78,9 m ³ /s	114 m ³ /s	106 m ³ /s (mesurée)	+7%

Comparaison des valeurs mesurées et obtenues par corrélation à la station de Montesaux.

Si on applique ce coefficient de corrélation $\alpha = 0,44$ pour l'estimation de crues plus rares, il vient les valeurs suivantes :

	OGNON à SERVANCE	OGNON à MONTESSAUX (valeurs estimées par corrélation à partir de SERVANCE)	OGNON à MONTESSAUX (valeurs estimées par approche statistique directe)	Ecart
Q ₂₀	94 m ³ /s	135 m ³ /s	115 m ³ /s	+18%
Q ₅₀	112 m ³ /s	161 m ³ /s	132 m ³ /s	+22%
Q ₁₀₀	126 m ³ /s	181 m ³ /s	145 m ³ /s	+25%

Comparaison des valeurs obtenues par ajustement statistique et par corrélation à la station de Montesaux.

Les valeurs estimées par cette seconde approche sont supérieures à celles de la première méthode (par estimation statistique directe).

5.2.4 Valeurs adoptées pour les débits de crue de l'OGNON à MONTESSAUX

Compte tenu des résultats plus forts donnés par la deuxième approche (estimation à partir de la station de Servance), et de la corrélation assez bonne entre les deux stations, nous avons adopté les valeurs de cette seconde approche pour les débits de crue de l'Ognon à Montesaux :

- $Q_{10} = 116 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{20} = 135 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{50} = 161 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{100} = 181 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{1000} = 242 \text{ m}^3/\text{s}$

5.3 Recherche d'une corrélation SERVANCE-VOUHENANS

On a étudié la corrélation entre les débits instantanés maximaux mensuels des stations de Servance et Vouhenans sur la période commune de mesures (10/1985 – 12/1990). Aucune corrélation ne se dégage du nuage de point (Cf. annexe n° 1.6).

En outre, les valeurs de débits à Vouhenans paraissent sous estimées pour plusieurs crues. Le nombre d'année de suivi est également court. Par conséquent, il n'a pas été réalisé d'ajustement statistique sur la série de débit de Vouhenans.

A titre d'information, on indique ci-dessous les plus forts débits mesurés à la station de Vouhenans :

- Crue du 01/02/1990 : $97 \text{ m}^3/\text{s}$
- Crue du 15/02/1990 : $83 \text{ m}^3/\text{s}$

La station n'a pas fonctionné lors de la pointe de débit de la crue de février 1990. Par conséquent, le débit de la crue du 15 février 1990 est plus élevé que $83 \text{ m}^3/\text{s}$.

6 Analyse statistique des autres stations hydrométriques

6.1 Station de PLANCHER BAS sur le RAHIN

Il a été procédé à un ajustement statistique de la série des maxima instantanés annuels enregistrés à la station de Plancher Bas. Les mêmes lois de probabilité usuelles ont été testées : loi de Gumbel et loi de Frechet.

La figure C de l'annexe 1.4 permet d'apprécier graphiquement les résultats des différents ajustements. Le tableau permet de comparer les fréquences expérimentales des crues observées aux fréquences théoriques estimées par les deux approches.

On s'est ensuite intéressé aux trois plus fortes crues enregistrées à Plancher Bas, et aux crues les plus fortes enregistrées à la station de Montescaux. On obtient ainsi les résultats suivants :

Crue	Débit	Fréquence expérimentale	Fréquence par Gumbel
15/02/1990	55.7	43 ans	65 ans
25/01/1995	45.4	22 ans	18 ans
17/11/1972	41.6	14 ans	11 ans
20/02/1999	33.1	4 ans	4 ans
19/12/1999	36	4 ans	6 ans
29/12/2001	38.7	6 ans	8 ans

Comparaison des fréquences statistique et expérimentale de crues historiques à Plancher Bas.

Comme on peut le constater sur le graphique, c'est l'extrapolation par la méthode de Gumbel qui permet d'ajuster le mieux les fortes crues enregistrées, et c'est donc par cette méthode que l'on a estimé les débits de crue de l'Ognon à Plancher Bas, à l'exception du débit millénaire qui a été calculé par la méthode des moments pondérés.

Les estimations des débits de crue de **l'Ognon à Plancher Bas** sont donc les suivantes :

- $Q_{10} = 41 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{20} = 46 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{50} = 54 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 59 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{1000} = 79 \text{ m}^3/\text{s}$ (méthode des moments pondérés)

La borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de l'ajustement de Gumbel est, pour le débit centennal, égale à $Q_{100} \text{ IC } 95 \% = 71 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour information, le plus fort débit jaugé à la station de Plancher Bas est de $20,8 \text{ m}^3/\text{s}$ le 9 mars 2006. Trente et une des quarante deux valeurs retenues pour l'ajustement de Gumbel sont donc estimées.

6.2 Station de BONNAL sur l'OGNON

Il a été procédé à un ajustement statistique de la série des maxima instantanés annuels enregistrés à la station de Bonnal. Les mêmes lois de probabilité usuelles ont été testées : loi de Gumbel et loi de Frechet. Le bassin versant contrôlé à cette station est beaucoup plus fort que celui de la zone d'étude. Comme on le verra par la suite, il est possible d'utiliser ces données pour confirmer les débits de pointe sur la partie aval de la zone d'étude (à partir de la confluence avec la Reigne).

La figure D de l'annexe 1.5 permet d'apprécier graphiquement les résultats des différents ajustements. Le tableau permet de comparer les fréquences expérimentales des crues observées aux fréquences théoriques estimées par les deux approches. Les points expérimentaux sont relativement bien ajustés par la loi de Gumbel.

On s'est ensuite intéressé aux trois plus fortes crues enregistrées à Bonnal, et aux crues les plus fortes enregistrées à la station de Montescaux. On obtient ainsi les résultats suivants :

Crue	Débit	Fréquence expérimentale	Fréquence par Gumbel
15/02/1990	308	23	29
25/10/1999	281	12	16
22/12/1991	262	8	11
21/02/1999	245	5	7
30/12/2001	211	3.3	4

Comparaison de fréquences statistique et expérimentale de crues historiques à Bonnal.

Comme on peut le constater sur le graphique et sur le tableau ci-dessus, c'est l'extrapolation par la méthode de Gumbel qui permet d'ajuster le mieux les fortes crues enregistrées, et c'est donc par cette méthode que l'on a estimé les débits de crue de l'Ognon à Bonnal, à l'exception du débit millénaire qui a été calculé par la méthode des moments.

Les estimations des débits de crue de **l'Ognon à Bonnal** sont donc les suivantes :

- $Q_{10} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{20} = 292 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{50} = 332 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 363 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{1000} = 462 \text{ m}^3/\text{s}$ (calcul par la méthode des moments)

La borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de l'ajustement de Gumbel est, pour le débit centennal, égale à $Q_{100} \text{ IC } 95\% = 455 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour information, le plus fort débit jaugé à la station de Bonnal est de $258 \text{ m}^3/\text{s}$ le 15 février 1990. Trois des vingt deux valeurs retenues pour l'ajustement de Gumbel sont donc estimées (estimation au delà de l'occurrence de crue décennale).

6.3 Étude de la concomitance des crues de l'OGNON et du RAHIN

Le tableau ci-dessous présente pour les plus fortes crues le décalage dans le temps entre les pointes de crues (Qp) de l'Ognon et du Rahin aux stations hydrométriques de la zone d'étude.

	écart Qp Servance et Qp Plancher Bas	écart Qp Montescaux et Qp Servance	écart Qp Bonnal et Qp Montescaux
Date des crues	hh:mn	hh:mn	hh:mn
17 novembre 1972	<i>0:10</i>		
16 novembre 1973	0:28		
5 février 1980	<i>0:21</i>		
16 décembre 1981	0:11		
7 février 1984	4:35		
20 décembre 1993	<i>0:03</i>		
25 janvier 1995	1:01	3:16	12:53
20 février 1999	0:40	2:57	13:33
19 décembre 1999	0:02	2:54	11:48
29 décembre 2001	0:36	3:06	15:30
13 janvier 2004	0:24	3:30	14:00

Écart entre les pointes de crue.

Nb : Lorsque la pointe de crue du Rahin à Plancher Bas était en avance sur la pointe de crue de l'Ognon à Servance, le temps dans le tableau a été mis en italique.

Les pointes de crue de l'Ognon à Servance peuvent se produire avant ou après les pointes de crue du Rahin à Plancher Bas, mais les pointes sont très proches en général (les pointes se produisent en moyenne dans un écart de +ou – 20 minutes).

Les pointes de crue de l'Ognon à Montescaux se produisent en moyenne 3 heures après celles de l'Ognon à Servance. Elles se produisent à Bonnal en moyenne 16 heures après celles de Servance.

Le linéaire de vallée entre Servance et la confluence de l'Ognon avec le Rahin est d'environ 29,7 km (pente moyenne de vallée de 1,25 %). Le linéaire de vallée entre Plancher Bas et cette même confluence est d'environ 29 km (pente moyenne de vallée de 1,5%).

Nous ne disposons pas de mesure, mais compte tenu de ce qui précède, on peut considérer que **les crues de l'Ognon et du Rahin peuvent être concomitantes**. En outre, on peut observer que la plus forte crue mesurée à Plancher Bas et à Servance est la crue de février 1990. L'occurrence empirique de cette crue est de 43 ans à Plancher Bas, et 41 ans à Servance, soit la même occurrence. On retiendra que **les crues peuvent donc être concomitantes, et d'occurrences égales**.

6.4 Recherche d'une corrélation entre la somme des débits de SERVANCE et de PLANCHER-BAS et les débits de BONNAL

On a recherché, comme précédemment, une corrélation entre la somme des débits instantanés maximaux mensuels de l'Ognon à Servance et du Rahin à Plancher-Bas et ceux à Bonnal une corrélation de la forme proposée par Myers.

Cette corrélation est présentée sur le graphique à l'annexe 1.7. La corrélation est assez mauvaise. Le bassin versant entre les stations étudiées est important, ce qui explique cette mauvaise corrélation.

7 Détermination des débits de crue de l'OGNON le long de la vallée étudiée

7.1 Localisation des points d'injection de débit

Les points d'injection de débit dans le modèle seront les suivants :

- Limite amont (définie au §1) : débit calculé par corrélation depuis Servance avec la surface de bassin versant contrôlée au droit du franchissement de l'Ognon par la RN19 (S= 197 km²) ;
- Ognon à la confluence avec la Reigne ;
- Ognon à la confluence avec le Rahin.

La localisation de ces points permet de tenir compte de l'arrivée des affluents (Reigne et Rahin), et de l'augmentation de la surface de bassin versant collectée le long de la vallée étudiée. Le bassin versant de l'Ognon entre la limite amont du modèle et la confluence avec la Reigne ne reçoit pas d'affluent notable, et draine un faible bassin versant de forme allongée et peu large (10 km²). Il ne paraît donc pas nécessaire de faire d'autre point d'injection de débit.

7.2 Détermination des débits de crue de l'OGNON le long de la vallée

7.2.1 Méthode

La dernière étape est celle de l'estimation des débits de crues de l'Ognon le long de la vallée étudiée.

Ces débits sont calculés en fonction des surfaces de bassin versant et de la corrélation mis en évidence entre les stations de Montscaux et Servance (MYERS avec $\alpha = 0,44$).

Cette corrélation a donc été étendue en dehors du périmètre dans lequel elle a été établie. Toutefois, le calcul des débits à Bonnal depuis Servance en appliquant cette corrélation sont très proches des débits calculés à Bonnal par ajustement statistique direct, ce qui permet de valider cet emploi.

T (ans)	Débits calculés par corrélation depuis Servance ($\alpha=0.44$)	Débits calculs par ajustements statistiques directs	Écart (%)
10	238	260	-8.6
20	279	292	-4.3
50	333	332	0.1
100	373	363	2.8
1 000	497	462*	7,6

Débits à Bonnal (m³/s)

* : valeur calculée par la méthode des moments.

7.2.2 Débits retenus pour le PPRI

Le tableau suivant présente les débits de pointe de l'Ognon aux différents nœuds du futur modèle hydraulique (valeurs en gras).

	gumbel +gradex	valeurs obtenues par corrélation (MYERS)							estimation statistique directe	écart
		0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44		
	Servance	Montescaux	Limite amont	RN19	Vouhenans	Vouhenans +Reigne	Ognon aux Aynans	Bonnal	Bonnal	Bonnal
<i>S (km²)</i>	73.5	168	189	197	203	288.4	451.93	866	866	
Q2	51	73	77	79	80	93	113	151	178	-15.2%
Q5	69	99	105	106	108	126	153	204	227	-10.0%
Q10	80	116	122	124	126	147	179	238	260	-8.6%
Q20	94	136	143	146	147	172	210	279	292	-4.3%
Q50	112	162	170	173	176	205	250	333	332	0.1%
Q100	126	181	191	194	197	230	280	<u>373</u>	<u>363</u>	2.8%
Q1000	168	242	255	259	263	307	374	<u>497</u>	<u>462</u>	7,6

Débits de pointe (m³/s) qui seront injectés dans le modèle (valeurs en gras)

Le débit de période de retour 1000 ans est le débit retenu pour l'étude de la crue exceptionnelle. Il correspond à une augmentation de 33% du débit centennal.

Le tableau ci-dessous présente les écarts entre les estimations des crues au droit du franchissement de l'Ognon par la RN19 obtenues par corrélation depuis Servance et depuis Montescaux.

Crues	Débits obtenus par corrélation depuis les valeurs mesurées de Servance (m ³ /s)	Débits obtenus par corrélation depuis les valeurs mesurées de Montescaux (m ³ /s)	écart
Février 1999	91	112	+23%
Décembre 1999	100	107	+7%
Décembre 2001	122	114	-7%

Estimation des débits des crues historiques au droit de la RN19.

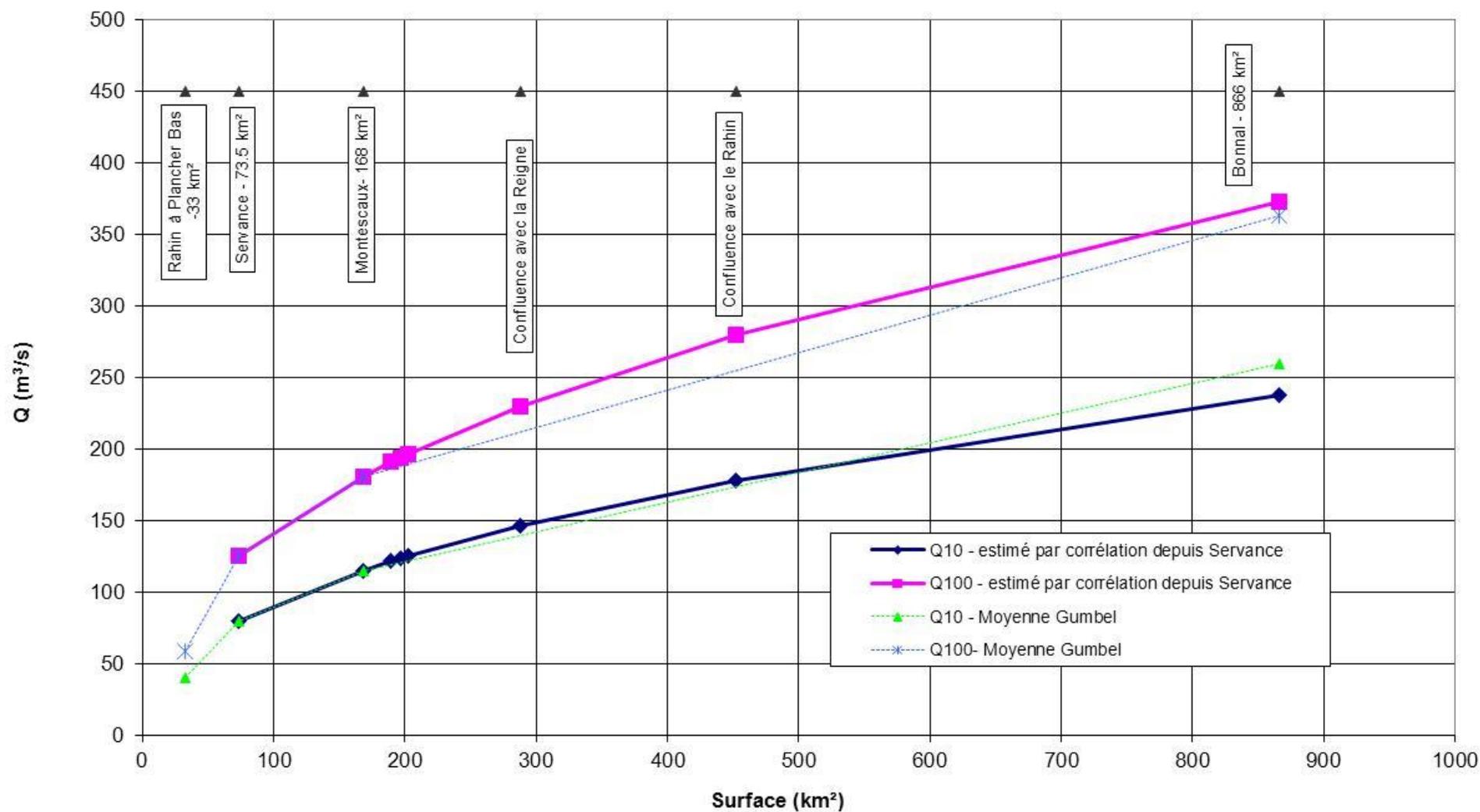
En dehors de la crue de décembre 2001, l'estimation des débits au droit de la RN19 réalisée depuis Servance conduit à des valeurs plus faibles que celles réalisées par corrélation depuis Montescaux.

La modélisation a permis ensuite d'affiner le débit des crues historiques utilisées pour le calage. Globalement, les débits des crues de calage (février 1990, février 1999 et décembre 2001) ont été augmentés de 17% à Servance par rapport aux valeurs actuelles dans la banque Hydro.

Le graphique à la page suivante présente l'évolution des débits décennaux et centennaux retenus (débits projets-courbes fushia et bleu en trait plein) en fonction de la surface de bassin versant collectée le long de la vallée de l'Ognon entre Servance et Bonnal.

