



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'environnement OFEV

STATISTIQUE DES CRUES

RAPPORT DE STATION

Doubs - Le Noirmont, La Goule

Explications additionnelles : [guide de lecture](#)

Contact : hydroanalysen@bafu.admin.ch

Table des matières

1	Base de données	2
2	Résultats des méthodes paramétriques	6
2.1	Méthode de Block Maximum (BLOCK)	7
2.1.1	Période d'étude totale : 1971-2015	7
2.1.1.a	Variante stationnaire du modèle	7
2.1.1.b	Variante non stationnaire du modèle	9
2.1.2	Période de comparaison : 1974-2015	11
2.1.2.a	Variante stationnaire du modèle	11
2.2	Méthode de Peaks Over Threshold (POT)	12
2.2.1	Période d'étude POT : 1974-2015	13
2.2.1.a	Variante stationnaire du modèle	13
2.2.1.b	Variante non stationnaire du modèle	15
3	Comparaison des résultats	17
3.1	Evaluation des différentes périodes d'étude	17
3.2	Comparaison globale des diverses variantes	17
4	Bibliographie	19
Annexe		20
A	Détermination de la valeur seuil pour délimiter les valeurs extrêmes	20
B	Glossaire	21

1 Base de données

Les données sur les débits ci-après sont disponibles et servent de base à l'évaluation statistique des extrêmes :

Données disponibles	de	à
Maxima mensuels sous forme numérique	01.01.1971	31.12.2015
Maxima journaliers sous forme numérique	01.01.1974	13.09.2005

Un limnigraphe a été mis en service le 01. octobre 1970.

Les évaluations utilisent soit les maxima mensuels lorsqu'ils ont été mesurés pour des années entières à l'aide du limnigraphe ou les maxima journaliers sous forme numérique (cf. chapitre 2).

Le débit le plus élevé a été observé comme suit :

Pointe de débit maximale	Date	Débit
Maximum journalier le plus élevé	15.02.1990	358 m ³ /s
Maximum mensuel le plus élevé	15.02.1990	358 m ³ /s

Les données sur le débit présentent les caractéristiques ci-après :

Mode d'écoulement	Description
Régime d'écoulement	Ne peut pas être classé sans équivoque : Débits élevés en hiver, faibles en été.
Amplitude de la saisonnalité	Perceptible dans les maxima mensuels et journaliers. (figure 3 et figure 4)
Influences	Influence petite des centrales au fil de l'eau (1894 & 1909) et du barrage de Châtelot (1953) avec le lac de Moron (19 Mio m ³) et les correspondantes centrales hydroélectriques à Les Planchettes. L'influence existante ayant commencé à se faire sentir avant la période d'étude, elle n'apparaît pas dans les données recueillies. Par ailleurs, aucun facteur d'influence susceptible d'avoir un impact sur le mode d'écoulement n'est connu dans la région.

Les maxima annuels varient entre 60 et 360 m³/s environ, les valeurs mesurées affichant une dispersion grande dans cette fourchette. Deux valeurs supérieures à 300 m³/s constituent les maxima annuels les plus élevés, tandis que la plupart des valeurs se situent entre 125 et 250 m³/s. Depuis 1990 environ, les maxima annuels les plus élevés suivent une décroissance quasi linéaire, qui ne semble toutefois pas avoir de cause hydrologique. L'analyse des points de rupture révèle deux points de rupture significatifs aux environs de 1977 (intervalle de confiance 1971-1982) et 1996 (intervalle de confiance 1992-2004). Depuis 1996, aucun maxima annuel n'a dépassé 250 m³/s, et plus de la moitié des débits annuels les plus élevés sont restés inférieurs à 150 m³/s. Un nombre supérieur à la moyenne de maxima annuels relativement bas ont également été enregistrés avant 1977, et ces données expliquent le deuxième point de rupture. Pour résumer, les maxima annuels augmentent jusqu'en 1990 et diminuent à nouveau par la suite. Bien qu'ils apparaissent clairement dans les données, les points de rupture n'ont pas d'explication hydrologique. Nous renonçons donc à définir une période d'étude à partir de ce point. Le deuxième point de rupture, aux environs de 1996, est nettement plus perceptible. Il est dès lors utilisé dans les modèles présentant une variation brusque.

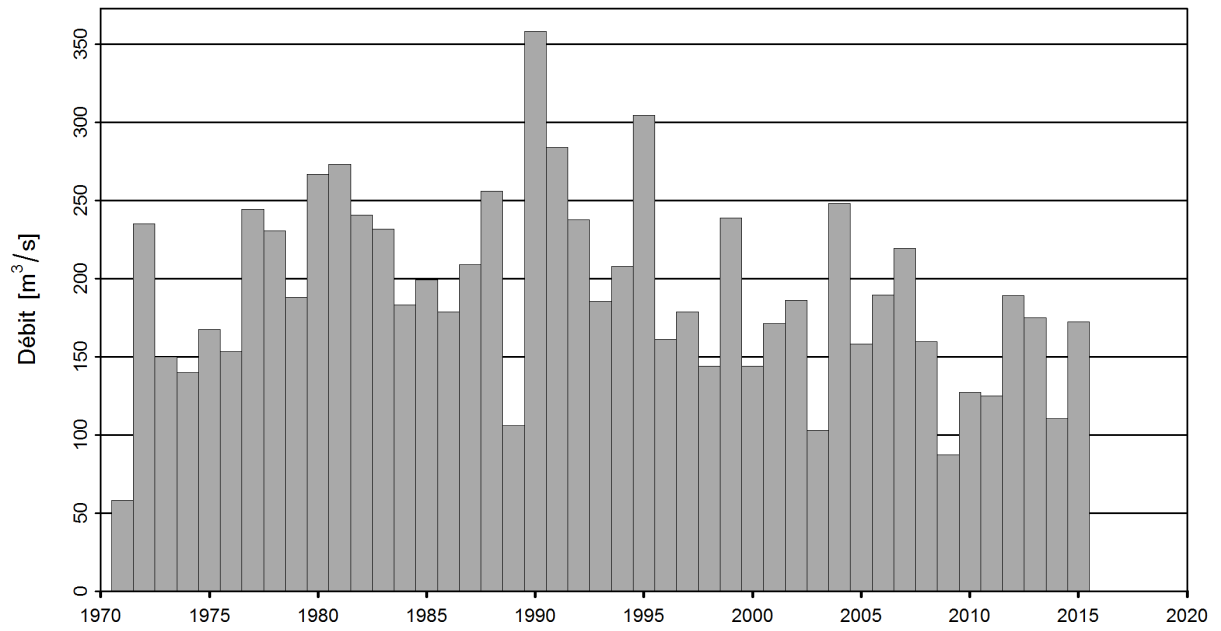


FIGURE 1 – Série chronologique des maxima annuels [m³/s] (1971 - 2015, gris foncé : maxima annuels pris en compte)

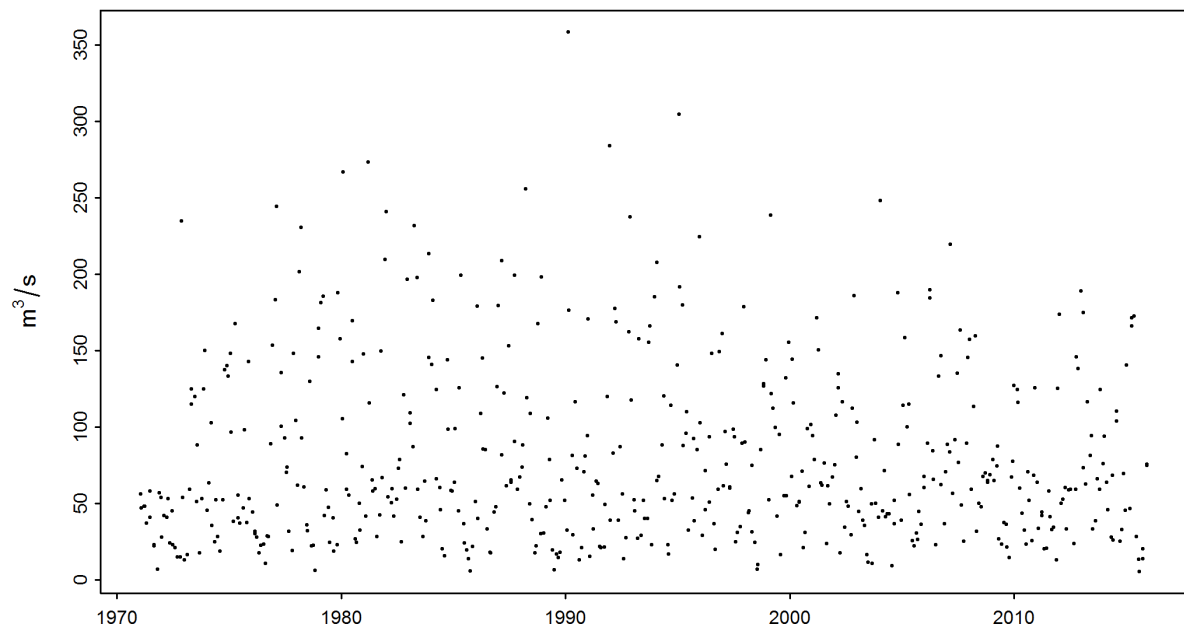


FIGURE 2 – Série chronologique des maxima mensuels [m³/s] (01.01.1971 - 31.12.2015)