On peut observer que la corrélation utilisée depuis Servance permet de recouper les estimations statistiques directes réalisées à la station de Bonnal, qui se trouve très en aval du linéaire d'étude.

Evolution des débits de référence en fonction de la superficie du bassin versant



8 Définition des hydrogrammes projet

8.1 Méthode QDF

La méthode QDF (Débit – Durée – Fréquence) permet la détermination des débits de pointe pour des crues de période de retour élevée à partir du débit de pointe de la crue décennale, ainsi que la réalisation d'hydrogrammes synthétiques monofréquence pour différentes périodes de retour. C'est cette méthode qui a été mise en œuvre pour définir les hydrogrammes de projet qui seront utilisés lors de la modélisation hydraulique, effectuée en régime transitoire.

Cette méthode a été mise au point par le CEMAGREF. Elle utilise plusieurs paramètres :

- T : période de retour ;
- D : durée de dépassement moyenne de $Q_{max}/2$ pour les crues de période de retour élevée ;
- d : durée sur laquelle le débit Q (T,d) est dépassée.

8.2 Détermination du paramètre D

La valeur de D (durée de dépassement moyenne de $Q_{max}/2$) a été estimée à l'aide d'un choix de crues représentatives. On a ainsi retenu les plus grosses crues enregistrées aux stations hydrométriques de Servance, Montescaux, Bonnal, dont les hydrogrammes sont représentés en annexe 2.

Pour chacune de ces crues, on a mesuré la durée pendant laquelle la moitié du débit maximal était dépassée.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

date	Stations								
	Servance			Montescaux			Bonnal		
	QIX	date	D	QIX	date	D	QIX	date	D
novembre-72	79.7	17/11/72 3:41	00jours 17:40						
novembre-73	76.8	16/11/73 1:16	00jours 19:44						
février-80	72.5	5/2/80 2:56	00jours 23:28						
décembre-81	73.3	16/12/81 8:58	00jours 10:05						
février-84	78	7/2/84 7:43	00jours 23:07						
décembre-93	73.7	20/12/93 6:57	01jours 00:09						
janvier-95	78.7	25/1/95 19:14	00jours 17:29	94.8	25/1/95 22:30	01jours 03:48	200	26/1/95 11:23	02jours 02:07
février-99	59	20/2/99 16:00	01jours 02:11	104	20/2/99 18:57	01jours 11:46	245	21/2/99 8:30	03jours 07:50
décembre-99	64.9	19/12/99 12:12	01jours 01:40	100	19/12/99 15:06	01jours 11:25	212	20/12/99 2:54	01jours 19:41
décembre-01	78.9	29/12/01 22:36	00jours 16:08	106	30/12/01 1:42	00jours 22:01	211	30/12/01 17:12	01jours 12:34
janvier-04	62.3	13/1/04 22:00	00jours 21:30	85.5	14/1/04 1:30	01jours 03:13	176	14/1/04 15:30	02jours 10:37

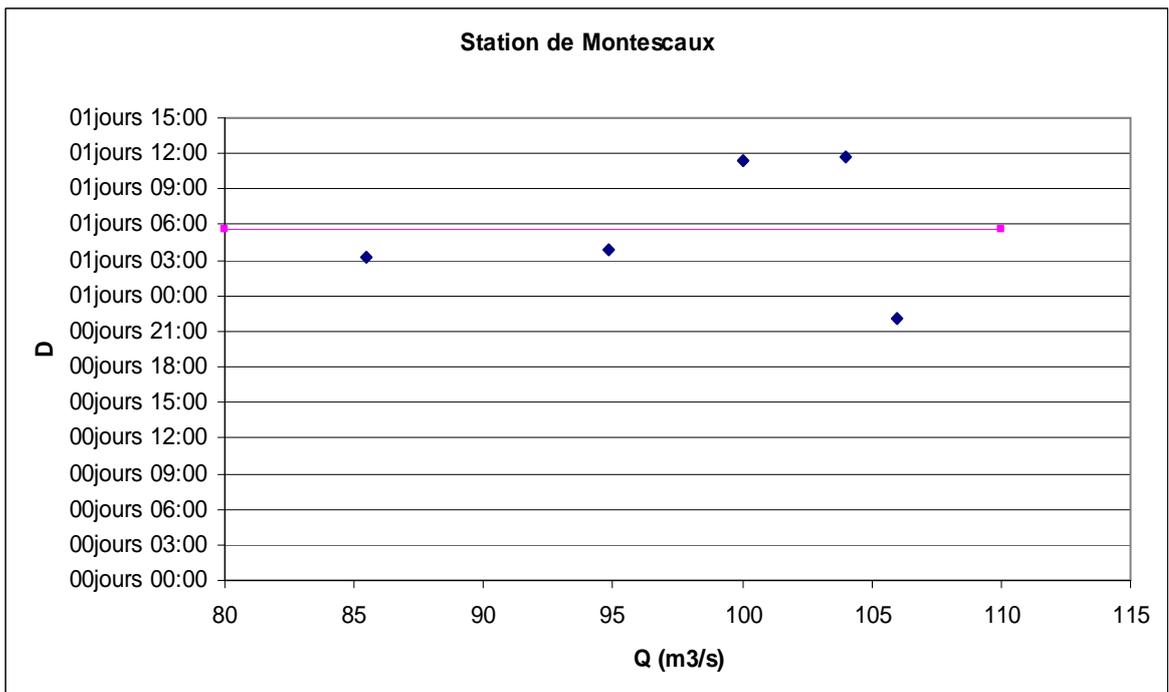
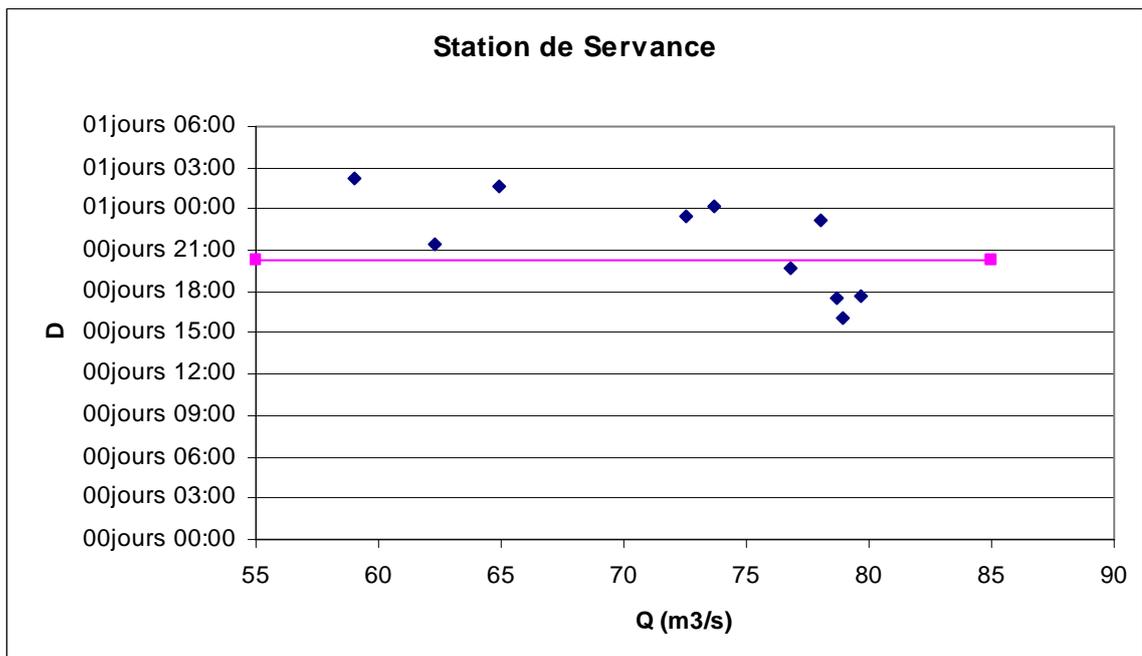
Valeurs de D pour les plus fortes crues.

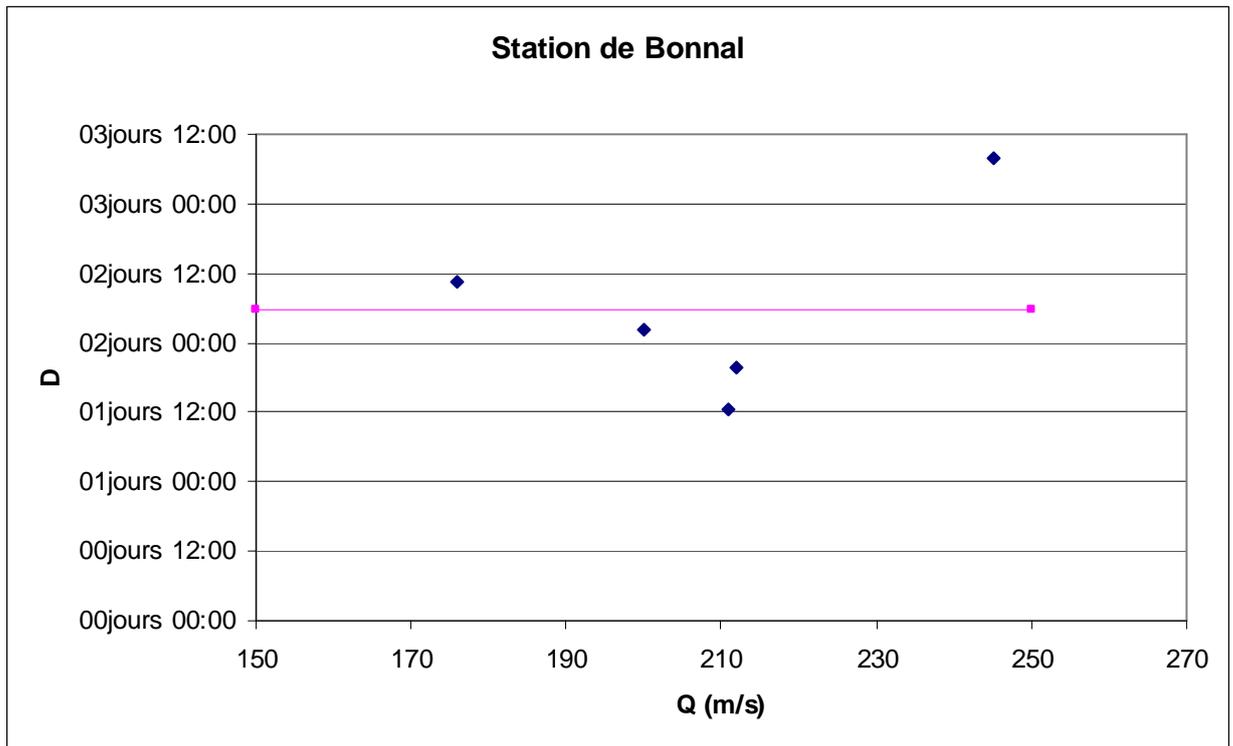
Les valeurs de D retenues sont les suivantes :

- Station de Servance : 20 heures (écart type 5 heures);
- Station de Montescaux : 1 jour et 6 heures (écart type 6 heures);
- Station de Bonnal : 2 jours et 6 heures (écart type de 17 heures) ;

Compte tenu de la taille des échantillons étudiés, il convient d'être prudent sur l'estimation de D.

Pour information, les mêmes calculs ont été réalisés sur Plancher Bas et Beaumotte, les valeurs estimées sont respectivement 23h00 et 4 jours.





8.3 Formulation mathématique des courbes QdF

On rappelle ci-dessous la formulation mathématique des courbes QdF normées, telle qu'elle a été établie par le CEMAGREF :

Pour $T < 20$ ans

$$Q(T, d) = \left[\left(\frac{1}{x1 \cdot \frac{d}{D} + x2} + x3 \right) \cdot \ln(T) + \left(\frac{1}{x4 \cdot \frac{d}{D} + x5} + x6 \right) \right] \cdot Q_{10}$$

Pour $T > 20$ ans

$$Q(T, d) = Q(10, d) + \left(\frac{1}{x7 \cdot \frac{d}{D} + x8} + x9 \right) \cdot \ln \left[1 + \frac{\left(\frac{1}{x1 \cdot \frac{d}{D} + x2} + x3 \right)}{\left(\frac{1}{x7 \cdot \frac{d}{D} + x8} + x9 \right)} \cdot \left(\frac{T-10}{T} \right) \right] \cdot Q_{10}$$

L'Ognon se situe dans la famille de Vandenesse caractéristique de la Bourgogne et des régions proches. On peut en effet vérifier que la valeur de « Gradex(24h)/QIXA10 » (soit 0,25) est inférieure à L1(soit 0,32), la limite des modèles de Vandenesse et Florac.

Les paramètres de ce modèle sont donnés ci-dessous:

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
3,97	6,48	0,01	1,91	1,91	0,097	3,674	1,774	0,013

Pour D, on adoptera les valeurs trouvées précédemment. Pour Q₁₀, on retiendra le résultat fourni par les estimations statistiques réalisées précédemment.

8.4 Estimation des débits de pointe au droit des points d'injection de débit par la méthode QdF

Les débits de pointe sont obtenus en prenant $d = 0$ dans les formules précédentes. Les résultats obtenus sont les suivants :

Pour $T \leq 20$ ans

	Ognon au droit du franchissement de la RN19	Ognon à la confluence avec la Reigne	Ognon à la confluence avec le Rahin
T en années	Q(T,0) en m ³ /s	Q(T,0) en m ³ /s	Q(T,0) en m ³ /s
2	91	109	134
5	110	131	162
10	124	147	179
20	142	168	205

Pour $T \geq 20$ ans

	Ognon au droit du franchissement de la RN19	Ognon à la confluence avec la Reigne	Ognon à la confluence avec le Rahin
T en années	Q(T,0) en m ³ /s	Q(T,0) en m ³ /s	Q(T,0) en m ³ /s
20	142	168	205
50	178	211	257
100	215	255	310
1000	365	433	527

La méthode QdF conduit à des valeurs supérieures à celles obtenues par corrélation depuis les valeurs estimées par approche statistique directe (et maximum de vraisemblance pour 1 000 ans) à partir de Servance : pour les périodes de retour 50 ans (environ + 3%), pour 100 ans (environ +11%) et pour 1000 ans (environ +40%)

8.5 Conclusion sur l'estimation des débits de pointe

Le tableau suivant rappelle les résultats obtenus pour l'estimation des débits de pointe de l'Ognon aux différents nœuds d'injection par les deux méthodes mises en œuvre précédemment. Pour information, on précise également dans ce tableau les débits auxquels conduirait la méthode QDF aux stations de Servance et Bonnal.

T	Station de Servance		RN19		Confluence Reigne		Confluence Rahin		Station de Bonnal	
	Moyenne de Gumbel et gradex	QDF	Corrélation depuis Servance	QDF	Corrélation depuis Servance	QDF	Corrélation depuis Servance	QDF	Moyenne de Gumbel	QDF
2	51	59	79	91	94	108	116	131	178	191
5	69	71	106	110	127	130	158	158	227	230
10	80	80	124	124	147	147	179	179	260	260
20	94	91	146	142	172	168	210	205	292	297
50	112	115	173	178	205	211	250	257	332	374
100	126	139	194	215	230	255	280	310	363	450
1000	168*	168	259	365	307	433	374	527	462**	-

Débits de référence (m^3/s) estimés aux points d'injection dans le modèle par corrélation depuis Servance, et par la méthode QDF.

* : valeur calculée par le maximum de vraisemblance.

** : valeur calculée par la méthode des moments.

Les ajustements statistiques à la station de Servance, et la corrélation entre les données de la station de Montscaux et celles de la station de Servance étaient de bonne qualité.

Par conséquent, **on propose de retenir pour les débits de référence ceux estimés par corrélation depuis la station de Servance (valeurs en gras dans le tableau).**

On rappelle que les résultats issus de la méthode QDF sont légèrement supérieurs pour les périodes de retour 50 et 100 ans, à l'exception de Bonnal où les débits sont nettement plus forts.

8.6 Définition des hydrogrammes des crues de projet : méthode QDF

8.6.1 A partir de la méthode QDF

La méthode QDF permet de définir des hydrogrammes de crues (hydrogrammes synthétiques monofréquence) à partir des formules données au § 7.3, en faisant varier la valeur de d.

Les débits de pointe correspondent aux valeurs retenues au § 7.5.

On a donc réalisé une correction des débits donnés par la méthode QDF en appliquant à tous les débits le ratio entre les débits de pointe issus des deux méthodes :

$$\frac{Q100_{correlation}}{Q100_{QDF}}$$

Le tableau suivant donne la valeur des ratios utilisés.

T (ans)	Franchissement de la RN19	Ognon à la confluence avec la Reigne	Ognon à la confluence avec le Rahin
20	1,03	1,02	1,03
50	0,97	0,97	0,97
100	0,9	0,9	0,9
1000	0,71	0,71	0,71

Ratio appliqués aux hydrogrammes obtenus par la méthode QDF.

Les courbes obtenues pour les différentes périodes de retour étudiées sont représentées sur les graphiques ci-après. On a fait figurer les hydrogrammes issus directement de l'application de la méthode QDF, et ceux minorés par un coefficient (hydrogrammes retenus pour la suite de l'étude).

Lors de la phase de modélisation, réalisée en régime transitoire, on adoptera comme **hydrogrammes de projet pour la crue de référence, les hydrogrammes synthétiques monofréquences correspondant à la période de retour centennale**. On rappelle que l'étude n'a en effet pas mis en évidence de crue historique dont l'occurrence serait supérieure à la centennale.

La crue du 15/02/1990 est un événement majeur pour les différentes stations du bassin versant qui ont pu l'enregistrer. Il s'agit de la plus forte crue mesurée aux stations de Plancher Bas sur le Rahin, de Servance sur l'Ognon (42 années de données pour chaque station), de Bonnal (23 années de données), et la deuxième plus forte crue à la station de Beaumotte sur l'Ognon (42 années de données). **La période de retour de cette crue est cependant un peu inférieure à la centennale.**

A titre d'information, on présente ci-dessous les volumes de la crue de février 1990 et les volumes des hydrogrammes monosynthétiques aux stations de Servance et Bonnal (pas de mesure à Montescaux de la crue de février 1990).

T (ans)	Servance	Bonnal
	Volume (Mm ³)	
20	15,1	83,3
50	17,1	90
Février 1990	13,3	62,3

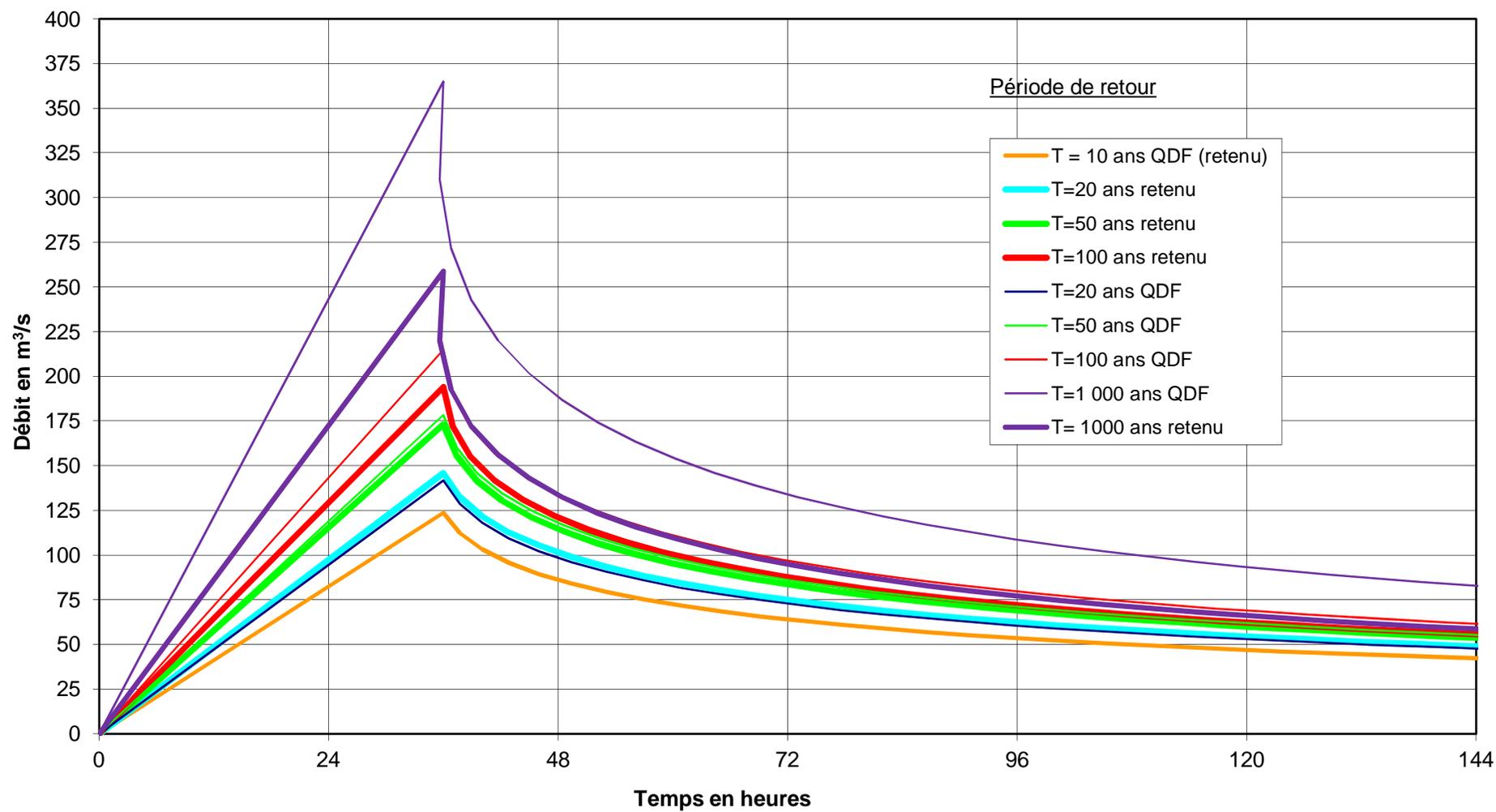
Volumes de crue

On rappelle que les hydrogrammes seront injectés dans le modèle au niveau des points suivants :

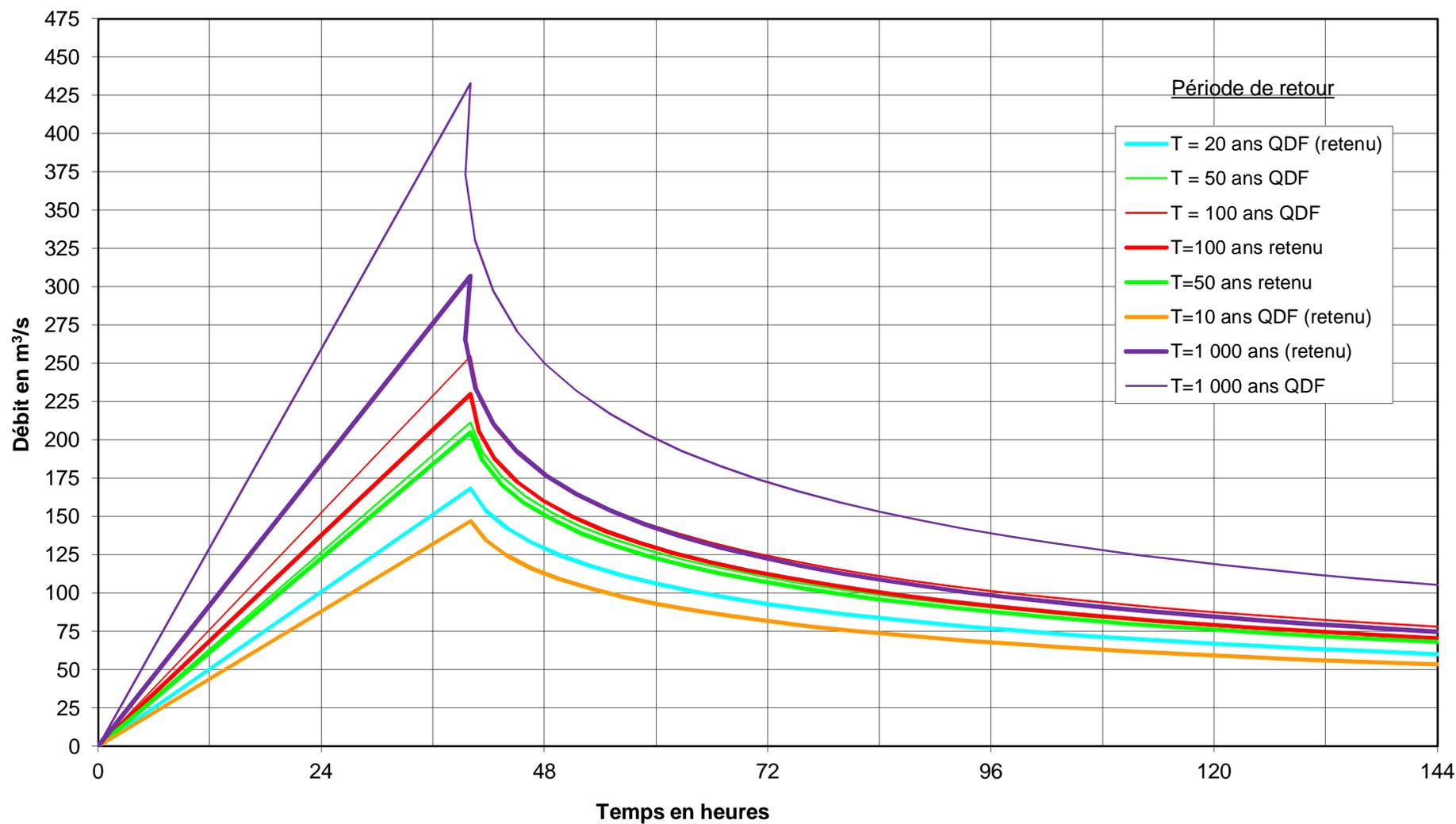
- limite amont du modèle hydraulique (hydrogrammes calculés au droit du franchissement de l'Ognon par la RN19) ;
- apport au droit de la confluence avec la Reigne ;
- apport au droit de la confluence avec le Rahin.

On rappelle que le bassin versant de l'Ognon entre la limite amont du modèle (limite communale de Lure et Roye) et la confluence avec la Reigne ne reçoit pas d'affluent notable, et draine un faible bassin versant (10 km²). Par conséquent, ces trois points d'injection permettent de bien rendre compte de l'évolution des débits le long de la zone d'étude. **On adoptera un coefficient multiplicateur sur les hydrogrammes d'entrée, permettant de retrouver, compte tenu des phénomènes d'écrêtement de crue qui pourraient s'exercer entre la limite amont du modèle et la confluence avec la Reigne d'une part, et de la confluence avec la Reigne et les Aynans d'autres part, les débits de pointe estimés.** Ces hydrogrammes d'apport sont calculés pas modélisation successive.

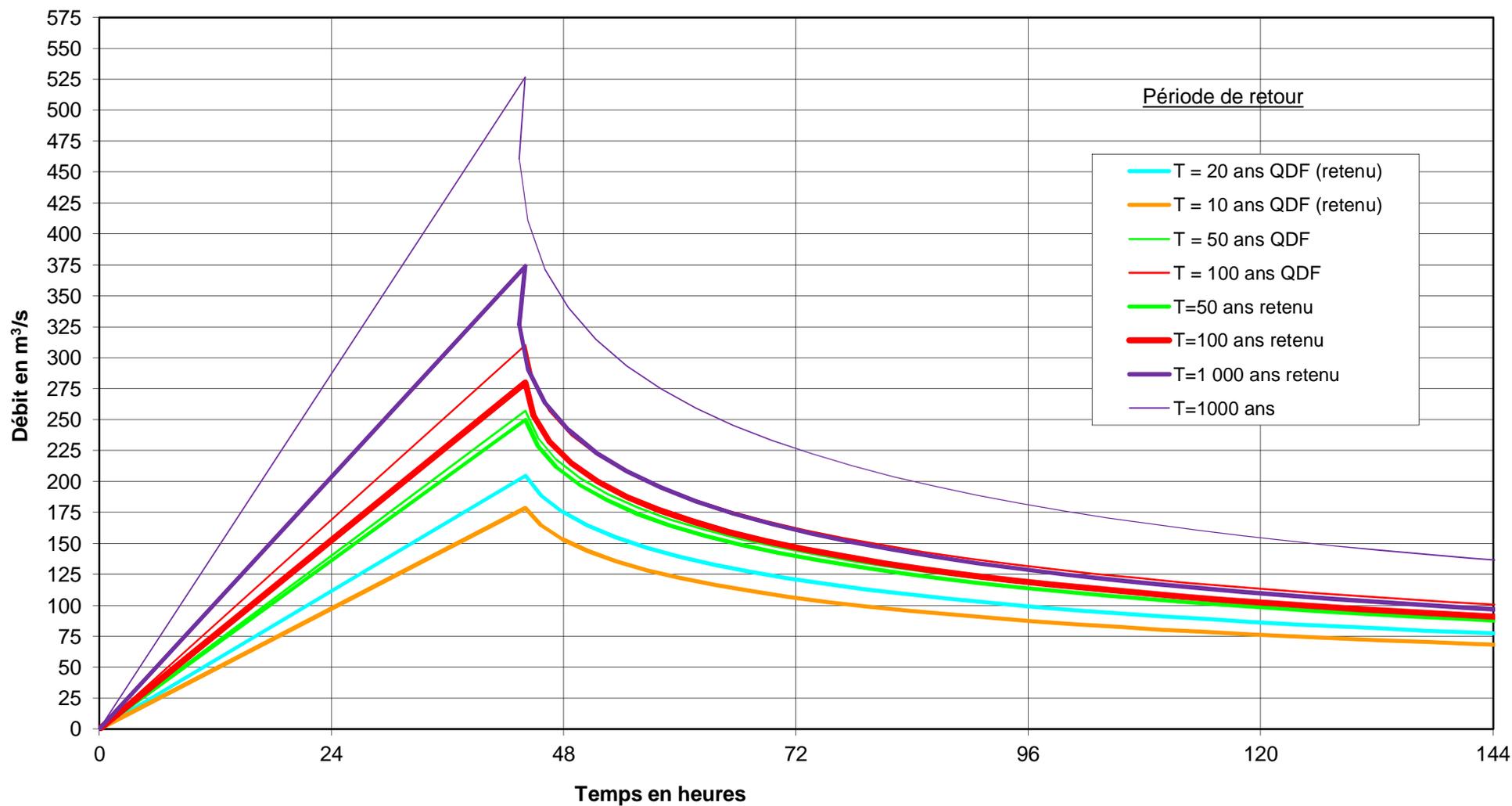
Hydrogrammes synthétiques monofréquences au droit du franchissement de l'Ognon par la RN19



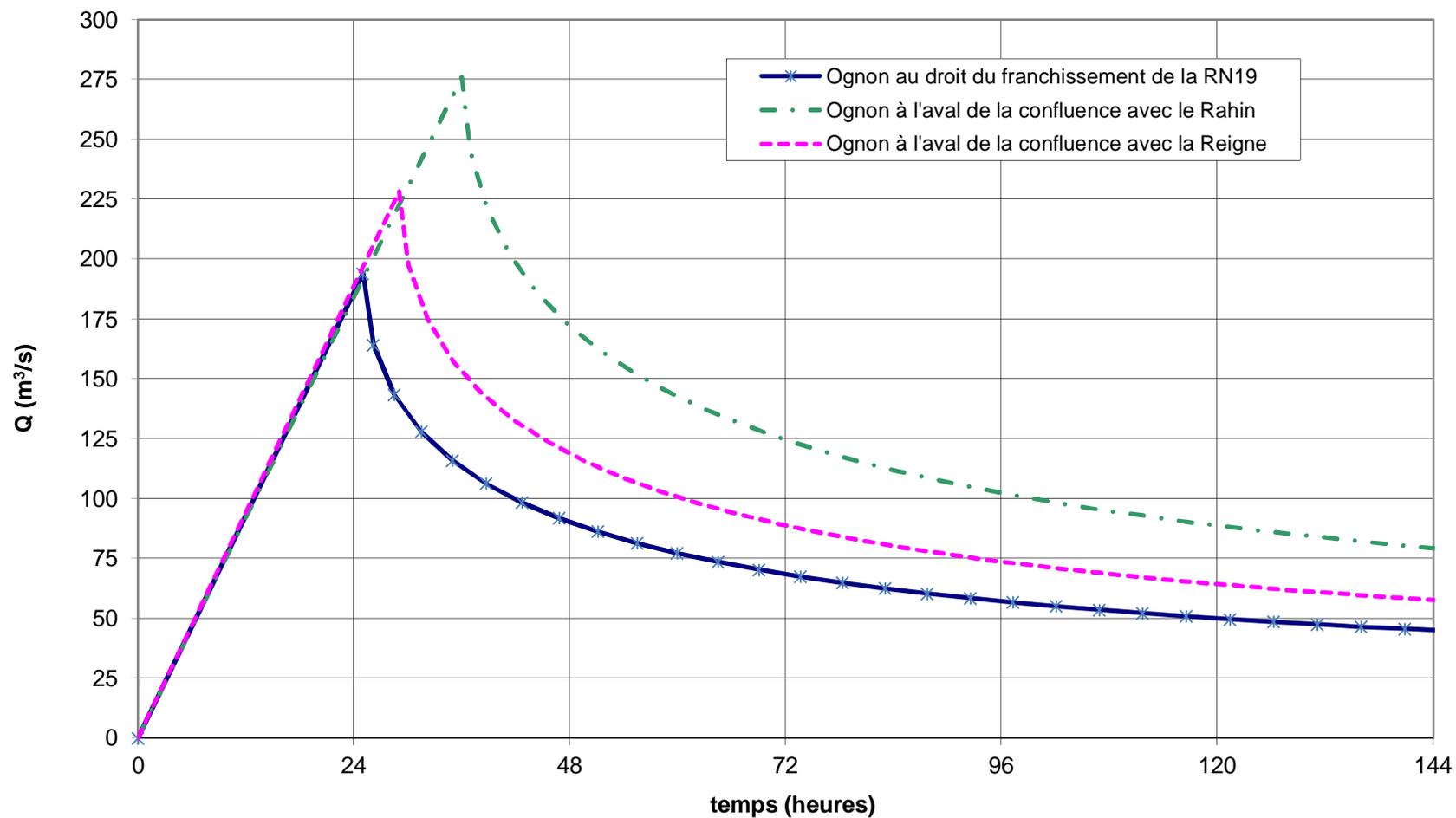
Hydrogrammes synthétiques monofréquences de l'Ognon à l'aval de la confluence avec la Reigne



Hydrogrammes synthétiques monofréquences de l'Ognon à l'aval de la confluence avec le Rahin