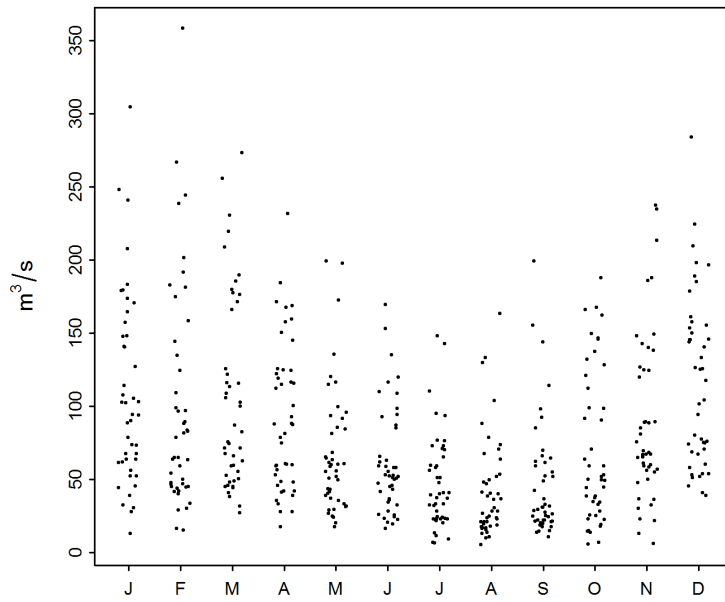


FIGURE 3 – Variations saisonnières des maxima mensuels [m³/s] (01.01.1971 - 31.12.2015)

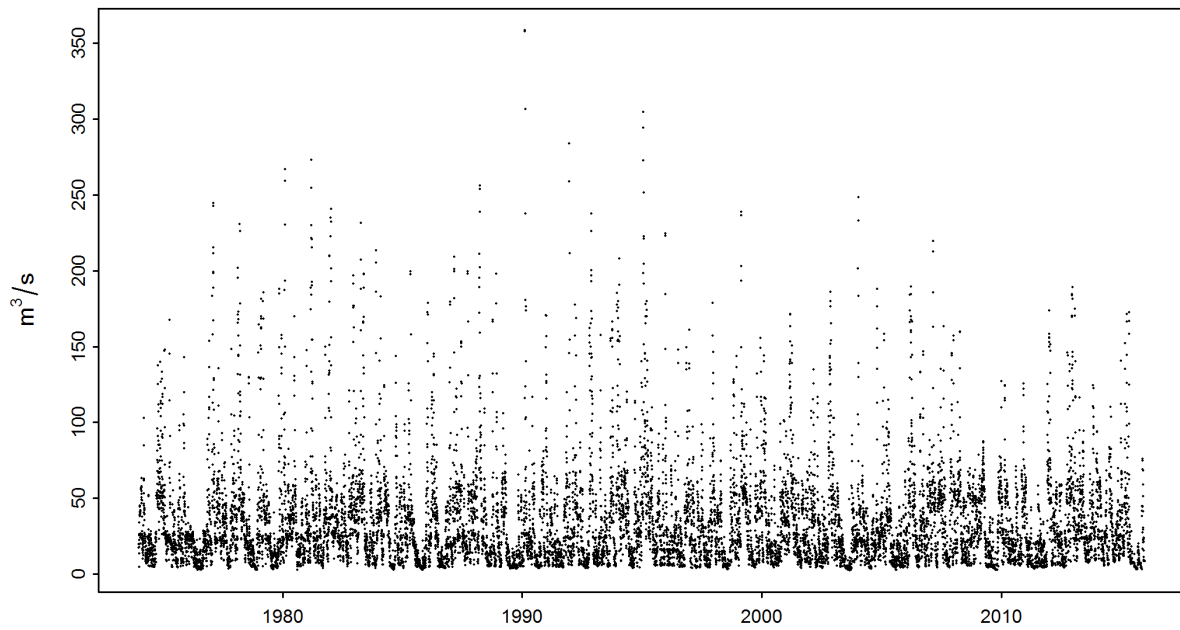


FIGURE 4 – Série chronologique des maxima journaliers [m³/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

Conclusion concernant les variantes du modèle

Changements	Impact	Conclusions
centrales hydroélectriques avant la période d'étude	-	Probablement stationnaire

Analyse des points de rupture

Année	Point de rupture significatif	Conclusions
1995 / 1996	oui	Pas de subdivision de la période d'étude, car la documentation concernant la station et le bassin versant ne la justifient pas. L'année 1996 est définie comme t_0 (cf. chapitre 2).

2 Résultats des méthodes paramétriques

La probabilité des crues HQ_T est estimée à l'aide de deux méthodes paramétriques (BLOCK et POT). Ces deux méthodes se distinguent par leur manière d'identifier les valeurs extrêmes. Elles se fondent sur les paramètres et les données d'entrée ci-après :

Méthode paramétrique	Paramètre	Données utilisées
Block Maximum (BLOCK)	μ Paramètre de position	Maxima annuels
	σ Paramètre d'échelle	
	κ Paramètre de forme	
Peaks Over Threshold (POT)	λ Taux d'occurrences	Maxima journaliers
	σ Paramètre d'échelle ¹	
	κ Paramètre de forme	

Dans les deux méthodes paramétriques, on calcule toujours le cas stationnaire. On suppose à cet effet que tous les paramètres de la fonction de répartition demeurent constants sur toute la période étudiée. Si l'historique de la station donne toutefois à penser qu'un changement est intervenu au fil du temps, les paramètres de la fonction de répartition correspondante peuvent être modélisés en fonction du temps. Les variantes de modèle utilisées sont présentées dans les tableaux 1 et 2 ci-après :

TABLE 1 – Variantes de la méthode BLOCK. μ Paramètre de position (mu), σ Paramètre d'échelle (sigma), κ Paramètre de forme (kappa)

Variantes de la méthode BLOCK			
Nom	Description	Paramètre (t : année)	Nombre de paramètres
stat	Variante stationnaire	μ, σ, κ	3
mul	Tendance linéaire de μ	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma, \kappa$	4
muq	Tendance quadratique de μ	$\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2, \sigma, \kappa$	5
sigl	Tendance linéaire de σ	$\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	4
musigl	Tendance linéaire de μ et σ	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	5
mujump	Évolution non continue de μ au moment t_0	$\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa, i = 0$ pour $t < t_0, i = 1$ quand $t \geq t_0$	4

TABLE 2 – Variantes de la méthode POT. σ Paramètre d'échelle (sigma), κ Paramètre de forme (kappa)

Variantes de la méthode POT			
Nom	Description	Paramètre (t : année)	Nombre de paramètres
stat	Variante stationnaire	σ, κ	2
sigl	Tendance linéaire de σ	$\sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	3
sigjump	Évolution non continue de σ au moment t_0	$\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa, i = 0$ pour $t < t_0, i = 1$ quand $t \geq t_0$	3

La qualité des variantes est toujours évaluée à l'aide d'un Probability Plot et d'un Quantile Plot (cf. p. ex. figure 5 ci-dessus et [Guide de lecture](#) point 2.2.3). Plus les données sont proches de la première bissectrice, plus il est possible de supposer que les hypothèses du modèle sont correctes. Un ordinogramme est utilisé pour décider quel modèle non stationnaire sera utilisé par la suite (cf. figure 5 du [Guide de lecture](#) point 2.1.3). Les variantes présentées ci-après sont celles qui fournissent les meilleurs résultats.