Hydrogrammes synthétiques monofréquences de l'Ognon- Occurence centennale



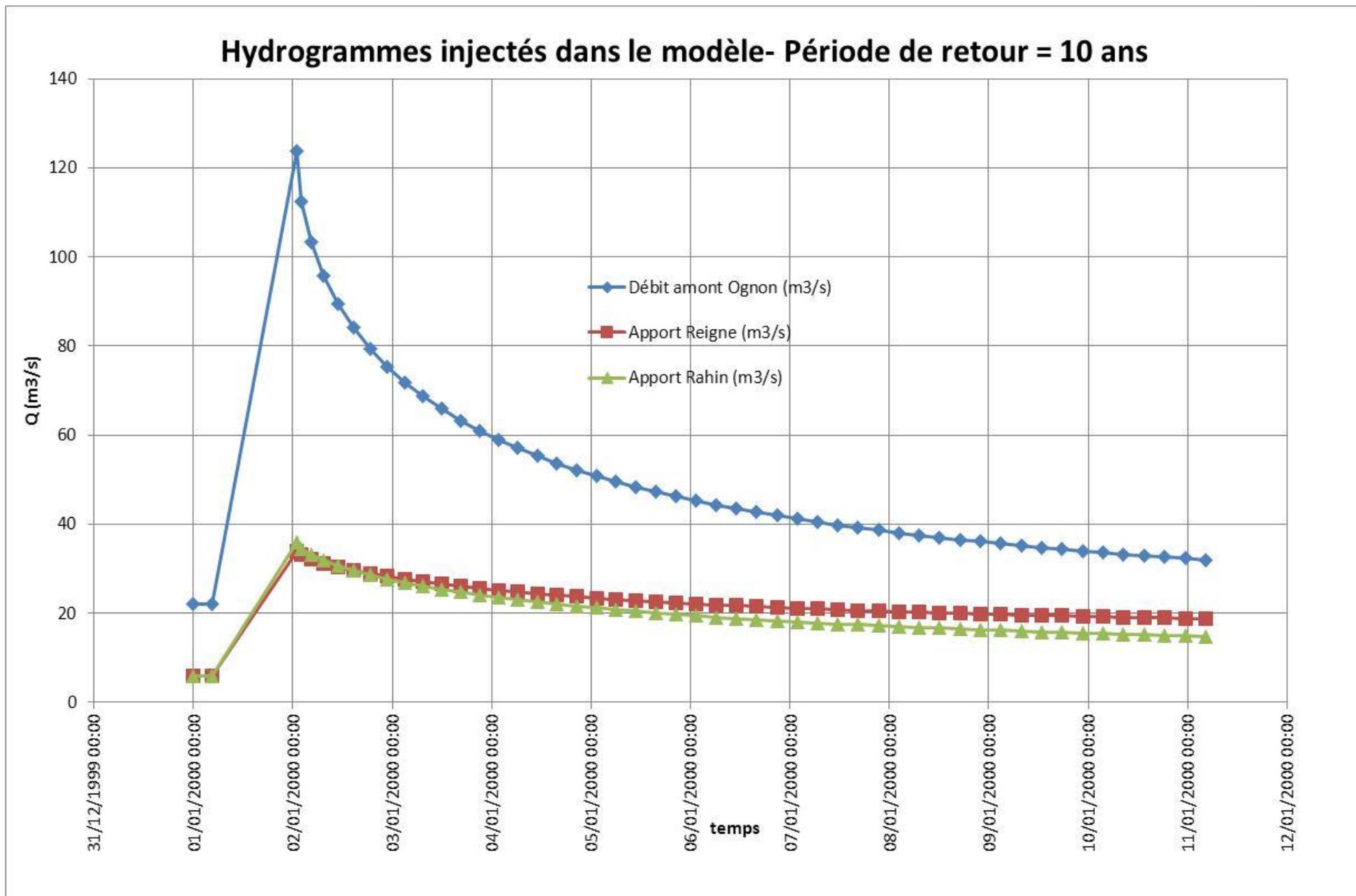
8.6.2 Définition des hydrogrammes d'apport obtenus par modélisation hydraulique

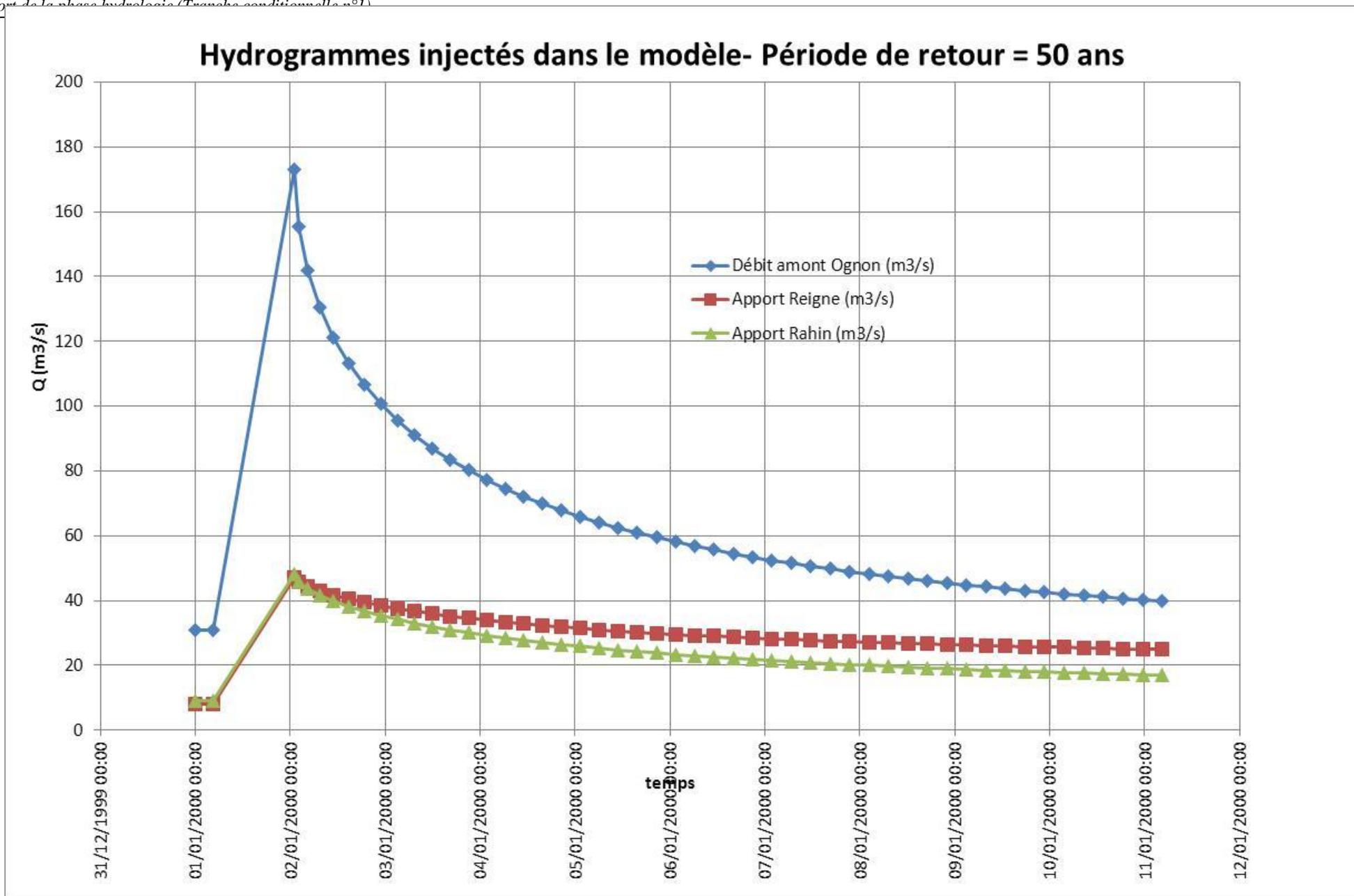
Le tableau ci-dessous présente les débits de pointe des hydrogrammes injectés aux confluences avec la Reigne et le Rahin.

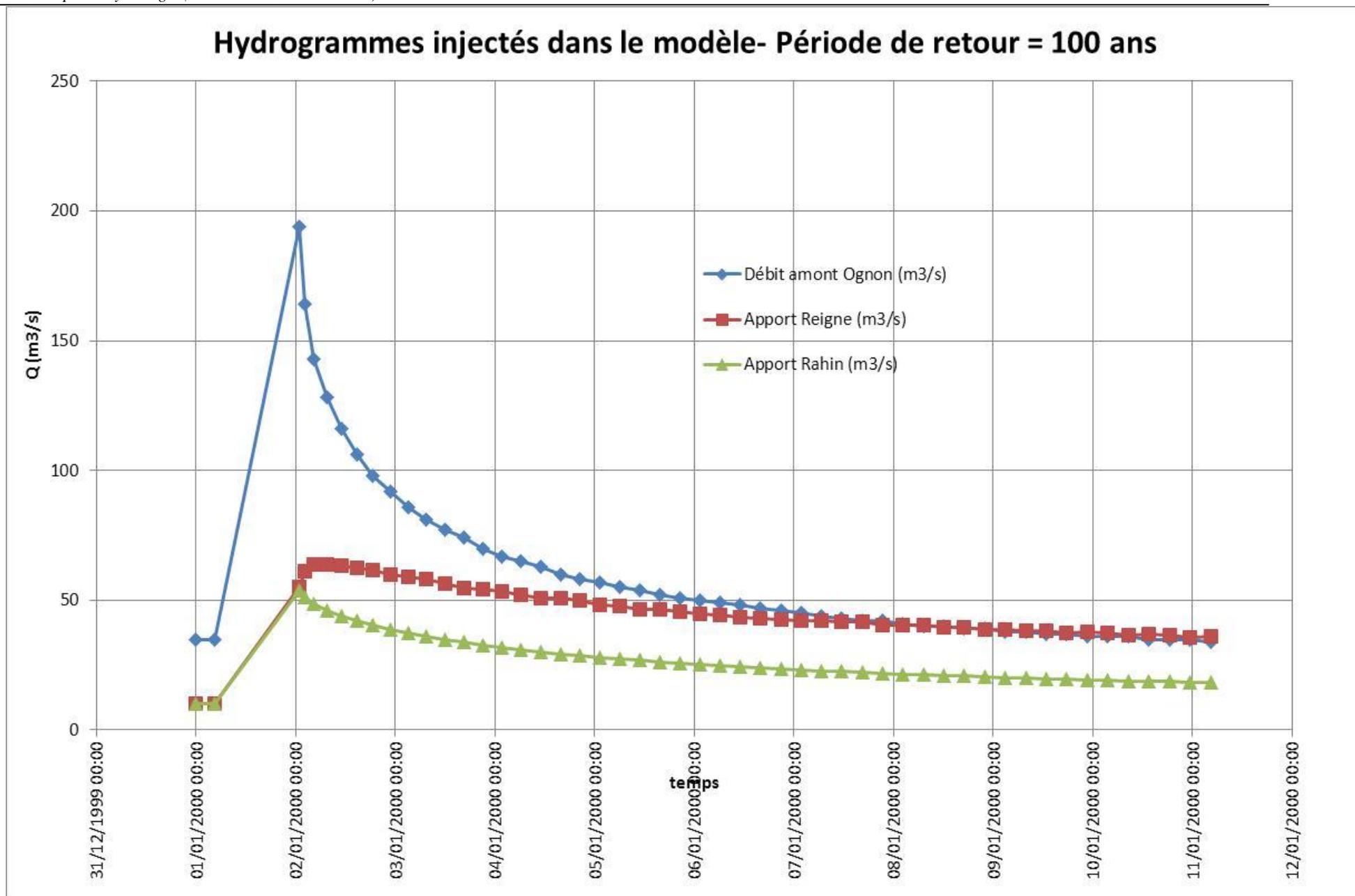
Les débits injectés doivent compenser les écrêtements afin d'atteindre les débits déterminés par l'étude hydrologique. Les écrêtements sur le linéaire étudié sont assez faibles, ils sont respectivement pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans, de 14, 15, 18 et 23 m³/s.

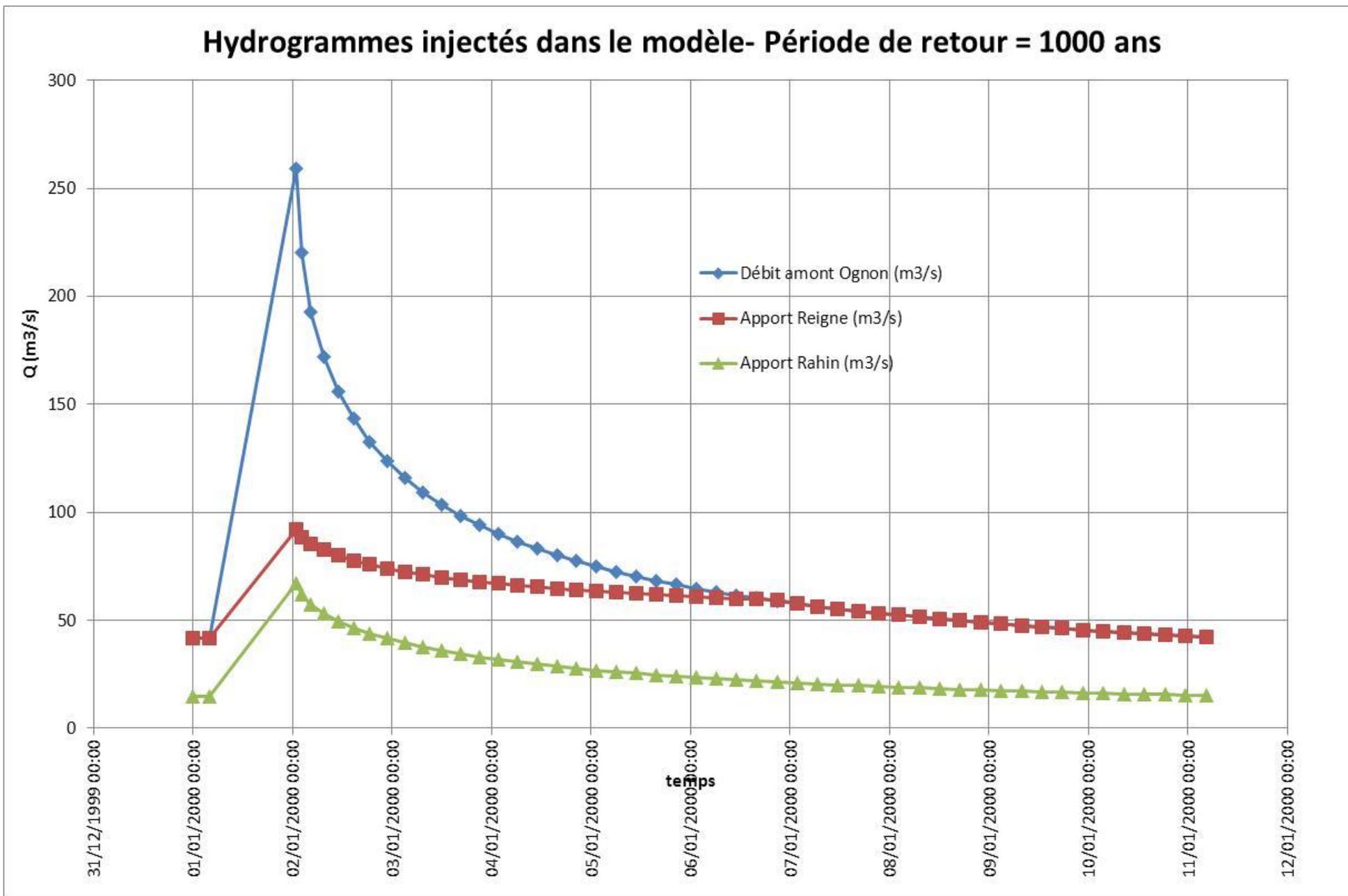
	Débits de pointe (m3/s)	Q10	Q20	Q50	Q100	Q 1000
valeurs entrées dans le modèle	Limite amont du modèle	124	146	173	194	259
	apport Reigne	33	34	47	55	
	apport Rahin	36	45	48	54	
	Total injecté	193	225	268	303	
valeurs à atteindre (étude hydrologique)	<i>RN19</i>	<i>124</i>	<i>146</i>	<i>173</i>	<i>194</i>	<i>259</i>
	<i>Ognon à l'aval de la confluence avec la Reigne</i>	<i>147</i>	<i>172</i>	<i>205</i>	<i>230</i>	<i>307</i>
	<i>Ognon à l'aval de la confluence avec le Rahin</i>	<i>179</i>	<i>210</i>	<i>250</i>	<i>280</i>	<i>374</i>

Les graphiques aux pages suivantes présentent les hydrogrammes injectés dans le modèle pour les différentes périodes de retour.