1. La valeur numérique du paramètre d'échelle σ de la méthode POT n'est pas identique à celle du paramètre d'échelle σ de la méthode BLOCK.

2.1 Méthode de Block Maximum (BLOCK)

Dans la méthode de Block Maximum, la valeur maximale enregistrée au cours d'un intervalle de temps (ou « bloc », qui équivaut ici à une année) correspond à la valeur extrême.

Le présent rapport décrit les variantes suivantes de la méthode BLOCK :

Période d'étude	Description	Variante sélectionnée	Point
1971 - 2015	période d'étude totale	stat	point 2.1.1.a
		mujump	point 2.1.1.b
1974 - 2015	période de comparaison	stat	point 2.1.2.a

2.1.1 Période d'étude totale : 1971-2015

2.1.1.a Variante stationnaire du modèle

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
BLOCK	stat	1971-2015	Maxima annuels	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

Nombre de valeurs n	Paramètre de position $\hat{\mu}$	Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$	Paramètre de forme $\hat{\kappa}$
45	167.28	56.5	-0.1892

La qualité de la variante « stat » pour la période d'étude totale est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 5.

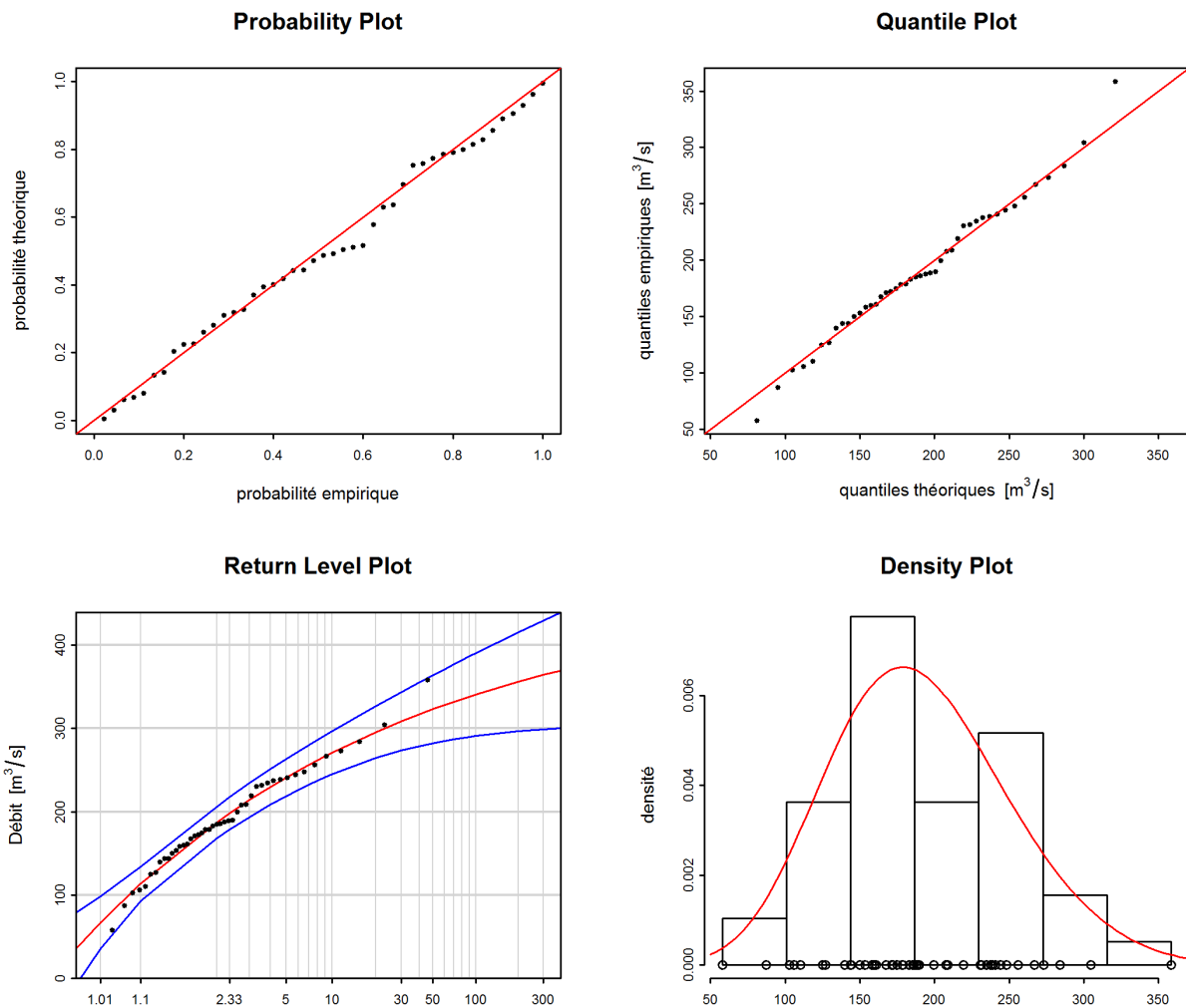


FIGURE 5 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode BLOCK(1971-2015)

Evaluation des graphiques diagnostiques (figure 5) :

Critères	Evaluation ²	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
Intervalle de confiance	faible	-

2. cf. [guide de lecture](#) point 2.2.3

Le tableau ci-après présente, les débits, de l'année la plus récente, déterminés pour différentes périodes de retour à l'aide de la variante stationnaire de la méthode BLOCK sur la période d'étude totale 1971-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ _T	Limite de confiance inférieure [m ³ /s]	Débit [m ³ /s]	Limite de confiance supérieure [m ³ /s]
HQ ₂	168	187	206
HQ ₁₀	245	271	297
HQ ₃₀	273	308	344
HQ ₁₀₀	291	341	391
HQ ₃₀₀	299	364	430

2.1.1.b Variante non stationnaire du modèle

La comparaison des différentes variantes de la méthode BLOCK montre que les variantes «muq» et «mujump» s'écartent de manière significative de la variante stationnaire («stat»).³ Sur la base de la procédure de comparaison de différentes variantes non stationnaires, telle qu'elle est décrite dans l'ordinogramme, c'est le modèle «mujump» qui constitue la meilleure option. Les différences entre les variantes sont minimes. Le présent rapport s'en tient dès lors aux résultats de la variante «mujump» (cf. figure 5 du [guide de lecture](#)).

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
BLOCK	mujump1996	1971-2015	Maxima annuels	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

Nombre de valeurs n	Paramètre de position $\hat{\mu}^4$		Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$	Paramètre de forme $\hat{\kappa}$
	a_1	a_2		
45	191.23	-45.96	55.77	-0.2619

La qualité de la variante «mujump1996» pour la période d'étude totale est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 6.

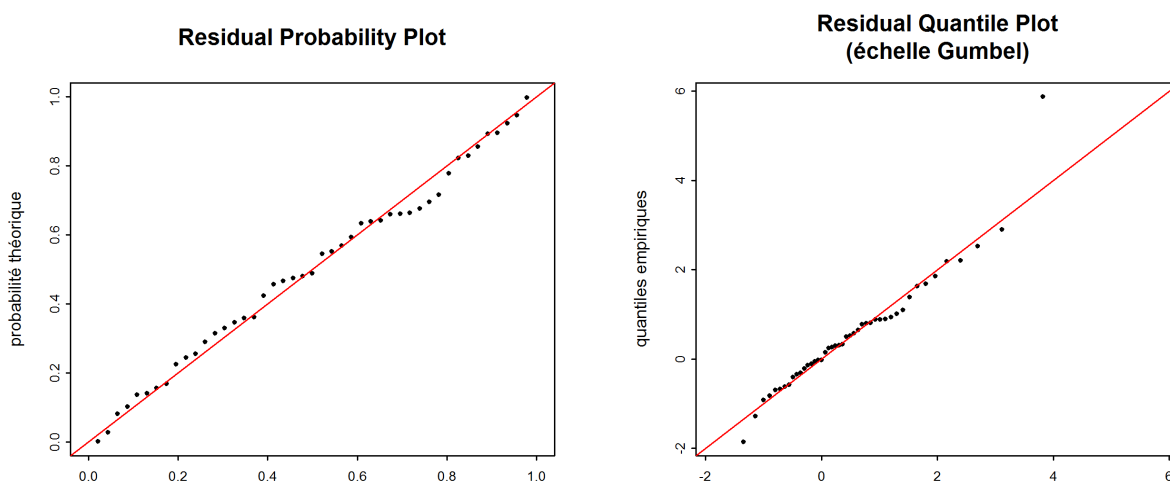


FIGURE 6 – Graphiques diagnostiques de la variante «mujump1996» de la méthode BLOCK (1971-2015)

3. Sur la base de l'analyse des points de rupture, l'année 1996 est choisie comme temps t_0 pour la variante «mujump» (cf. point 1).

4. $\hat{\mu} = a_1 + a_2 * i$, $i = 0$ pour $t < t_0$, $i = 1$ quand $t \geq t_0$ (cf. tableau 1)

Évaluation des graphiques diagnostiques (Figure 6) :

Critères	Évaluation ⁵	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
Comparaison avec la variante stationnaire	qualité identique	Les qualités des deux modèles sont très similaires.

Le tableau ci-après présente les débits, de l'année la plus récente (2015), déterminés pour différentes périodes de retour à l'aide de la variante «mujump1996» de la méthode BLOCK sur la période d'étude totale 1971-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ _T	Limite de confiance inférieure [m ³ /s]	Débit [m ³ /s]	Limite de confiance supérieure [m ³ /s]
HQ ₂	139	165	190
HQ ₁₀	210	240	270
HQ ₃₀	234	270	307
HQ ₁₀₀	249	294	339
HQ ₃₀₀	257	310	364

La figure 7 illustre la modification entre 1971 et 2015 du débit HQ₁₀₀ calculé à l'aide de la variante «mujump1996».

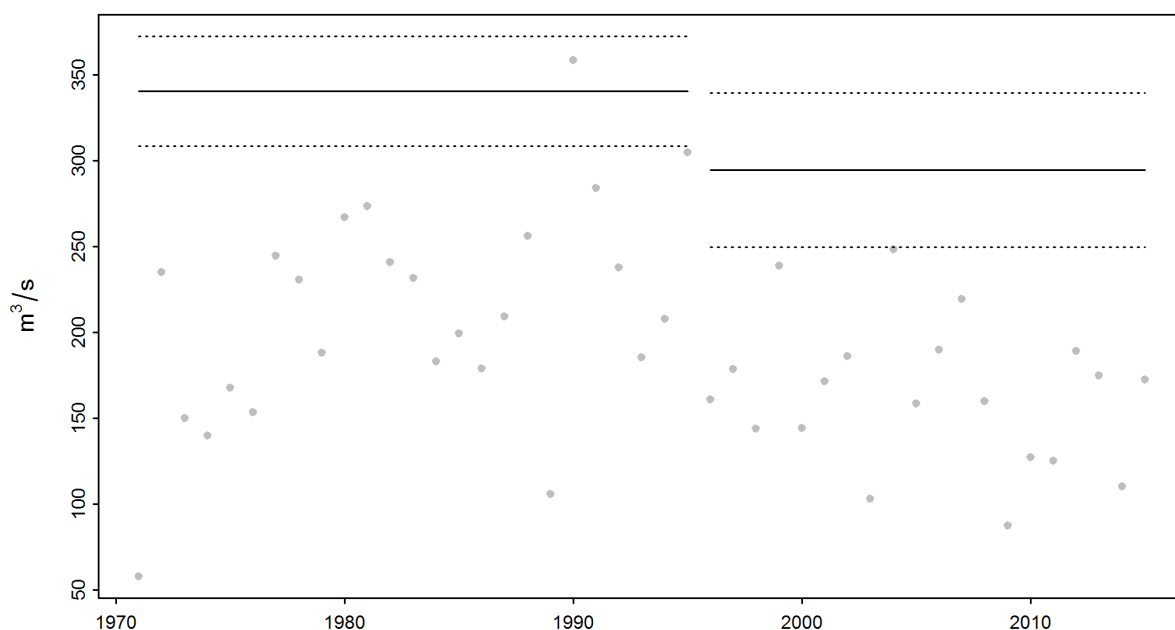


FIGURE 7 – Modification des HQ₁₀₀ (calculés à l'aide de la variante «mujump1996») et de l'intervalle de confiance à 95 % (méthode delta ; lignes en traitillé) durant la période 1971-2015

5. Cf. [guide de lecture](#) point 2.2.3

2.1.2 Période de comparaison : 1974-2015

2.1.2.a Variante stationnaire du modèle

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
BLOCK	stat	1974-2015	Maxima annuels	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

Nombre de valeurs n	Paramètre de position $\hat{\mu}$	Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$	Paramètre de forme $\hat{\kappa}$
42	169.93	51.43	-0.1314

La qualité de la variante «stat» pour la période de comparaison est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 8.

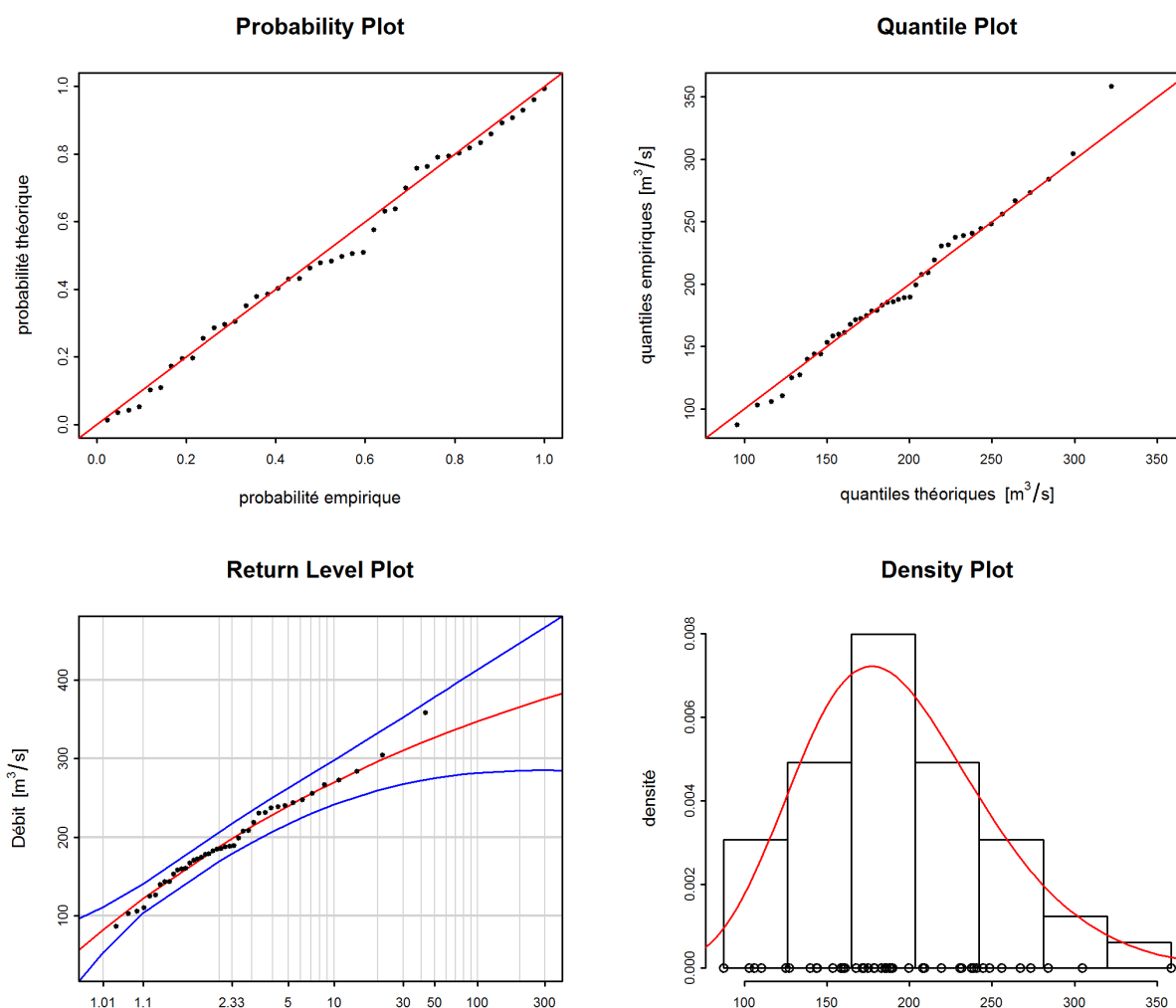


FIGURE 8 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode BLOCK (1974-2015)

Evaluation des graphiques diagnostiques (figure 8) :

Critères	Evaluation ⁶	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
Intervalle de confiance	faible-moyen	légèrement plus grand pour des périodes de retour grandes

Le tableau ci-après présente, les débits, de l'année la plus récente, déterminés pour différentes périodes de retour à l'aide de la variante stationnaire de la méthode BLOCK sur la période de comparaison 1974-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ _T	Limite de confiance inférieure [m ³ /s]	Débit [m ³ /s]	Limite de confiance supérieure [m ³ /s]
HQ ₂	170	188	207
HQ ₁₀	242	270	298
HQ ₃₀	268	310	353
HQ ₁₀₀	282	347	413
HQ ₃₀₀	285	376	467

2.2 Méthode de Peaks Over Threshold (POT)

La méthode «Peaks over Threshold» (POT) considère comme événements extrêmes ceux qui dépassent une valeur seuil u élevée.