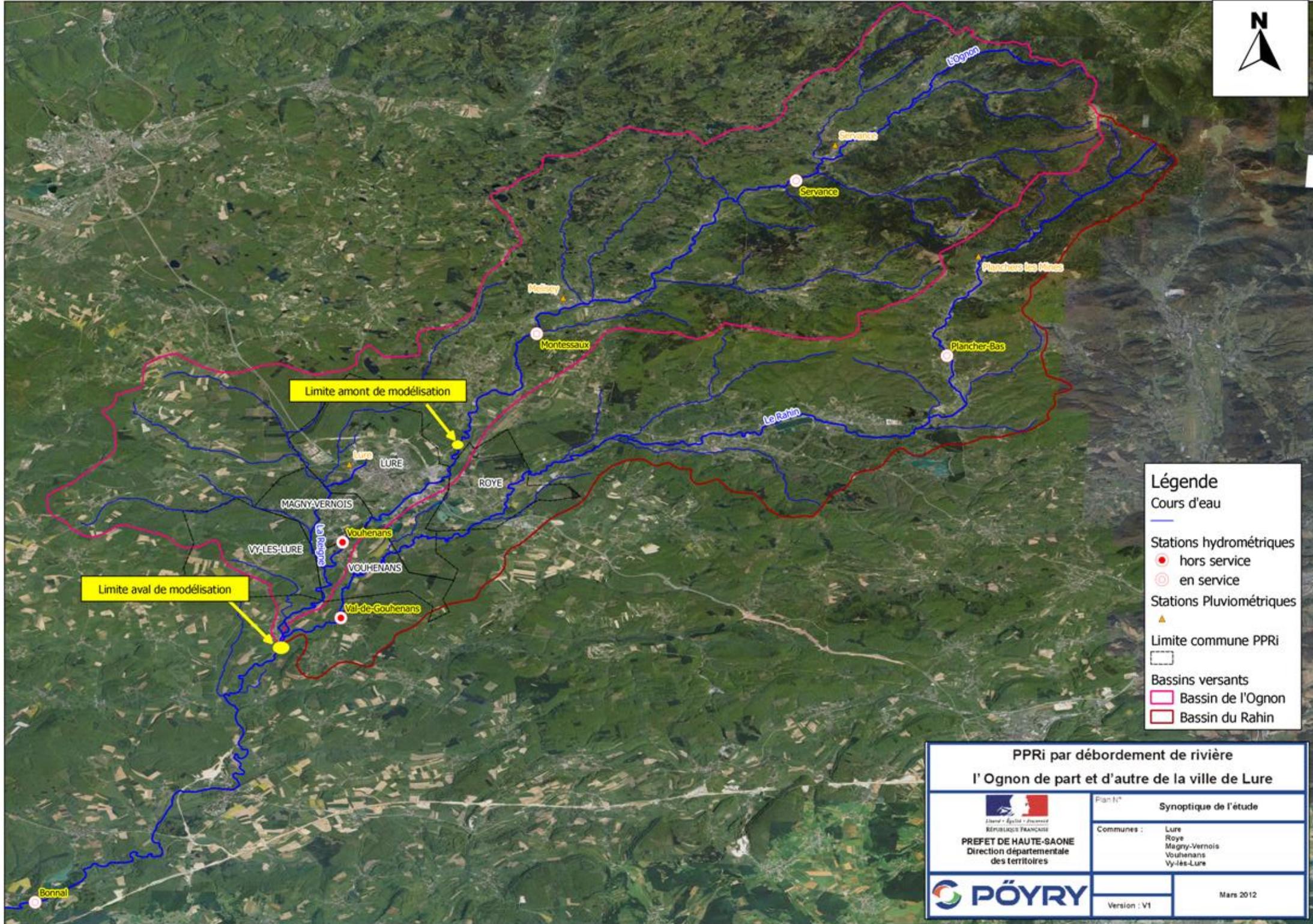








FIGURE



Légende

Cours d'eau

Stations hydrométriques

- hors service
- en service

Stations Pluviométriques

- ▲

Limite commune PPRI

-

Bassins versants

- Bassin de l'Ognon
- Bassin du Rahin

PPRI par débordement de rivière
l'Ognon de part et d'autre de la ville de Lure

 PREFET DE HAUTE-SAONE Direction départementale des territoires	Plan N°	Synoptique de l'étude
	Communes :	Lure Roye Magny-Vernois Vouhenans Vy-les-Lure
	Version : V1	Mars 2012

ANNEXES

ANNEXE 1 : Analyse statistique des séries de mesure

Etude de l'Ognon à Montescaux (1994-2010)

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE PAR GUMBEL ET FRECHET

Données hydrologiques brutes

(D'après DIREN)

nb données : 16

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	
25/01/1995	94.8	4.55	
25/12/1995	55.5	4.02	
13/11/1996	38.4	3.65	
11/12/1997	76.2	4.33	
20/02/1999	104	4.64	
19/12/1999	100	4.61	
13/03/2001	73.7	4.30	
30/12/2001	106	4.66	
04/01/2003	60.2	4.10	
14/01/2004	85.5	4.45	
13/02/2005	62.9	4.14	
09/03/2006	70.4	4.25	
19/01/2007	67	4.20	
07/12/2007	47.9	3.87	
06/12/2008	24.9	3.21	GUMBEL
26/02/2010	47.2	3.85	Ko1 = Qmax moy - 0.45*(écart type)
Qmax moy	69.7	4.18	1/alpha1 = 0.78*(écart type(Qmax))
Ecart type	24.0	0.39	FRECHET
Ko	58.8	4.0	Ko2 = [Ln(Qmax)] moy - 0.45*(écart type)
1/alpha	18.8	0.3	1/alpha2 = 0.78*(écart type[Ln(Qmax)])

Etude de l'Ognon à Montescaux (1994-2010)

Données hydrologiques triées

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	F	u(F)	T ans
06/12/2008	24.9	3.21	0.06	-1.041	1.1
13/11/1996	38.4	3.65	0.12	-0.761	1.1
26/02/2010	47.2	3.85	0.18	-0.551	1.2
07/12/2007	47.9	3.87	0.24	-0.369	1.3
25/12/1995	55.5	4.02	0.29	-0.202	1.4
04/01/2003	60.2	4.10	0.35	-0.041	1.5
13/02/2005	62.9	4.14	0.41	0.120	1.7
19/01/2007	67	4.20	0.47	0.283	1.9
09/03/2006	70.4	4.25	0.53	0.453	2.1
13/03/2001	73.7	4.30	0.59	0.634	2.4
11/12/1997	76.2	4.33	0.65	0.832	2.8
14/01/2004	85.5	4.45	0.71	1.055	3.4
25/01/1995	94.8	4.55	0.76	1.316	4.3
19/12/1999	100	4.61	0.82	1.639	5.7
20/02/1999	104	4.64	0.88	2.078	8.5
30/12/2001	106	4.66	0.94	2.803	17.0

$F = j / (n + 1)$
 où : j rang de la donnée,
 n nombre total de données
 $u = -LN(-LN(F))$
 $T = 1 / (1-F)$

valeurs
estimées

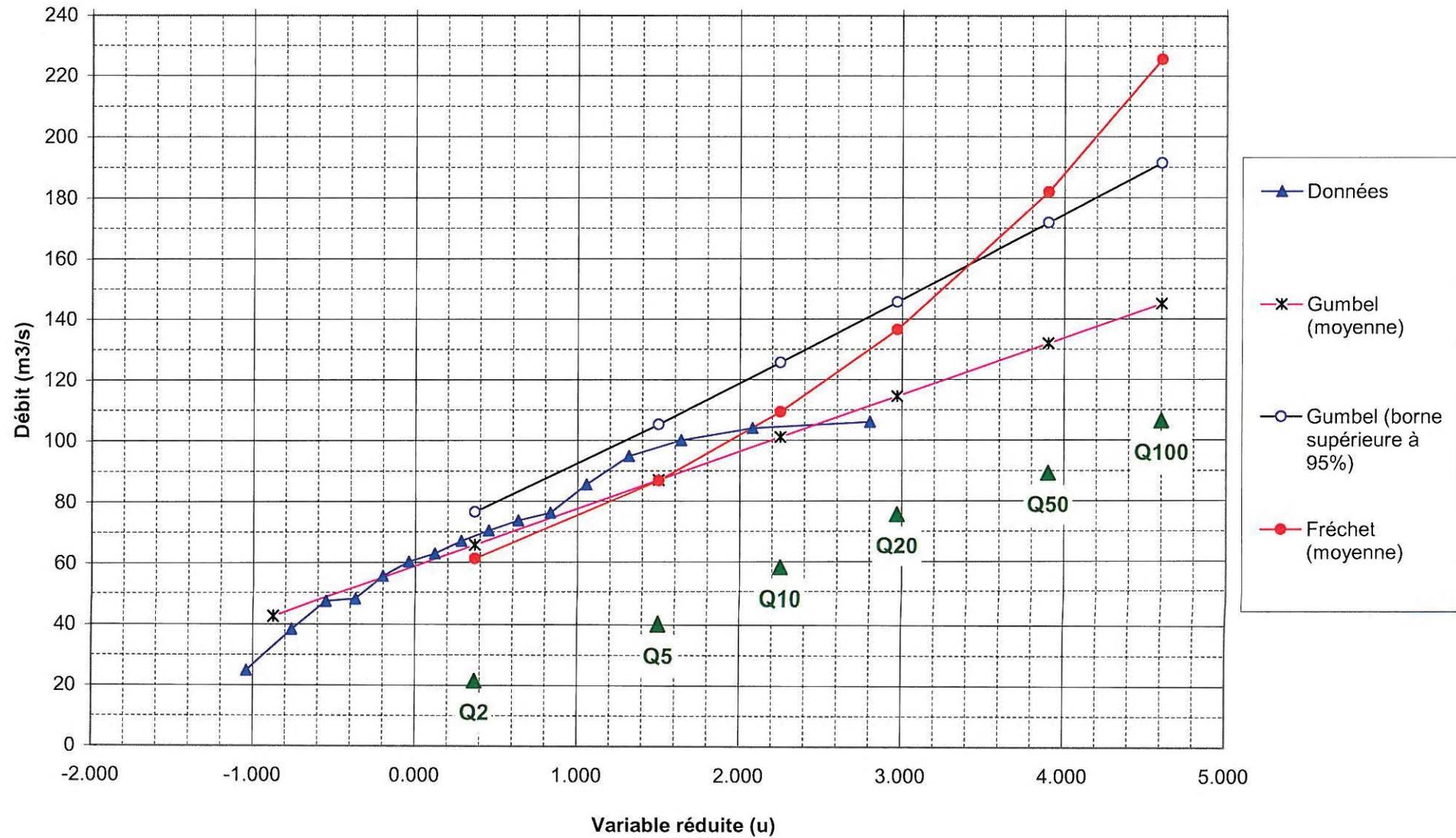
Résultats étude statistique de l'Ognon à Montescaux

T (ans)	F=1-1/T	u(T)	QGumbel(T) (moyenne)	QGumbel(T) borne sup. 95%	QFréchet(T) (moyenne)
2	0.50	0.37	66	77	61
5	0.80	1.50	87	105	87
10	0.90	2.25	101	126	109
20	0.95	2.97	115	146	136
50	0.98	3.90	132	172	182
100	0.99	4.60	145	191	226

Avec : $u(T) = -LN(-LN(1-1/T))$
 $QGumbel(T) [moyenne] = 1/\alpha_1 * u(T) + Ko_1$
 $QFréchet(T) [moyenne] = EXP(1/\alpha_2 * u(T) + Ko_2)$
 $QGradex(T) = QGumbel(10) + GRADQ*(u(T) - u(10))$

Ajustements de la série des débits maxima instantanés annuels de l'Ognon à Montescaux (1994-2010)

Figure n° A - Ajustements de Gumbel et Fréchet



Etude de l'Ognon à Servance (1968-2010)

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE PAR GUMBEL ET FRECHET

Données hydrologiques brutes

(D'après DIREN)

nb données : 40

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	
22/09/1968	44	3.78	
23/02/1970	82.3	4.41	
19/06/1971	25.6	3.24	
17/11/1972	79.7	4.38	
16/11/1973	76.8	4.34	
17/12/1974	45.1	3.81	
23/01/1976	33.9	3.52	
15/11/1977	51.2	3.94	
12/03/1979	59	4.08	
05/02/1980	72.5	4.28	
03/01/1981	53.5	3.98	
16/12/1981	73.3	4.29	
17/12/1982	66.9	4.20	
01/02/1984	82	4.41	
23/11/1984	25.6	3.24	
23/01/1986	55.9	4.02	
17/12/1986	71.7	4.27	
16/03/1988	41.3	3.72	
05/12/1988	55.9	4.02	
15/02/1990	99.6	4.60	
02/01/1991	44	3.78	
22/12/1991	64.6	4.17	
22/11/1992	35.4	3.57	
20/12/1993	79	4.37	
25/01/1995	78.7	4.37	
24/12/1995	39.6	3.68	
15/02/1997	23.7	3.17	
11/12/1997	54.8	4.00	
20/02/1999	59	4.08	
19/12/1999	64.9	4.17	
12/03/2001	42.2	3.74	
29/12/2001	78.9	4.37	
03/11/2002	36.2	3.59	
13/01/2004	62.3	4.13	
12/02/2005	40.1	3.69	
09/03/2006	46.6	3.84	
19/01/2007	47.9	3.87	
07/12/2007	30.6	3.42	
28/03/2009	16.4	2.80	<u>GUMBEL</u>
26/02/2010	31.6	3.45	Ko1 = Qmax moy - 0.45*(écart type)
Qmax moy	54.3	3.92	1/alpha1 = 0.78*(écart type(Qmax))
Ecart type	19.9	0.41	<u>FRECHET</u>
Ko	45.4	3.7	Ko2 = [Ln(Qmax)] moy - 0.45*(écart type)
1/alpha	15.5	0.3	1/alpha2 = 0.78*(écart type[Ln(Qmax)])

Etude de l'Ognon à Servance (1968-2010)

Données hydrologiques triées

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	F	u(F)	T ans
28/03/2009	16.4	2.80	0.02	-1.312	1.0
15/02/1997	23.7	3.17	0.05	-1.105	1.1
19/06/1971	25.6	3.24	0.07	-0.961	1.1
23/11/1984	25.6	3.24	0.10	-0.845	1.1
07/12/2007	30.6	3.42	0.12	-0.744	1.1
26/02/2010	31.6	3.45	0.15	-0.653	1.2
23/01/1976	33.9	3.52	0.17	-0.570	1.2
22/11/1992	35.4	3.57	0.20	-0.491	1.2
03/11/2002	36.2	3.59	0.22	-0.416	1.3
24/12/1995	39.6	3.68	0.24	-0.344	1.3
12/02/2005	40.1	3.69	0.27	-0.274	1.4
16/03/1988	41.3	3.72	0.29	-0.206	1.4
12/03/2001	42.2	3.74	0.32	-0.139	1.5
22/09/1968	44	3.78	0.34	-0.072	1.5
02/01/1991	44	3.78	0.37	-0.006	1.6
17/12/1974	45.1	3.81	0.39	0.061	1.6
09/03/2006	46.6	3.84	0.41	0.127	1.7
19/01/2007	47.9	3.87	0.44	0.195	1.8
15/11/1977	51.2	3.94	0.46	0.262	1.9
03/01/1981	53.5	3.98	0.49	0.332	2.0
11/12/1997	54.8	4.00	0.51	0.402	2.1
23/01/1986	55.9	4.02	0.54	0.474	2.2
05/12/1988	55.9	4.02	0.56	0.548	2.3
12/03/1979	59	4.08	0.59	0.625	2.4
20/02/1999	59	4.08	0.61	0.704	2.6
13/01/2004	62.3	4.13	0.63	0.786	2.7
22/12/1991	64.6	4.17	0.66	0.873	2.9
19/12/1999	64.9	4.17	0.68	0.964	3.2
17/12/1982	66.9	4.20	0.71	1.061	3.4
17/12/1986	71.7	4.27	0.73	1.164	3.7
05/02/1980	72.5	4.28	0.76	1.274	4.1
16/12/1981	73.3	4.29	0.78	1.395	4.6
16/11/1973	76.8	4.34	0.80	1.528	5.1
25/01/1995	78.7	4.37	0.83	1.676	5.9
29/12/2001	78.9	4.37	0.85	1.844	6.8
20/12/1993	79	4.37	0.88	2.040	8.2
17/11/1972	79.7	4.38	0.90	2.276	10.3
01/02/1984	82	4.41	0.93	2.577	13.7
23/02/1970	82.3	4.41	0.95	2.996	20.5
15/02/1990	99.6	4.60	0.98	3.701	41.0

$F = j / (n + 1)$
 où : j rang de la donnée,
 n nombre total de données
 $u = -LN(-LN(F))$
 $T = 1 / (1-F)$

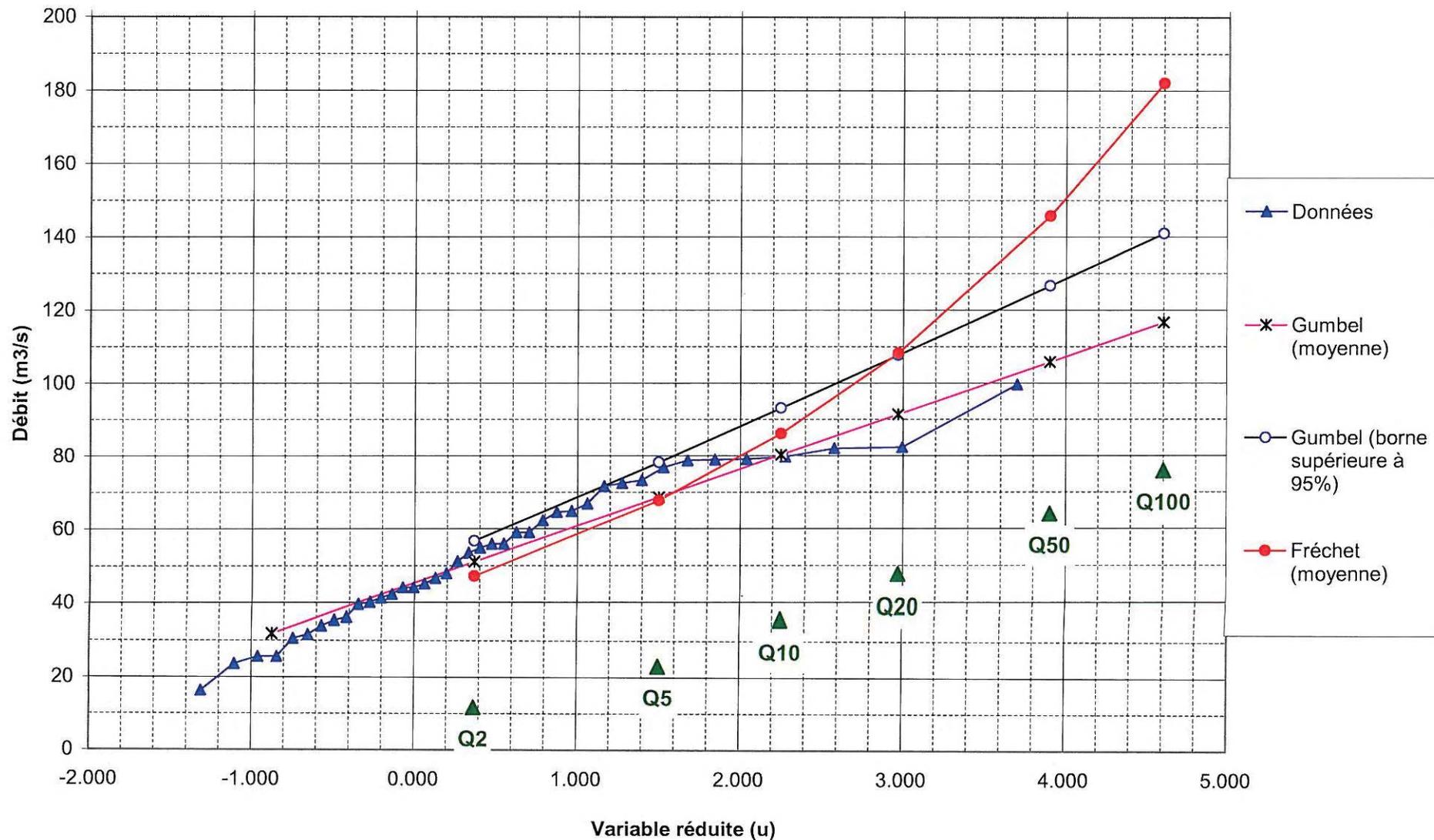
Résultats étude statistique de l'Ognon à Servance