Les calculs selon la méthode POT se fondent sur les maxima journaliers à partir de 1974. Auparavant, il importe toutefois de corriger ces données de l'effet cluster. Dans le cas de Doubs - Le Noirmont, La Goule, l'intervalle de temps L entre deux événements indépendants est fixé à 12 jours au minimum.

L'analyse porte sur les variantes ci-après de la méthode POT :

Période d'étude	Description	Variante sélectionnée	Point
1974 - 2015	période d'étude POT	stat	point 2.2.1.a
		sigjump	point 2.2.1.b

6. cf. [guide de lecture](#) point 2.2.3

2.2.1 Période d' étude POT : 1974-2015

Dans ce cas, la valeur seuil u a été fixée à $147 \text{ m}^3/\text{s}$ (cf. annexe A). La figure 9 indique les événements extrêmes qui ont effectivement été utilisés.

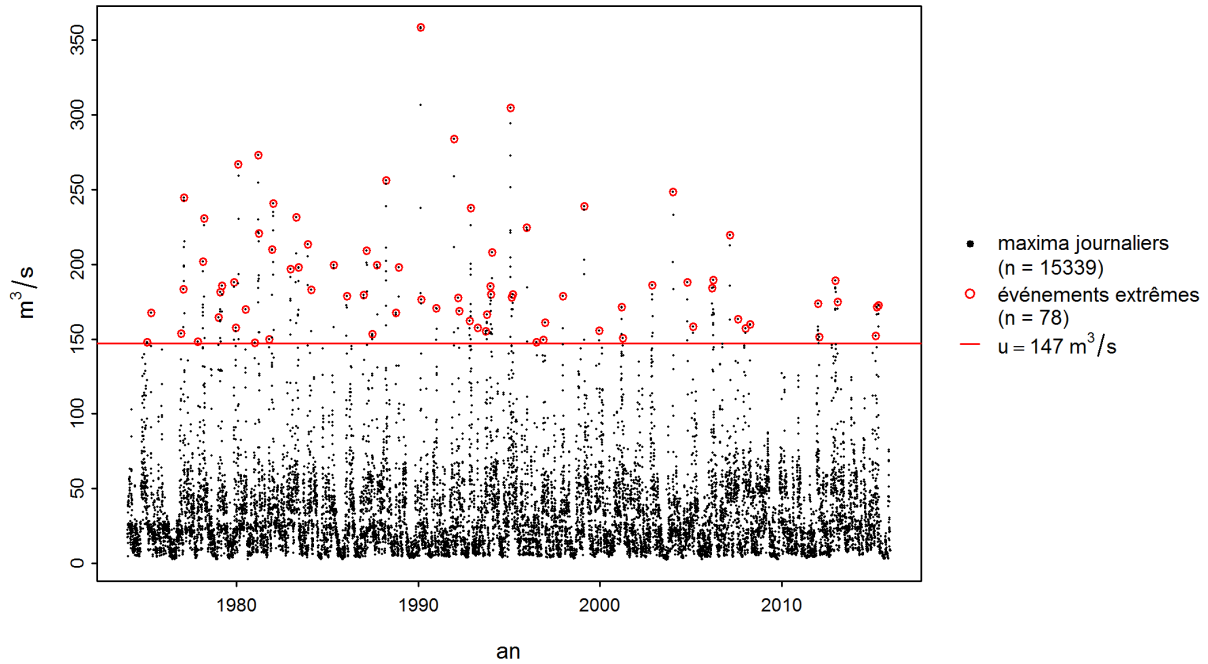


FIGURE 9 – Sélection des valeurs extrêmes utilisées dans la méthode POT

2.2.1.a Variante stationnaire du modèle

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
POT	stat	1974-2015	Maxima journaliers	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

Valeur seuil	Nombre de Valeurs	Taux d'occurrences	Paramètre d'échelle	Paramètre de forme
u	n	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$147 \text{ m}^3/\text{s}$	78	1.86	47.69	-0.0947

La qualité de la variante «stat» pour la période d' étude POT est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 10.

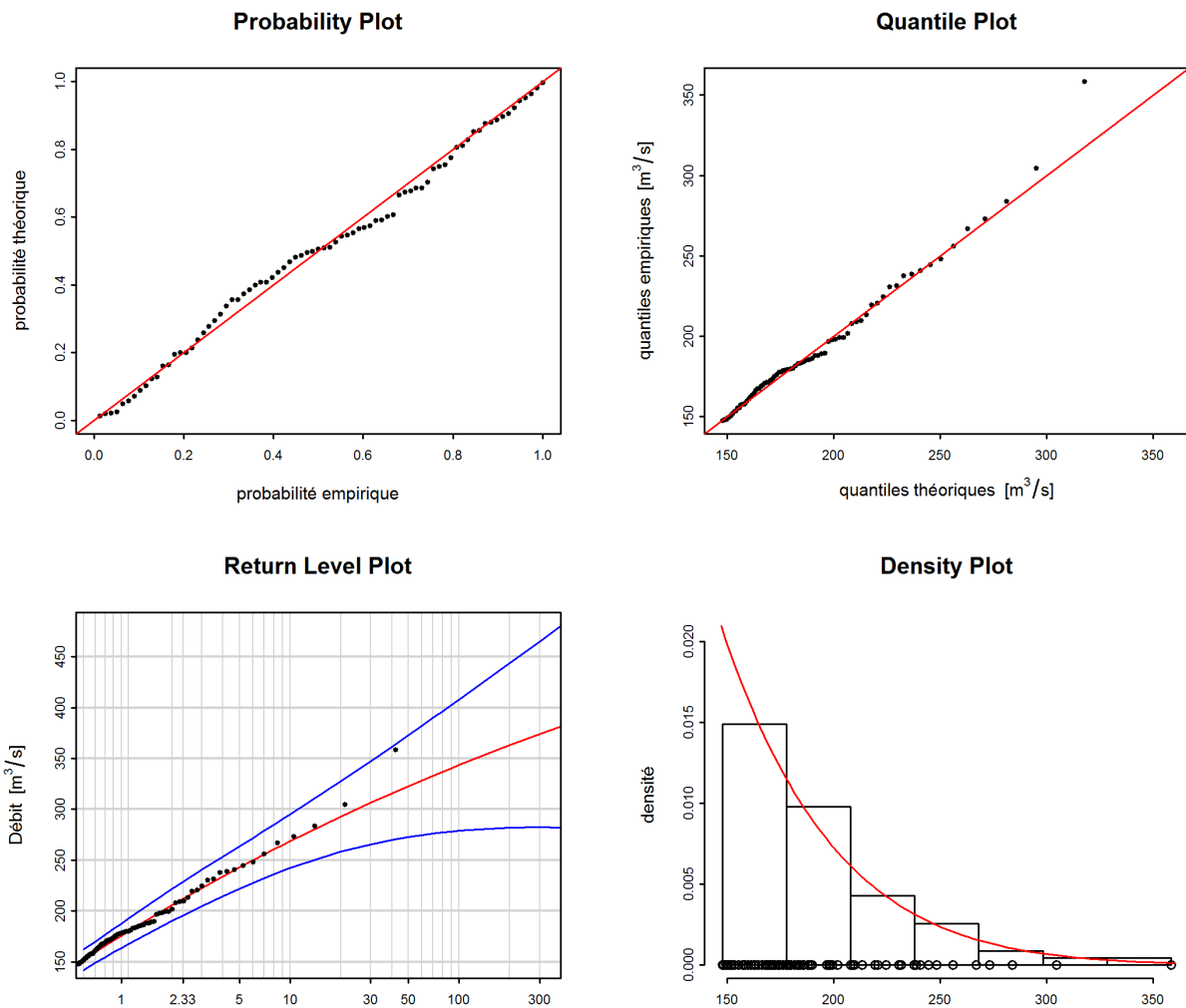


FIGURE 10 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode POT (1974-2015)

Evaluation des graphiques diagnostiques (Figure 10) :

Critères	Evaluation ⁷	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
Intervalle de confiance	moyen	grand pour des périodes de retour grandes

7. cf. [guide de lecture](#) point 2.2.3

Le tableau ci-après présente, les débits, de l'année la plus récente, déterminés pour différentes périodes de retour à l'aide de la variante stationnaire de la méthode POT sur la période d'étude POT 1974-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ _T	Limite de confiance inférieure [m ³ /s]	Débit [m ³ /s]	Limite de confiance supérieure [m ³ /s]
HQ ₂	190	206	222
HQ ₁₀	242	269	295
HQ ₃₀	265	306	347
HQ ₁₀₀	279	344	408
HQ ₃₀₀	282	374	465

2.2.1.b Variante non stationnaire du modèle

La comparaison des différentes variantes de la méthode POT montre que les variantes «sigl» und «sigjump» s'écartent de manière significative de la variante stationnaire «stat». ⁸C'est la variante «sigjump» qui s'avère la plus probante. Ses résultats sont reproduits ci-après (cf. figure 5 du [guide de lecture](#)).

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
POT	sigjump1996	1974-2015	Maxima journaliers	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

Valeur seuil	Nombre de Valeurs	Taux d'occurrences	Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}^9$		Paramètre de forme
u	n	$\hat{\lambda}$	b_1	b_2	$\hat{\kappa}$
147 m ³ /s	78	1.86	58.38	-24.91	-0.1582

La qualité de la variante «sigjump1996» pour la période d'étude POT est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 11.

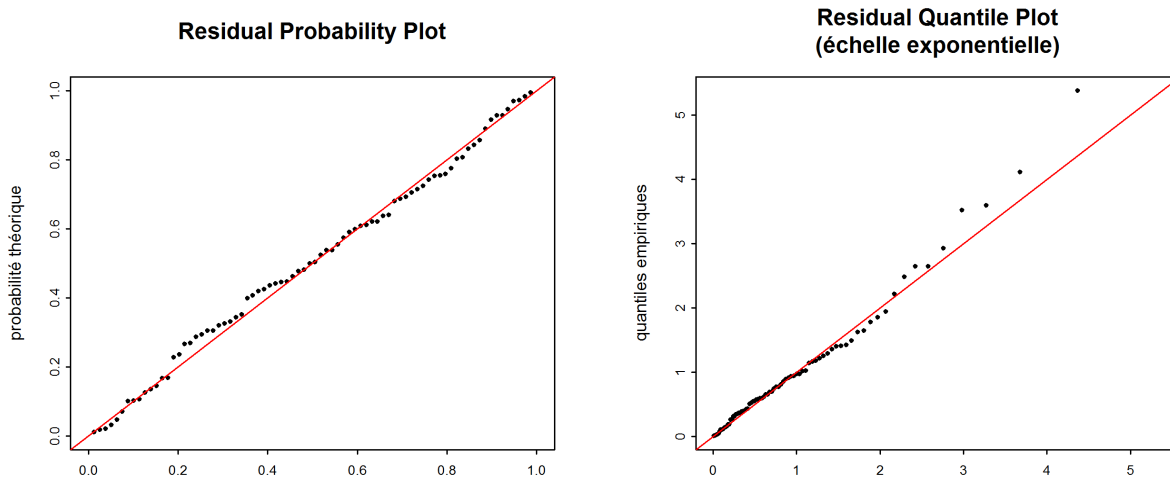


FIGURE 11 – Graphiques diagnostiques de la variante «sigjump1996» de la méthode POT (1974-2015)

8. Sur la base de l'analyse des points de rupture, l'année 1996 est choisie comme temps t_0 pour la variante «sigjump» (cf. point 1).

9. $\hat{\sigma} = b_1 + b_2 * i, i = 0$ pour $t < t_0, i = 1$ quand $t \geq t_0$ (cf. tableau 1)

Evaluation des graphiques diagnostiques (Figure 11) :

Critères	Évaluation ¹⁰	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne-moyenne	quelques valeurs sont légèrement sous-estimées
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne-médiocre	toutes les valeurs les plus élevées sont légèrement sous-estimées
Comparaison avec la variante stationnaire	moins bonne	les valeurs les plus élevées sont légèrement plus éloignées de la première bissectrice

Le tableau ci-après présente, les débits, de l'année la plus récente, déterminés pour différentes périodes de retour à l'aide de la variante nom stationnaire de la méthode POT sur la Période d'étude POT 1974-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ _T	Limite de confiance inférieure [m ³ /s]	Débit [m ³ /s]	Limite de confiance supérieure [m ³ /s]
HQ ₂	172	187	201
HQ ₁₀	199	225	251
HQ ₃₀	211	247	282
HQ ₁₀₀	219	266	313
HQ ₃₀₀	221	281	340

La figure 12 illustre la modification entre 1971 et 2015 du débit HQ₁₀₀ calculé à l'aide de la variante «sigjump1996».

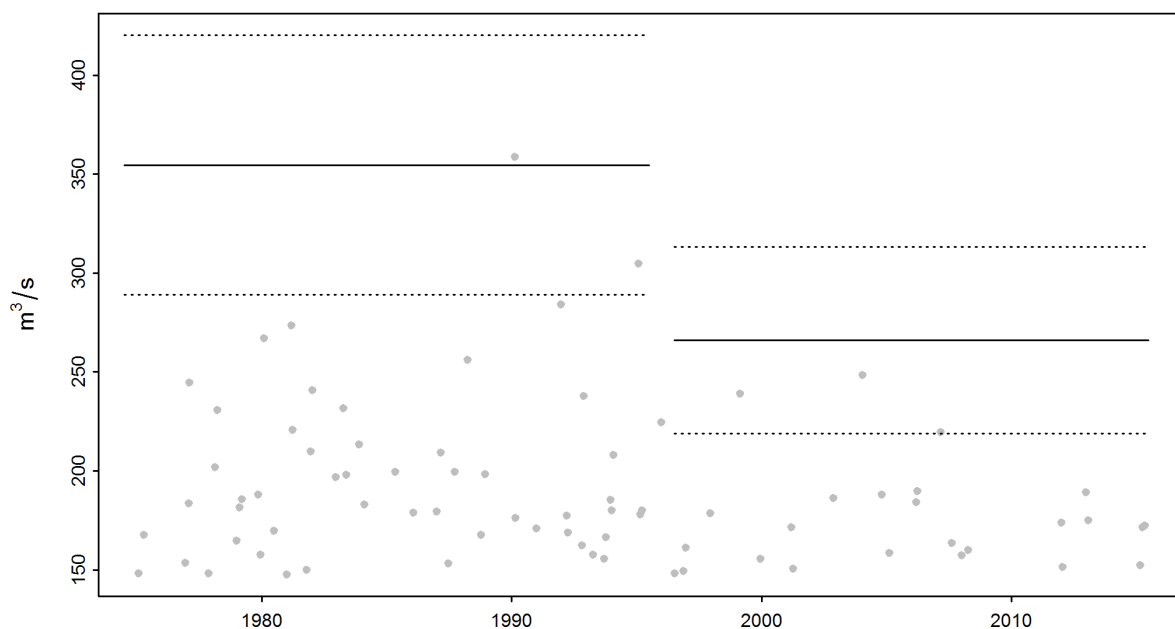


FIGURE 12 – Modification des HQ₁₀₀ (calculés à l'aide de la variante «sigjump1996») et de l'intervalle de confiance à 95 % (méthode delta ; lignes en traitillé) durant la période 1974-2015

10. cf. [guide de lecture](#) point 2.2.3

3 Comparaison des résultats

La figure 13 présente les HQ_T obtenus à l'aide de la variante stationnaire et des variantes non stationnaires, qui s'avèrent les mieux adaptées aux données dans les deux méthodes paramétriques. Tant les valeurs que la taille de l'intervalle de confiance, qui est une mesure de l'incertitude, varient beaucoup. Ces écarts sont en général d'autant plus grands que la période de retour T est grande et le nombre des données de base petit.