T (ans)	F=1-1/T	u(T)	QGumbel(T) (moyenne)	QGumbel(T) borne sup. 95%	QFréchet(T) (moyenne)
2	0.50	0.37	51	57	47
5	0.80	1.50	69	78	68
10	0.90	2.25	80	93	86
20	0.95	2.97	91	108	108
50	0.98	3.90	106	127	146
100	0.99	4.60	117	141	182

Avec : $u(T) = -LN(-LN(1-1/T))$
 $QGumbel(T) [moyenne] = 1/\alpha * u(T) + Ko1$

Ajustements de la série des débits maxima instantanés annuels de l'Ognon à Servance (1968-2010-

figure n° B - Ajustements de Gumbel et Fréchet

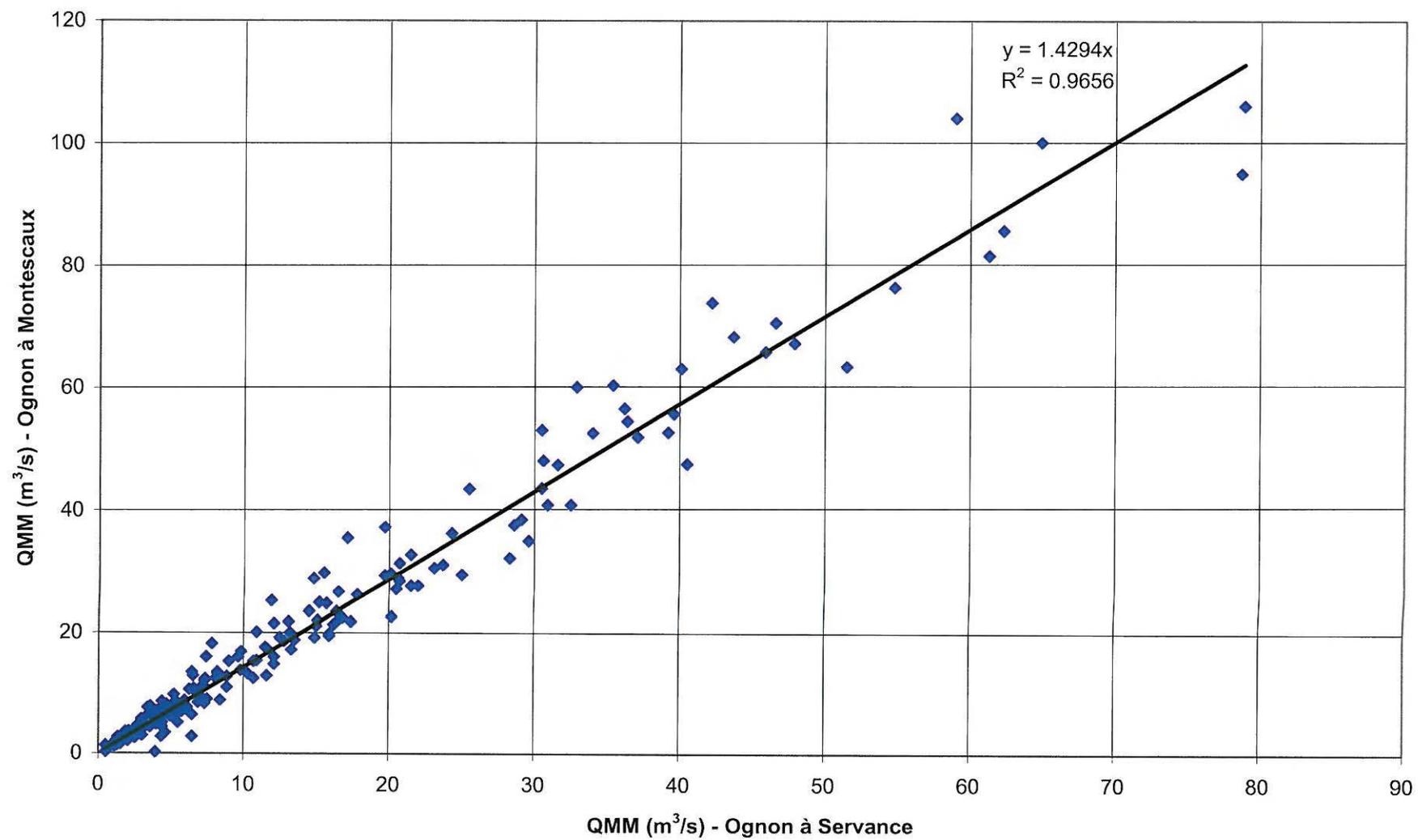


L'Ognon à Servance surface (km ²) 73.5 Q (m ³ /s)		Ognon à Montescaux surface (km ²) 168 Q (m ³ /s)		alpha	écart heure
29/12/01 22:36	78.9	30/12/01 1:42	106	0.36	3:06
25/1/95 19:14	78.7	25/1/95 22:30	94.8	0.23	3:16
19/12/99 12:12	64.9	19/12/99 15:06	100	0.52	2:54
13/1/04 21:48	62.3	14/1/04 1:30	85.5	0.38	3:42
27/1/02 18:24	61.3	27/1/02 21:48	81.4	0.34	3:24
20/2/99 16:00	59	20/2/99 18:57	104	0.69	2:57
11/12/97 19:00	54.8	11/12/97 23:30	76.2	0.40	4:30
20/3/02 3:30	51.5	20/3/02 7:36	63.2	0.25	4:06
19/1/07 10:42	47.9	19/1/07 15:48	67	0.41	5:06
9/3/06 10:36	46.6	9/3/06 15:30	70.4	0.50	4:54
1/11/98 5:24	45.9	1/11/98 10:00	65.6	0.43	4:36
30/1/00 17:36	43.7	30/1/00 21:12	68.1	0.54	3:36
12/3/01 21:54	42.2	13/3/01 2:12	73.7	0.67	4:18

0.44 moyenne
0.14 écartype

alpha = $y=1.43x$
0.43

Annexe 1.3 - Corrélation entre les QMM des stations de Servance et Montescaux



Etude du Rahin à Plancher Bas (1968-2010)

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE PAR GUMBEL ET FRECHET

Données hydrologiques brutes

(D'après DIREN)

nb données : 42

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	
14/03/1969	20.8	3.03	
23/02/1970	41.3	3.72	
04/12/1970	12.3	2.51	
19/11/1971	16.8	2.82	
17/11/1972	41.6	3.73	
16/11/1973	41.3	3.72	
17/12/1974	23.7	3.17	
16/11/1975	12.6	2.53	
26/01/1977	32.5	3.48	
14/11/1977	25.4	3.23	
12/03/1979	26.8	3.29	
05/02/1980	32.1	3.47	
15/12/1980	23.2	3.14	
16/12/1981	26.8	3.29	
09/04/1983	28.9	3.36	
07/02/1984	31.8	3.46	
23/11/1984	16.2	2.79	
23/01/1986	27	3.30	
19/12/1986	31.3	3.44	
25/03/1988	17.7	2.87	
05/12/1988	23.3	3.15	
15/02/1990	55.7	4.02	
03/01/1991	20.5	3.02	
22/12/1991	25.1	3.22	
22/11/1992	17.1	2.84	
20/12/1993	34.8	3.55	
25/01/1995	45.4	3.82	
24/12/1995	28	3.33	
07/11/1996	18.1	2.90	
11/12/1997	40.6	3.70	
20/02/1999	33.1	3.50	
19/12/1999	36	3.58	
12/03/2001	26.2	3.27	
29/12/2001	38.7	3.66	
03/11/2002	24.6	3.20	
13/01/2004	37.3	3.62	
12/02/2005	27.9	3.33	
09/03/2006	26.6	3.28	
19/01/2007	36.8	3.61	
12/03/2008	24.6	3.20	
28/03/2009	11.2	2.42	<u>GUMBEL</u>
26/02/2010	16.6	2.81	Ko1 = Qmax moy - 0.45*(écart type)
Qmax moy	28.1	3.27	1/alpha1 = 0.78*(écart type(Qmax))
Ecart type	9.8	0.37	<u>FRECHET</u>
Ko	23.6	3.1	Ko2 = [Ln(Qmax)] moy - 0.45*(écart type)
1/alpha	7.7	0.3	1/alpha2 = 0.78*(écart type[Ln(Qmax)])

Etude du Rahin à Plancher Bas (1968-2010)

Données hydrologiques triées

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	F	u(F)	T ans
28/03/2009	11.2	2.42	0.02	-1.325	1.0
04/12/1970	12.3	2.51	0.05	-1.121	1.0
16/11/1975	12.6	2.53	0.07	-0.979	1.1
23/11/1984	16.2	2.79	0.09	-0.865	1.1
26/02/2010	16.6	2.81	0.12	-0.766	1.1
19/11/1971	16.8	2.82	0.14	-0.678	1.2
22/11/1992	17.1	2.84	0.16	-0.596	1.2
25/03/1988	17.7	2.87	0.19	-0.520	1.2
07/11/1996	18.1	2.90	0.21	-0.447	1.3
03/01/1991	20.5	3.02	0.23	-0.377	1.3
14/03/1969	20.8	3.03	0.26	-0.310	1.3
15/12/1980	23.2	3.14	0.28	-0.244	1.4
05/12/1988	23.3	3.15	0.30	-0.179	1.4
17/12/1974	23.7	3.17	0.33	-0.115	1.5
03/11/2002	24.6	3.20	0.35	-0.052	1.5
12/03/2008	24.6	3.20	0.37	0.011	1.6
22/12/1991	25.1	3.22	0.40	0.075	1.7
14/11/1977	25.4	3.23	0.42	0.138	1.7
12/03/2001	26.2	3.27	0.44	0.202	1.8
09/03/2006	26.6	3.28	0.47	0.267	1.9
12/03/1979	26.8	3.29	0.49	0.333	2.0
16/12/1981	26.8	3.29	0.51	0.400	2.0
23/01/1986	27	3.30	0.53	0.469	2.2
12/02/2005	27.9	3.33	0.56	0.539	2.3
24/12/1995	28	3.33	0.58	0.612	2.4
09/04/1983	28.9	3.36	0.60	0.687	2.5
19/12/1986	31.3	3.44	0.63	0.765	2.7
07/02/1984	31.8	3.46	0.65	0.846	2.9
05/02/1980	32.1	3.47	0.67	0.932	3.1
26/01/1977	32.5	3.48	0.70	1.022	3.3
20/02/1999	33.1	3.50	0.72	1.117	3.6
20/12/1993	34.8	3.55	0.74	1.219	3.9
19/12/1999	36	3.58	0.77	1.329	4.3
19/01/2007	36.8	3.61	0.79	1.449	4.8
13/01/2004	37.3	3.62	0.81	1.581	5.4
29/12/2001	38.7	3.66	0.84	1.728	6.1
11/12/1997	40.6	3.70	0.86	1.895	7.2
23/02/1970	41.3	3.72	0.88	2.091	8.6
16/11/1973	41.3	3.72	0.91	2.326	10.8
17/11/1972	41.6	3.73	0.93	2.627	14.3
25/01/1995	45.4	3.82	0.95	3.044	21.5
15/02/1990	55.7	4.02	0.98	3.749	43.0

$F = j / (n + 1)$
 où : j rang de la donnée,
 n nombre total de données
 $u = -LN(-LN(F))$
 $T = 1 / (1-F)$

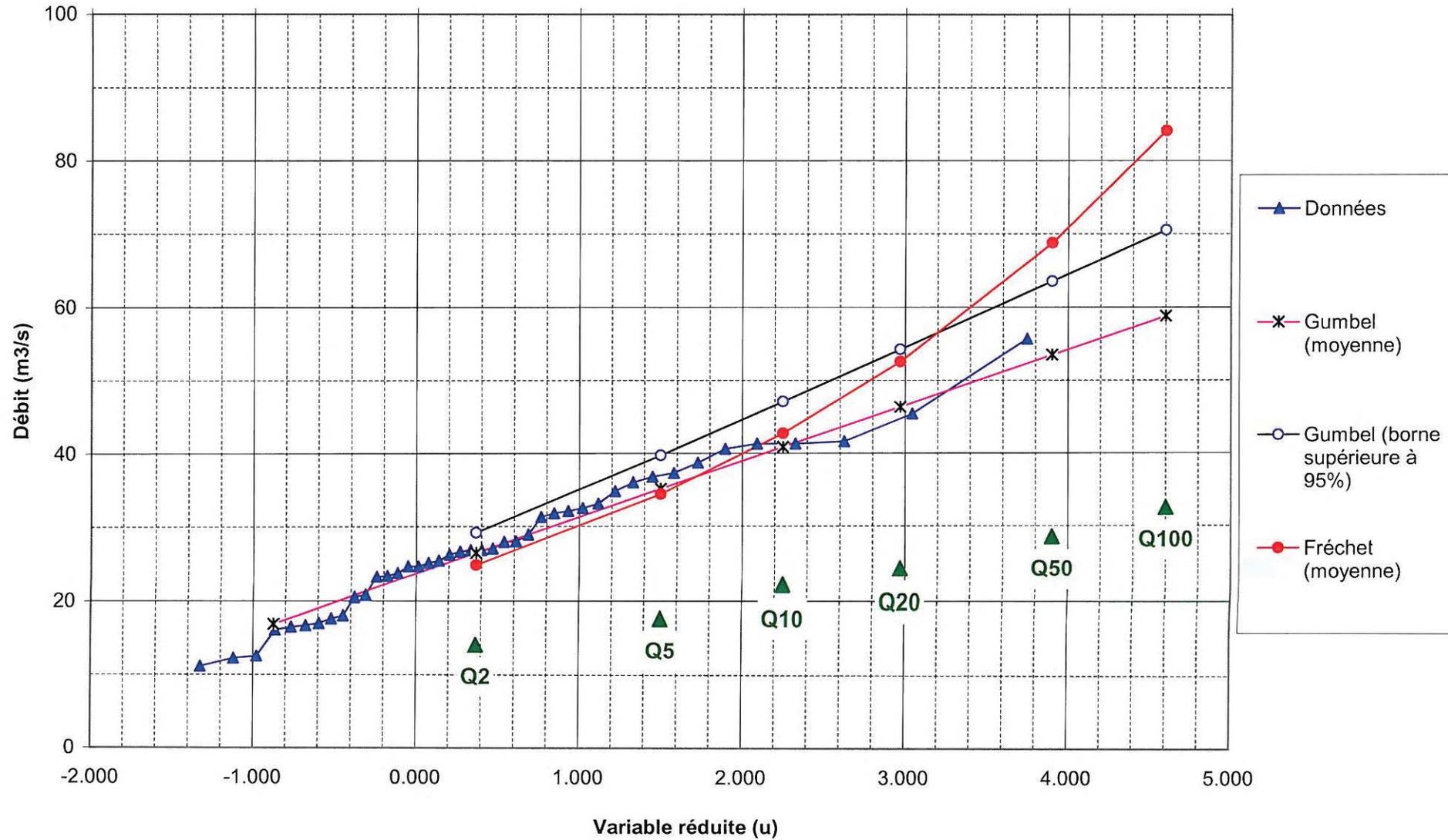
Résultats étude statistique du Rahin

T (ans)	F=1-1/T	u(T)	QGumbel(T) (moyenne)	QGumbel(T) borne sup. 95%	QFréchet(T) (moyenne)
2	0.50	0.37	26	29	25
5	0.80	1.50	35	40	34
10	0.90	2.25	41	47	43
20	0.95	2.97	46	54	53
50	0.98	3.90	54	64	69
100	0.99	4.60	59	71	84

Avec : $u(T) = -LN(-LN(1-1/T))$
 $QGumbel(T) [moyenne] = 1/\alpha_1 * u(T) + Ko_1$
 $QFréchet(T) [moyenne] = EXP(1/\alpha_2 * u(T) + Ko_2)$
 $QGradex(T) = QGumbel(10) + GRADQ * (u(T) - u(10))$

Ajustements de la série des débits maxima instantanés annuels du Rahin à Plancher Bas (1968-2010)

Figure D - Ajustements de Gumbel et Fréchet



Etude de l'Ognon à Bonnal (1987-2010)

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE PAR GUMBEL ET FRECHET

Données hydrologiques brutes

(D'après DIREN) nb données : 22

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	
25/03/1988	184	5.21	
06/12/1988	139	4.93	
15/02/1990	308	5.73	
31/12/1990	148	5.00	
22/12/1991	262	5.57	
23/11/1992	136	4.91	
26/01/1994	185	5.22	
26/01/1995	200	5.30	
25/12/1995	215	5.37	
14/11/1996	119	4.78	
12/12/1997	162	5.09	
21/02/1999	245	5.50	
25/10/1999	281	5.64	
13/03/2001	206	5.33	
30/12/2001	211	5.35	
05/01/2003	172	5.15	
14/01/2004	176	5.17	
13/02/2005	135	4.91	
10/03/2006	251	5.53	GUMBEL
20/01/2007	146	4.98	Ko1 = Qmax moy - 0.45*(écart type)
11/12/2007	131	4.88	
26/02/2010	98.7	4.59	
Qmax moy	186.9	5.19	1/alpha1 = 0.78*(écart type(Qmax))
Ecart type	56.0	0.30	FRECHET
Ko	161.7	5.1	Ko2 = [Ln(Qmax)] moy - 0.45*(écart type)
1/alpha	43.7	0.2	1/alpha2 = 0.78*(écart type[Ln(Qmax)])

Etude de l'Ognon à Bonnal (1987-2010)