3.1 Evaluation des différentes périodes d'étude

Seule la méthode BLOCK, qui se fonde sur l'étude des maxima mensuels, permet d'analyser la période d'étude 1971 - 2015. Les résultats de cette méthode ont été comparés pour les différentes périodes d'étude, afin d'illustrer l'influence de la période de mesure :

Périodes	HQ_T	Intervalle de confiance
Période de comparaison / Période d'étude totale	à peu près équivalent pour la variante stationnaire	légèrement plus grand

Les HQ_T des différentes périodes d'étude n'affichent guère d'écarts. Étant donné la faible différence de trois ans entre la période d'étude totale et celle de comparaison, les différences ne sont guère perceptibles dans l'évaluation. Vu le petit nombre de données disponibles, l'intervalle de confiance est légèrement plus grand pour la période de comparaison que sur l'ensemble de la période d'étude.

3.2 Comparaison globale des diverses variantes

La figure 13 et le tableau correspondant récapitulent les résultats des différentes variantes des méthodes paramétriques. Cette juxtaposition débouche sur les constats suivants :

Différences entre les résultats pour les HQ_T calculés à l'aide des deux méthodes :

Dans le cas de la variante stationnaire, les HQ_T de la méthode POT sont du même ordre que ceux de la méthode BLOCK. Dans le cas de la variante non stationnaire, les HQ_T de la méthode POT sont beaucoup inférieurs.

Différences entre les intervalles de confiance calculés selon les deux méthodes :

En général, les incertitudes, et dès lors les intervalles de confiance, augmentent lorsque la période de retour T s'allonge. Les intervalles de confiance établis par la méthode POT sont du même ordre que ceux de la méthode BLOCK.

Comparaison entre variantes stationnaires et variantes non stationnaires :

Dans les cas des méthodes BLOCK et POT, l'application d'une variante non stationnaire n'améliore pas la qualité du modèle, bien que la diminution de la fréquence de grandes crues au cours de ces dernières années soit prise en compte dans le modèle. Les temps de retour calculés pour l'année 2015 sont par conséquent inférieurs à ceux obtenus à l'aide des variantes stationnaires. Dans la méthode BLOCK, cela ne permet cependant pas d'améliorer la qualité du modèle, même si les niveaux de retour plus faibles reflètent mieux la tendance actuelle que la variante stationnaire. Dans le cas de la méthode POT, la variante non stationnaire détériore la qualité du modèle, car elle sous-estime encore davantage les valeurs les plus élevées. Il est impossible de tirer des conclusions quant à l'évolution future, car rien ne permet d'identifier les causes exactes des modifications.

Les résultats de ces applications statistiques ne constituent que l'une des bases pour répondre à des questions concrètes. D'autres connaissances sur les spécificités hydrologiques du bassin versant, des réflexions sur le pire scénario en matière de précipitations et de débits, etc. sont en effet indispensables pour estimer le risque de crue. La division Hydrologie de l'OFEV préconise une manière de procéder «étayée par des arguments hydrologiques» , telle qu'elle est décrite par Merz et Blöschl (2008, cités dans DWA 2012 :52).

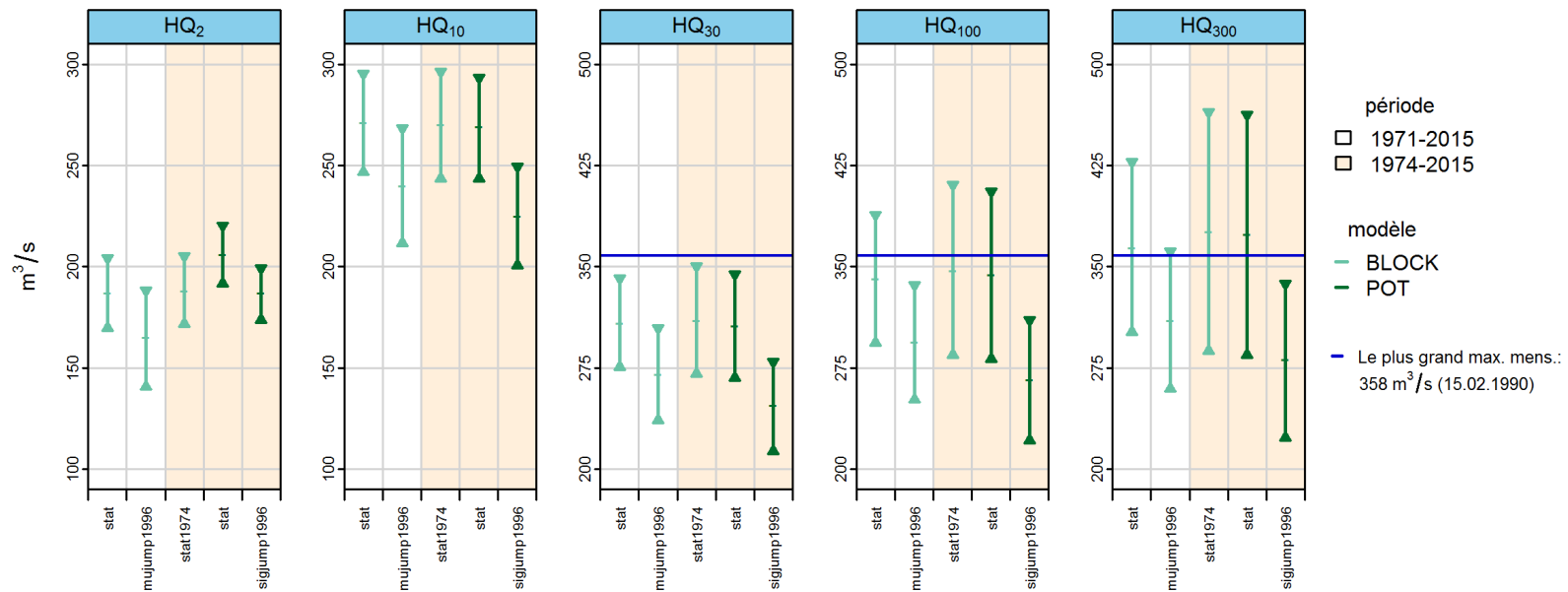


FIGURE 13 – HQ_T [m^3/s] y c. un intervalle de confiance à 95 % calculé à l'aide du modèle stationnaire ainsi qu'au moyen de la meilleure variante de la méthode BLOCK et POT pour l'année 2015

Période d'étude	Méthode	Adéquation			Remarque
1971 - 2015	BLOCK stat	bonne	bonne	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
	BLOCK mujump1996	bonne	bonne	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
Les qualités des deux modèles sont très similaires.					
1974 - 2015	BLOCK stat	bonne	bonne	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
1974 - 2015	POT stat	bonne	bonne	moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
	POT sigjump1996	bonne	bonne-moyenne	moyenne-médiocre	toutes les valeurs les plus élevées sont légèrement sous-estimées
les valeurs les plus élevées sont légèrement plus éloignées de la première bissectrice					

4 Bibliographie

Baumgartner, E., Boldi, M.-O., Kan, C., Schick, S. (2013) : Hochwasserstatistik am BAFU - Diskussion eines neuen Methodensets. Wasser Energie Luft, Heft 2/2013. Baden.

Coles, S. (2001) : An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer. London.

DWA (éd.) (2012) : Merkblatt DWA-M 552. Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.

OFEG (éd.) (2003a) : Dictionnaire de la protection contre les crues. Haupt Verlag, Bern.

OFEG (éd.) (2003b) : Evaluation des crues dans les bassins versants de Suisse. Guide pratique. Rapports de l'OFEG. Série Eaux No 4, Berne.

OFEV (2015) : Rapports des stations sur la statistique des crues - Guide de lecture. BAFU, Bern.

Annexe

A Détermination de la valeur seuil pour délimiter les valeurs extrêmes

La valeur seuil u qui sert à délimiter les extrêmes de la méthode POT pour la période d'étude 1974 - 2015 (cf. point 2.2.1) est fixée à $147 \text{ m}^3/\text{s}$ au moyen du «mean residual life plot» (cf. figure 14).