Données hydrologiques triées

Date	QMI m ³ /s	LnQMI m ³ /s	F	u(F)	T ans	
26/02/2010	98.7	4.59	0.04	-1.143	1.0	F = j / (n + 1)
14/11/1996	119	4.78	0.09	-0.893	1.1	où : j rang de la donnée,
11/12/2007	131	4.88	0.13	-0.711	1.2	n nombre total de données
13/02/2005	135	4.91	0.17	-0.559	1.2	u = -LN(-LN(F))
23/11/1992	136	4.91	0.22	-0.423	1.3	T = 1 / (1-F)
06/12/1988	139	4.93	0.26	-0.295	1.4	
20/01/2007	146	4.98	0.30	-0.174	1.4	
31/12/1990	148	5.00	0.35	-0.055	1.5	
12/12/1997	162	5.09	0.39	0.064	1.6	
05/01/2003	172	5.15	0.43	0.183	1.8	
14/01/2004	176	5.17	0.48	0.304	1.9	
25/03/1988	184	5.21	0.52	0.430	2.1	
26/01/1994	185	5.22	0.57	0.561	2.3	
26/01/1995	200	5.30	0.61	0.700	2.6	
13/03/2001	206	5.33	0.65	0.850	2.9	
30/12/2001	211	5.35	0.70	1.014	3.3	
25/12/1995	215	5.37	0.74	1.196	3.8	
21/02/1999	245	5.50	0.78	1.406	4.6	
10/03/2006	251	5.53	0.83	1.655	5.8	
22/12/1991	262	5.57	0.87	1.968	7.7	
25/10/1999	281	5.64	0.91	2.397	11.5	
15/02/1990	308	5.73	0.96	3.113	23.0	

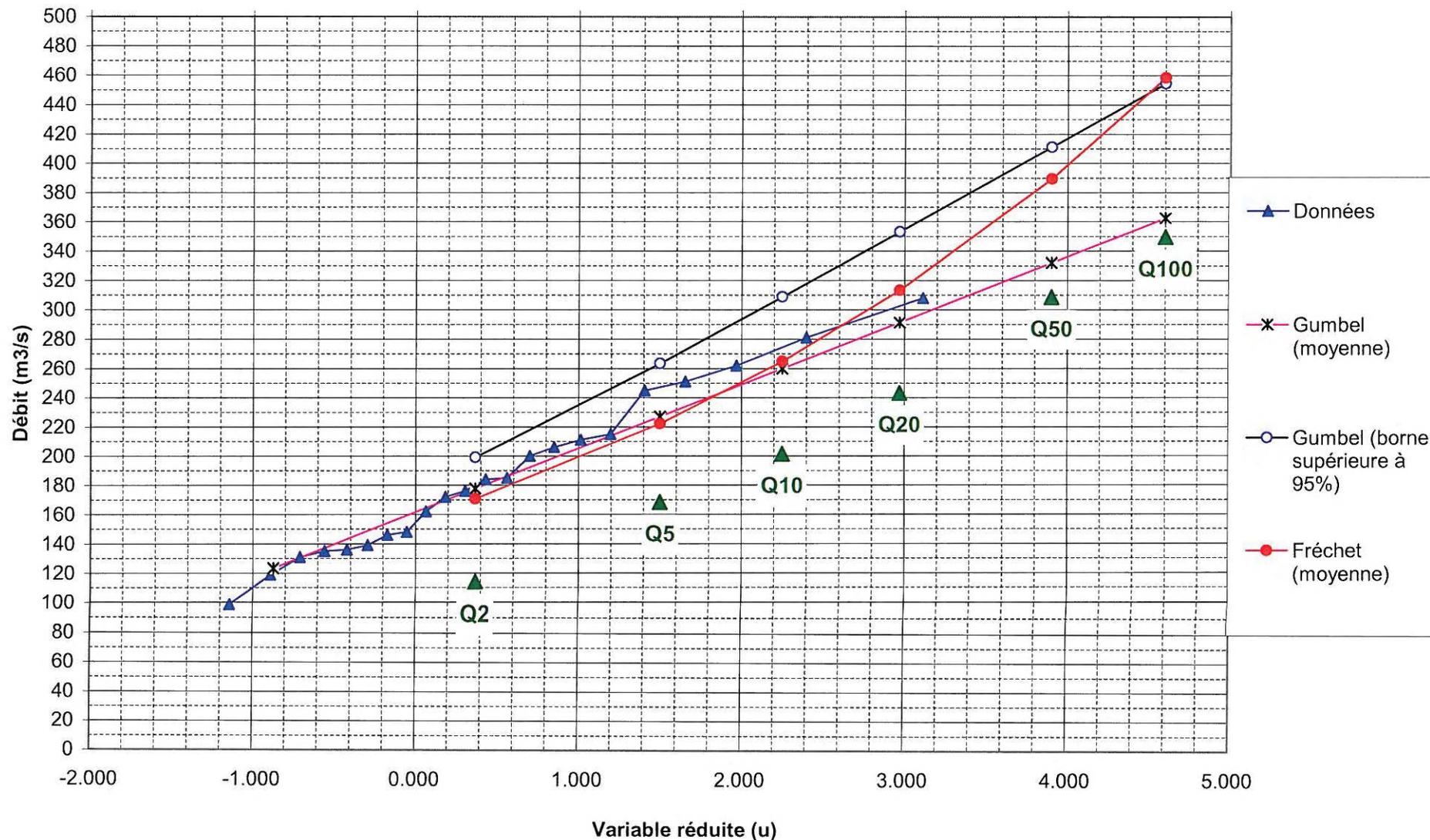
Résultats étude statistique de l'Ognon à Bonnal

T (ans)	F=1-1/T	u(T)	QGumbel(T) (moyenne)	QGumbel(T) borne sup. 95%	QFréchet(T) (moyenne)
2	0.50	0.37	178	199	171
5	0.80	1.50	227	263	222
10	0.90	2.25	260	309	265
20	0.95	2.97	292	353	313
50	0.98	3.90	332	411	389
100	0.99	4.60	363	455	458

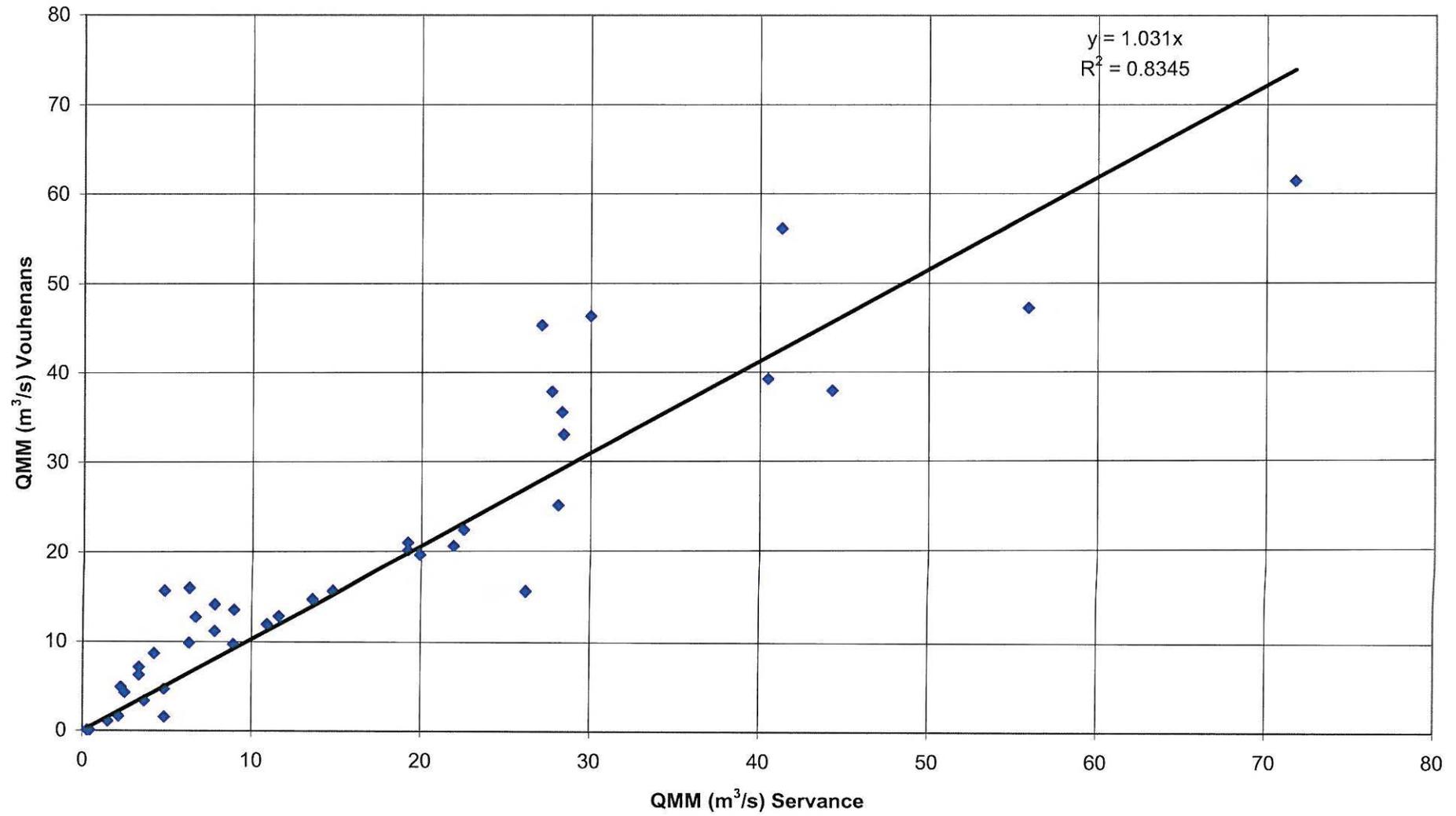
Avec : $u(T) = -LN(-LN(1-1/T))$
 $QGumbel(T) [moyenne] = 1/\alpha_1 * u(T) + Ko1$
 $QFréchet(T) [moyenne] = EXP(1/\alpha_2 * u(T) + Ko2)$
 $QGradex(T) = QGumbel(10) + GRADQ*(u(T) - u(10))$

Ajustements de la série des débits maxima instantanés annuels de l'Ognon à Bonnal (1987-2010)

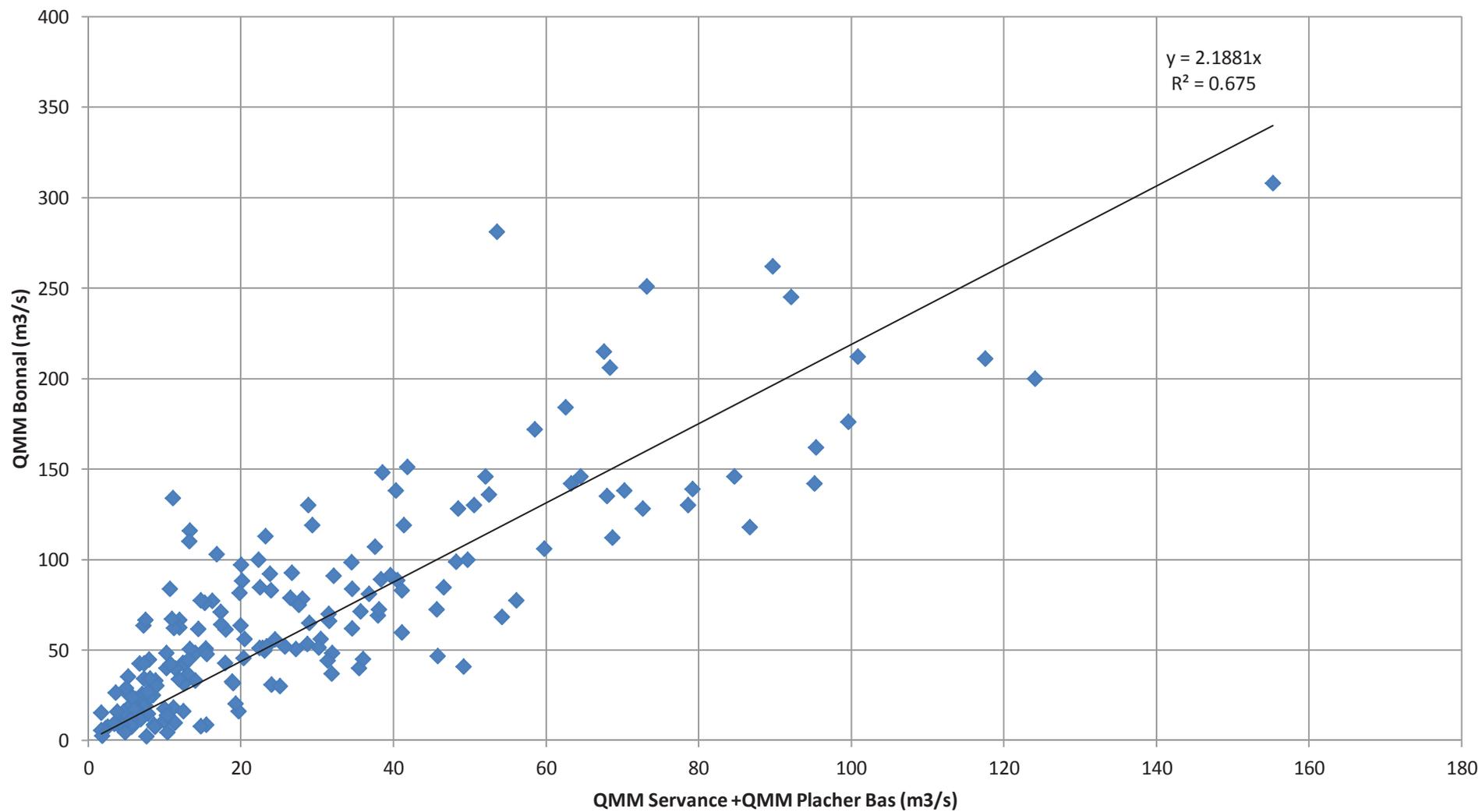
Figure D- Ajustements de Gumbel et Fréchet



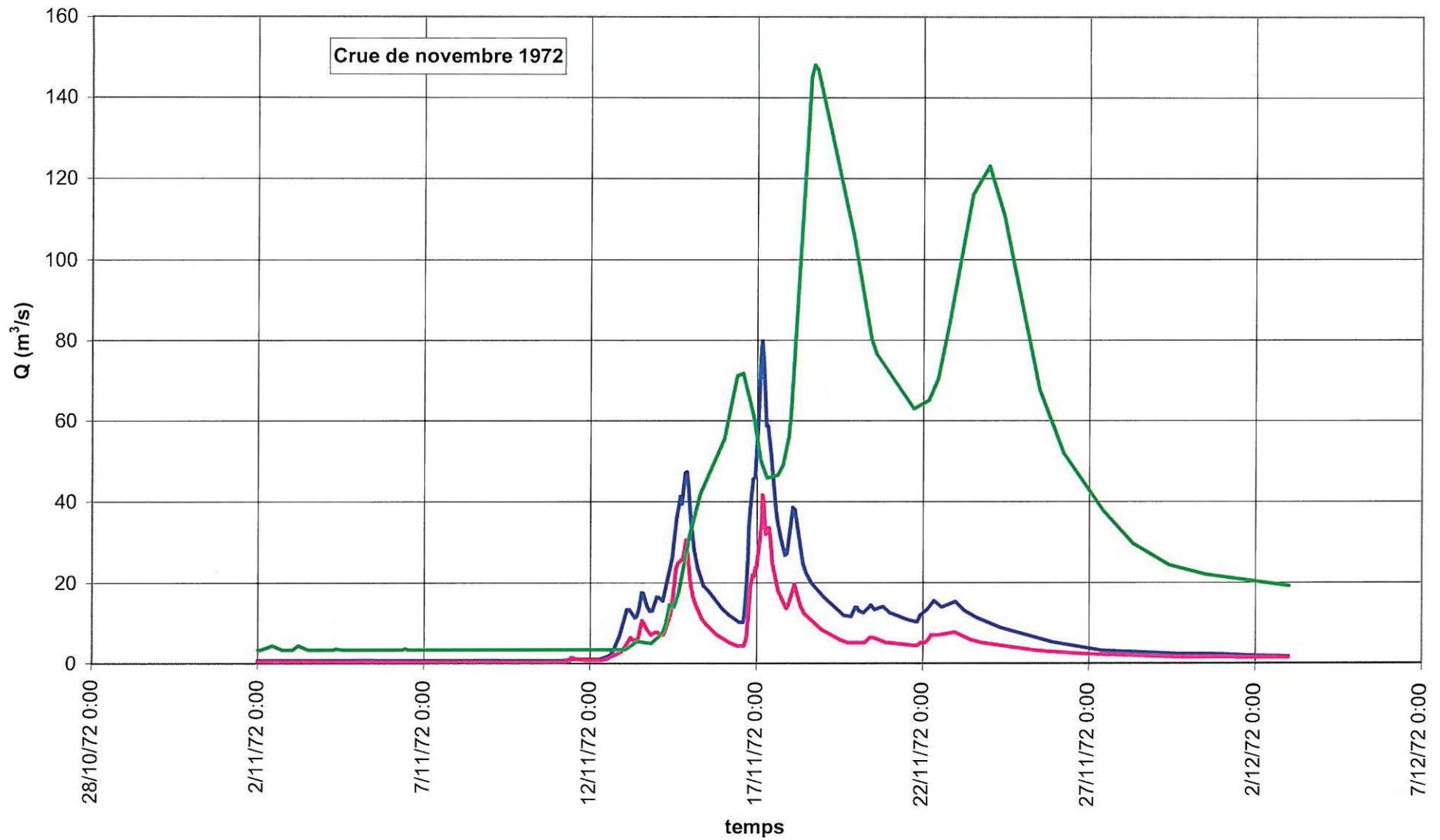
Annexe 1.6 - Corrélation entre les stations de Servance et Vouhenans



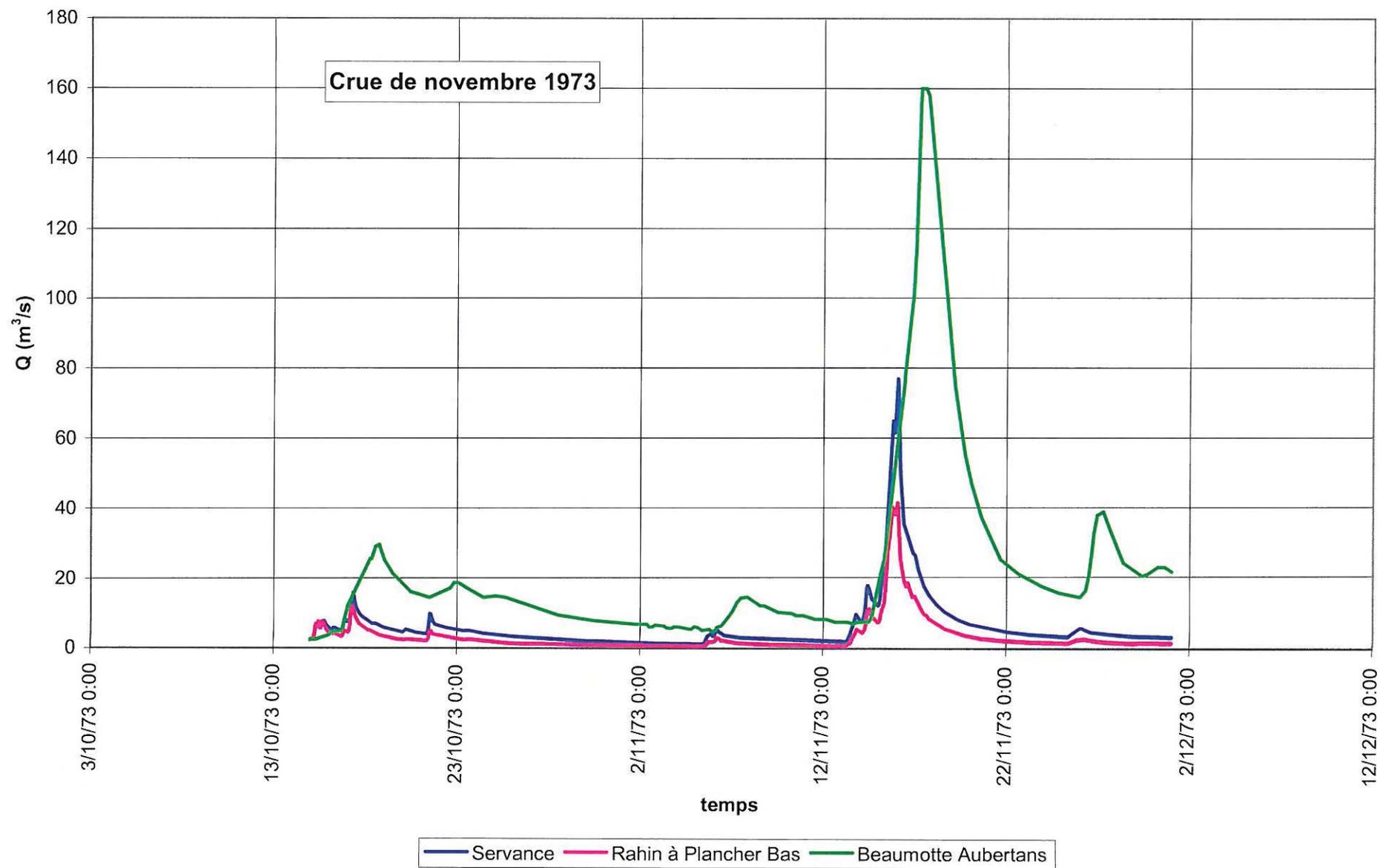
annexe 1.7 : Corrélation entre la somme des QMM de Servance et Plancher Bas et les QMM de Bonnal

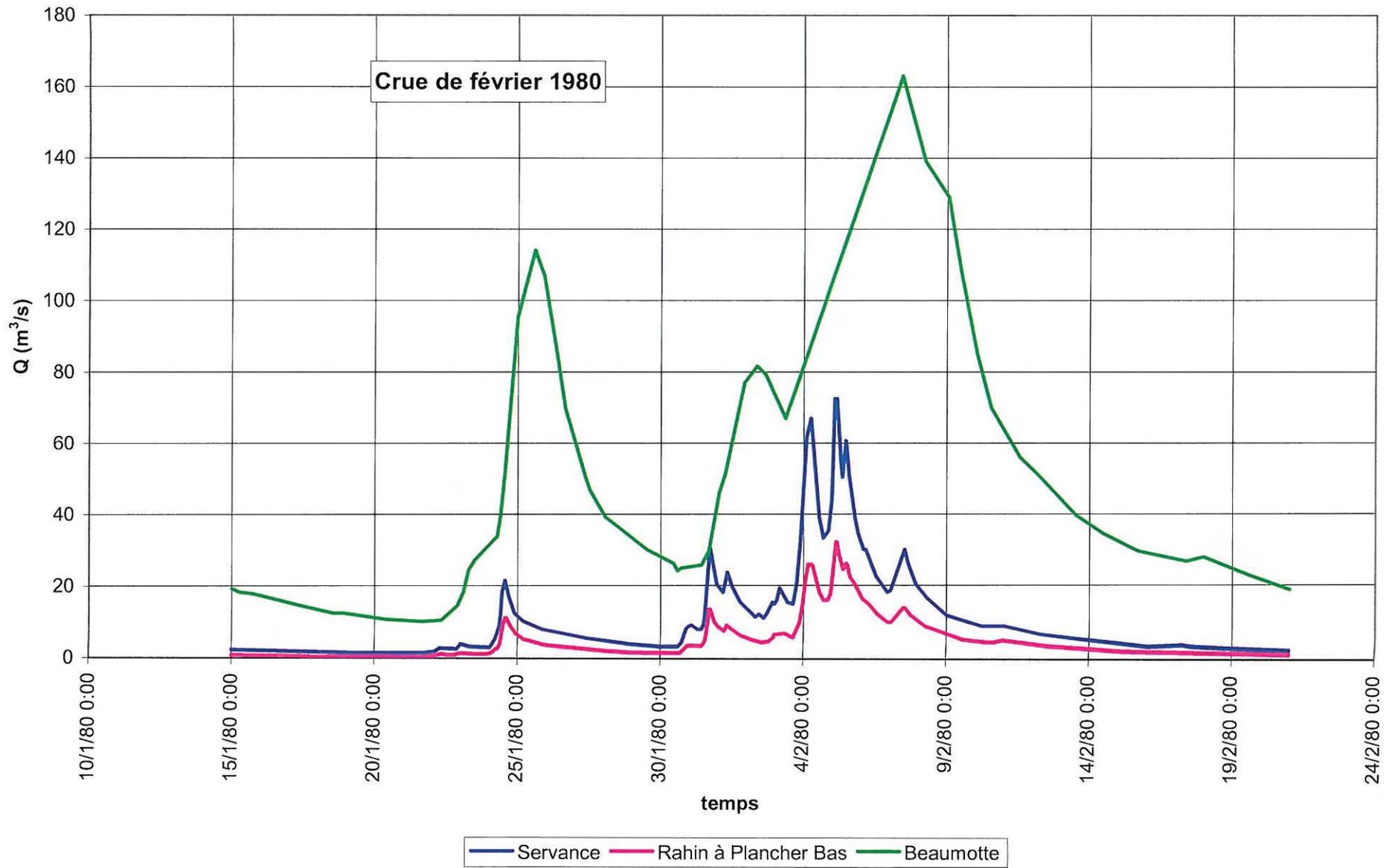


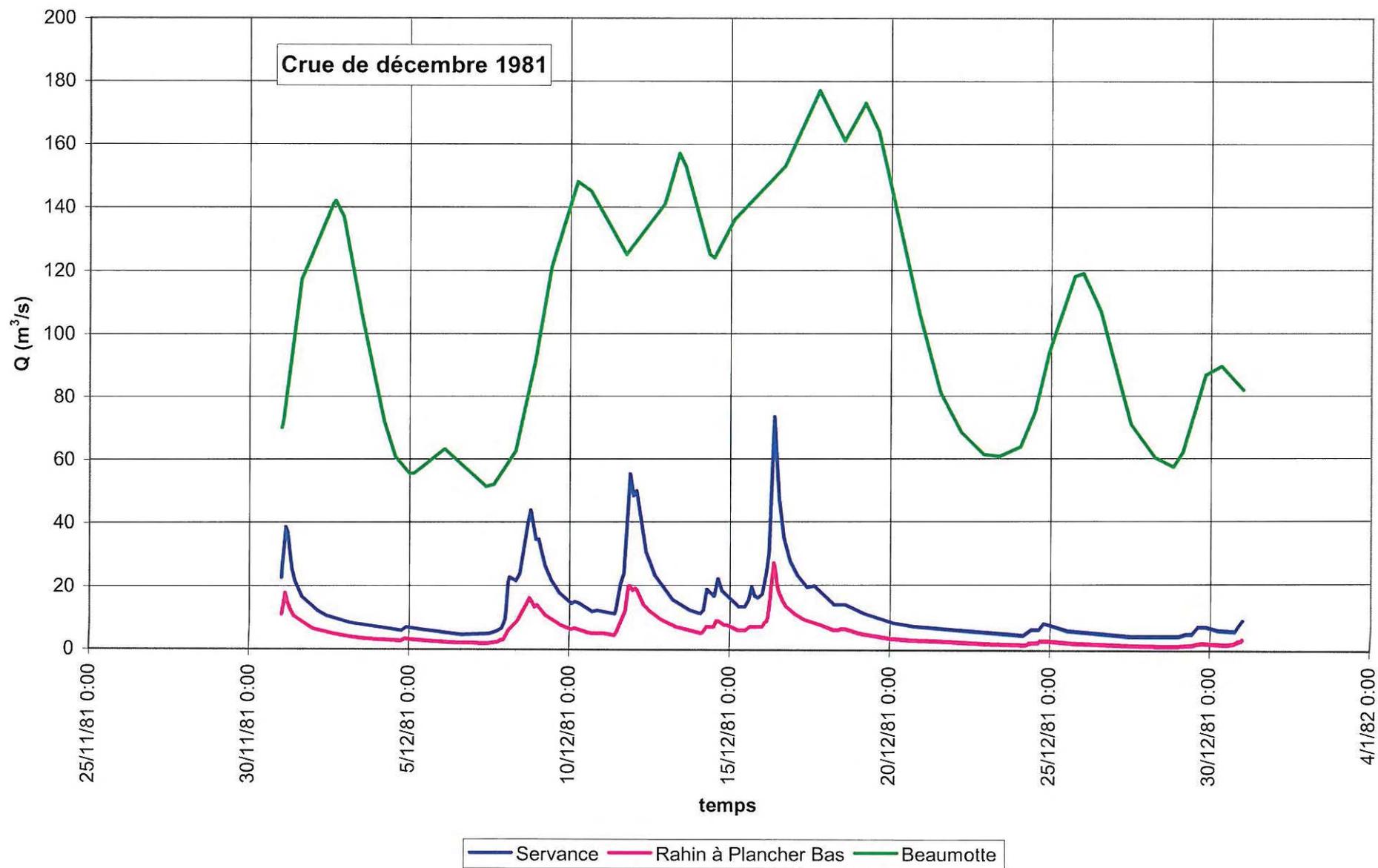
ANNEXE 2 : Crues historiques mesurées aux stations

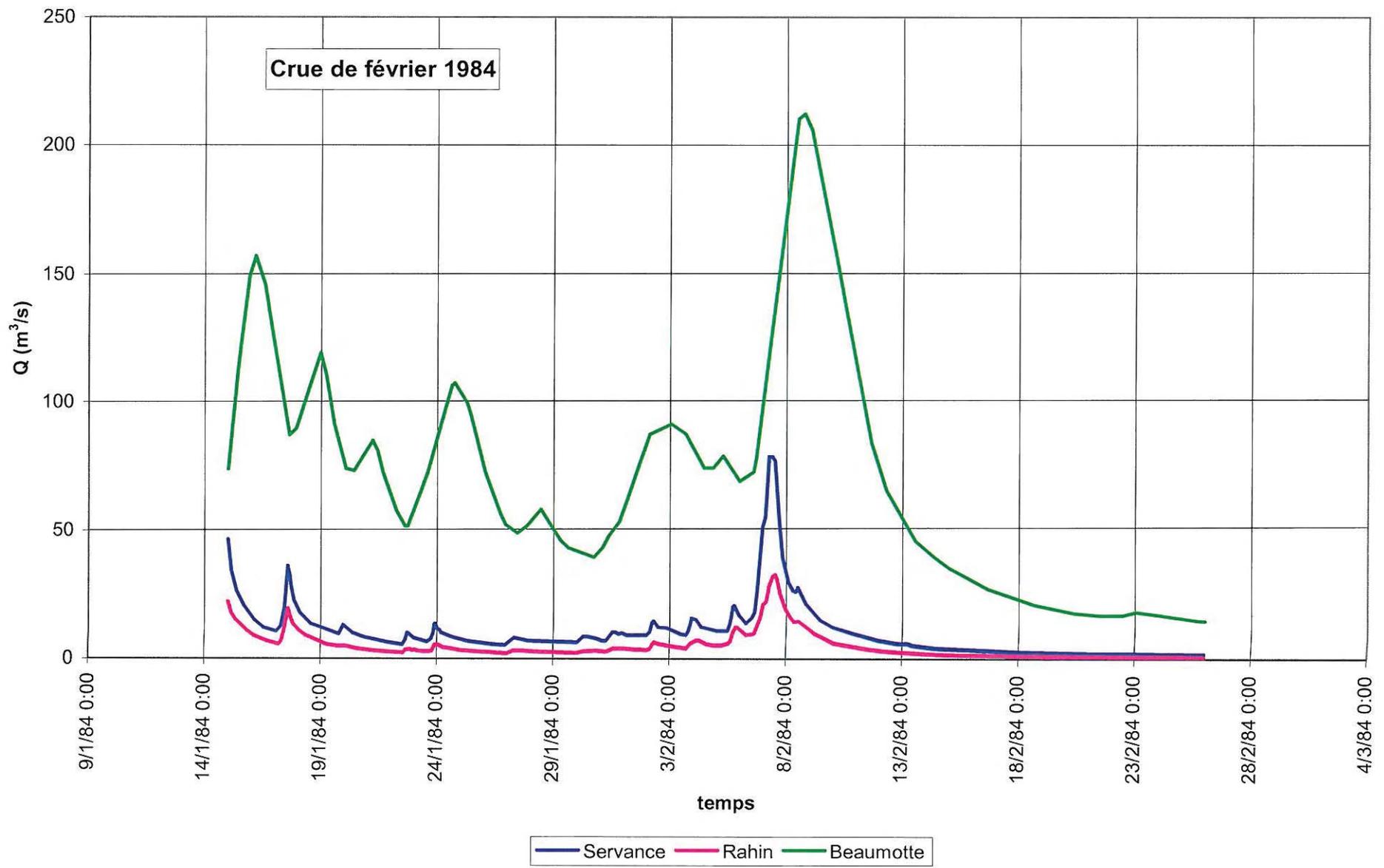


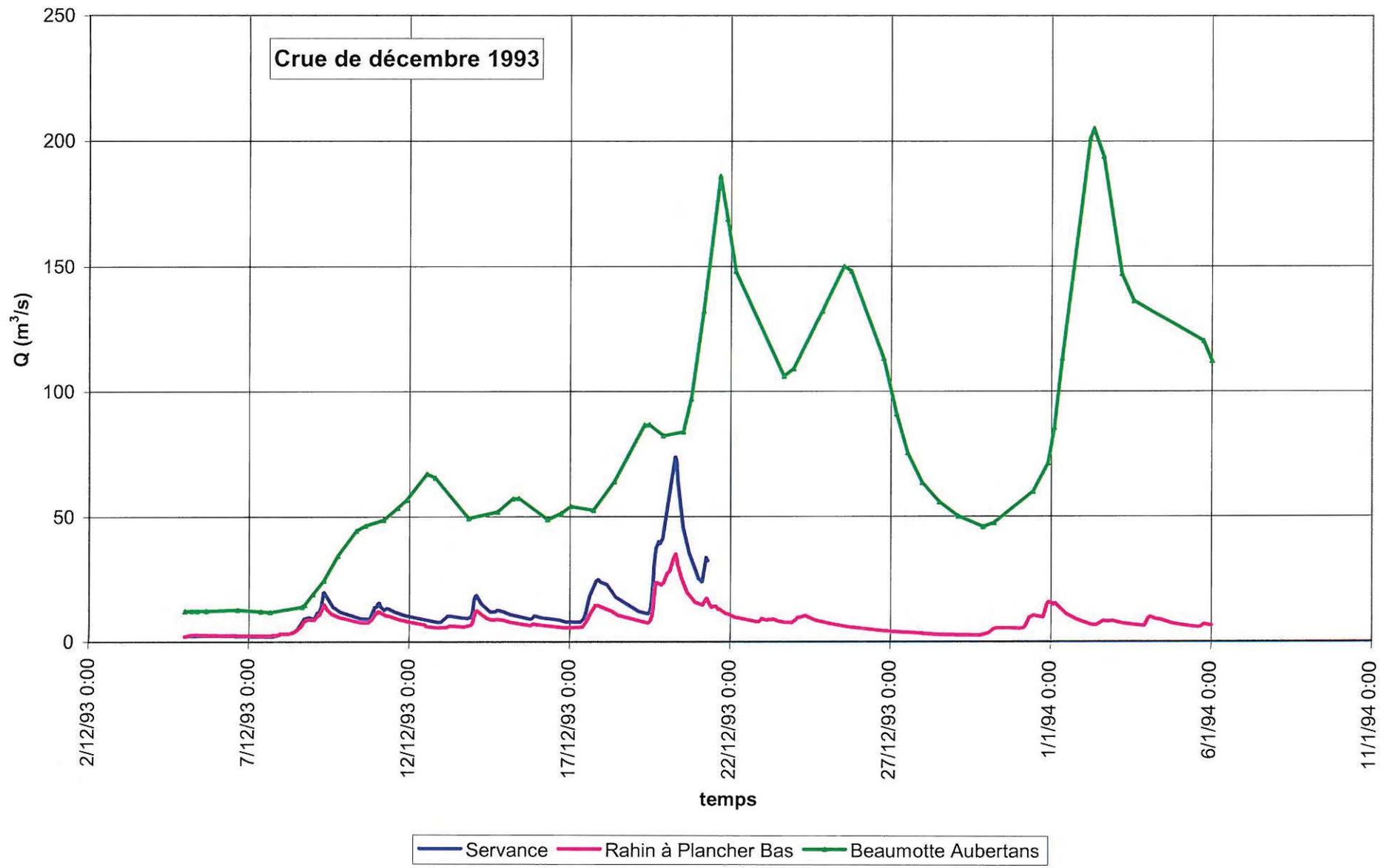
— Servance — Rahin à Plancher Bas — Beaumotte











Crue de janvier 1995