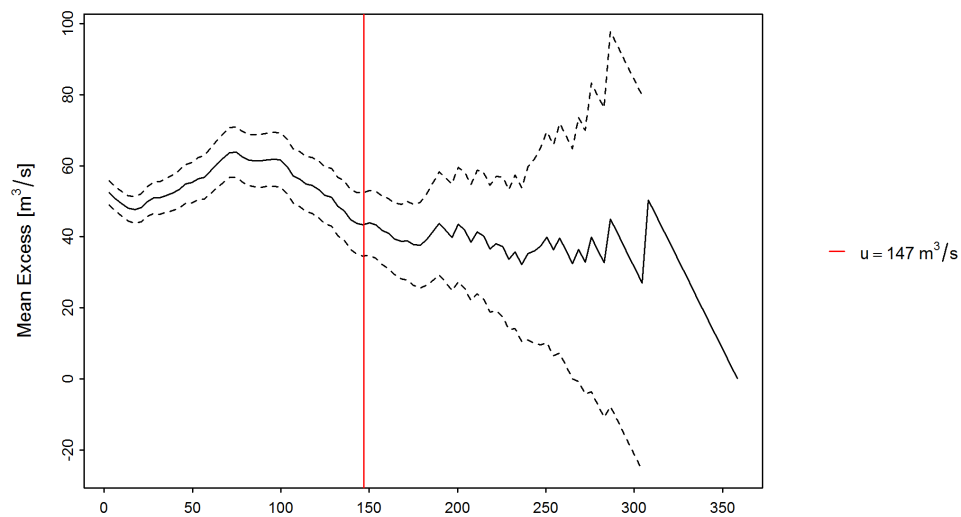


FIGURE 14 – «mean residual life plot» avec le seuil déterminé u (ligne rouge), dépassement moyen (ligne noire), intervalle de confiance à 95 % (traitillés)

B Glossaire

Période d'étude	Période de temps limitée dont provient un échantillon de débits de crue, cet échantillon étant considéré comme représentatif de l'ensemble des éléments. On admet que les caractéristiques de l'ensemble des éléments sont représentées approximativement par cet échantillon.
Statistique de la déviance	La statistique de déviance sert à évaluer l'adéquation d'un modèle pour un certain ensemble de données.
Deltamethode	L'OFEV applique la méthode delta pour calculer les intervalles de confiance dans les Return Level Plots. Cette méthode se fonde sur un développement de Taylor de la fonction des HQT et sur une distribution asymptotique normale (pour les détails techniques, cf. Coles 2001, p. 33).
Qualité du modèle, qualité de l'ajustement ou adéquation	Mesure de l'écart qui sépare un modèle statistique (valeurs théoriques) et une quantité d'observations ou de relevés (données empiriques).
HQ _T	Débit de crue déterminé à l'aide d'une fonction de répartition pour une période de retour prédéfinie. Le débit HQ _T est une estimation qui peut être inférieure ou supérieure à la valeur réelle des débits de crue dont la période de récurrence statistique est de T années. Le HQ _T est également appelé «temps de retour». Les HQ _T calculés à l'aide des méthodes paramétriques sont valables pour toute une période (cas stationnaire) ou pour l'année sous revue (cas non stationnaire).
Intervalle de confiance	Les intervalles de confiance reflètent l'incertitude des résultats d'un modèle statistique. Ils ne tiennent cependant compte que de l'erreur inhérente au modèle, mais pas d'autres incertitudes (erreurs de mesure, p. ex.).
Méthode du maximum de vraisemblance	Nom d'une méthode qui estime les paramètres d'une fonction de répartition à partir des informations d'un échantillon par la maximisation de la fonction logarithmique de vraisemblance .
Méthode paramétrique	L'un des grands objectifs de la statistique est d'étudier les données d'un échantillon afin d'en tirer des conclusions pour un ensemble d'éléments inconnus. Les méthodes paramétriques constituent un moyen d'y parvenir. Elles partent de l'hypothèse que l'ensemble d'éléments présente une distribution des probabilités prédéfinie qui est déterminée de manière univoque par un ou plusieurs paramètres. Les deux méthodes considérées se fondent sur la distribution selon la loi d'extremum généralisée (BLOCK) et, respectivement, sur la distribution selon la loi de Pareto généralisée (POT), car ces deux distributions reflètent au mieux la nature des données (maxima par blocs et données dépassant une certaine valeur seuil) (cf. Coles 2001).
Méthode de Block Maximum (BLOCK)	La méthode de Block Maximum (BLOCK) définit la valeur maximale enregistrée au cours d'un intervalle de temps (ou «bloc», qui correspond ici à une année) comme étant la valeur extrême (cf. guide de lecture point 2.1.1 ou Coles 2001, point 3.1).
Méthode de Peaks Over Threshold (POT)	La méthode de Peaks Over Threshold (POT) considère comme valeurs extrêmes celles qui dépassent une certaine valeur seuil u (exprimée en m ³ /s ou en l/s). Avant d'être utilisées, les données sont corrigées de l'effet cluster (cf. guide de lecture point 2.1.2 ou Coles 2001, point 4.2).

Probability Plot (P-P-Plot)	Outil d'appréciation graphique qui consiste à juxtaposer les fonctions de distribution de deux variables statistiques afin de comparer leurs distributions. Il s'agit ici des fréquences empiriques cumulées et des données cumulées de la fonction théorique. Plus les données s'alignent sur la première bissectrice, plus il est permis de penser que les hypothèses du modèle sont correctes. (Ce diagramme contient les mêmes informations que le Q-Q-Plot, représentées sur une autre échelle.)
Quantile Plot (Q-Q-Plot)	Outil d'appréciation graphique qui consiste à juxtaposer les quantiles de deux variables statistiques, afin de comparer leur distribution. Il s'agit ici des débits observés et des débits calculés à l'aide d'un modèle. Si les quantiles empiriques et théoriques coïncident approximativement, les valeurs se situeront près de la première bissectrice du graphique. (Ce diagramme contient les mêmes informations que le P-P-Plot, représentées sur une autre échelle.) Remarque : Les quantiles théoriques sont calculés à partir de la fonction inverse de la fonction de répartition. Les axes sont dès lors permutés pour permettre une comparaison visuelle directe avec le Probability Plot correspondant.
Stationnarité	Lorsque l'on observe, dans une station de mesure, que le mode d'écoulement n'affiche pas de modification sensible durant la période d'observation, il est recommandé d'appliquer un modèle stationnaire. Dans ce cas, on part de l'hypothèse que tous les paramètres de la fonction de répartition demeurent constants durant toute la période d'étude.
Non-stationnarité	Des modèles non stationnaires sont utilisés pour décrire un mode d'écoulement qui subit des changements au fil du temps. Ces modifications peuvent avoir différentes origines : changement d'appareils et de méthodes de mesure, déplacement de la station, modification du lit du cours d'eau ou influence anthropique. Si l'influence anthropique est en cause, il est le plus souvent impossible d'attribuer les changements observés à une seule intervention, car ils résultent de la combinaison de plusieurs mesures relevant de la gestion de l'eau. Lorsqu'une modification des données au fil du temps est probable, les paramètres de la fonction de répartition correspondante sont modélisés en fonction du temps. Par conséquent, les HQ_T établis par calcul changent également au fil du temps.
Fonction de répartition	Cette fonction décrit l'ensemble des débits de crue d'un bassin versant. Elle indique la probabilité qu'un débit de crue HQ soit atteint ou non au cours d'une année.
Distribution empirique	Cette distribution peut être déterminée à partir de l'échantillon choisi.
Distribution théorique de probabilités	Elle permet de passer de l'échantillon choisi à l'ensemble des éléments. Nombre de fonctions de distribution théorique remplissent les conditions pour s'appliquer en statistique des crues, mais aucune ne peut garantir les meilleurs résultats pour tous les échantillons.

Paramètres de distribution

κ Paramètre de forme (kappa)	Le paramètre de forme κ est en corrélation directe avec ce que l'on appelle la «Heaviness of Tail» de la distribution. Le Tail étant le domaine qui comprend les valeurs extrêmes supérieures. Lorsque κ est grand, le nombre de ces valeurs extrêmes est élevé. Lorsque κ est négatif, on admet au contraire que ces valeurs extrêmes restent en deçà d'une limite supérieure.
λ Taux d'occurrences (lambda)	Dans la méthode POT, ce paramètre correspond au nombre moyen de dépassements du seuil pendant l'intervalle d'une année.
μ Paramètre de position (mu)	Ce paramètre décrit la position moyenne des éléments d'un échantillon (ici, les débits observés) par rapport à l'échelle de mesure (en l'occurrence, m ³ /s ou l/s).
