



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

# Sarine - Fribourg

Explications additionnelles : [guide de lecture](#)

Contact : [hydroanalysen@bafu.admin.ch](mailto:hydroanalysen@bafu.admin.ch)

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Base de données</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Résultats des méthodes paramétriques</b>	<b>6</b>
2.1	Méthode de Block Maximum (BLOCK) . . . . .	7
2.1.1	Période d'étude totale : 1911-2015 . . . . .	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
2.1.3	Période d'étude à partir du point de rupture : 1949-2015 . . . . .	13
2.1.3.a	Variante stationnaire du modèle . . . . .	13
2.1.3.b	Variante non stationnaire du modèle . . . . .	15
2.2	Méthode de Peaks Over Threshold (POT) . . . . .	16
2.2.1	Période d'étude POT : 1974-2015 . . . . .	17
2.2.1.a	Variante stationnaire du modèle . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Comparaison des résultats</b>	<b>20</b>
3.1	Evaluation des différentes périodes d'étude . . . . .	20
3.2	Comparaison globale des diverses variantes . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>23</b>
<b>Annexe</b>		<b>24</b>
A	Détermination de la valeur seuil pour délimiter les valeurs extrêmes . . . . .	24
B	Glossaire . . . . .	25

# 1 Base de données

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

<b>Données disponibles</b>	<b>de</b>	<b>à</b>
Maxima mensuels sous forme numérique	01.01.1911	31.12.2015
Maxima journaliers sous forme numérique	01.01.1974	31.12.2015

Un limnigraphe a été mis en service le le 21. décembre 1910.

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 :

<b>Pointe de débit maximale</b>	<b>Date</b>	<b>Débit</b>
Maximum journalier le plus élevé	22.08.2005	750 m <sup>3</sup> /s
Maximum mensuel le plus élevé	22.08.2005	750 m <sup>3</sup> /s

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

<b>Mode d'écoulement</b>	<b>Description</b>
Régime d'écoulement	Ne peut pas être classé sans équivoque : Débits légèrement élevés d'avril à juillet.
Amplitude de la saisonnalité	Légèrement perceptible dans les maxima mensuels et journaliers. (figure 3 et figure 4)
Influences	Influence de deux lacs de retenue : Lac de la Gruyère 200 Mio. m <sup>3</sup> /s (1948), Lac de Montbovon 1.5 Mio. m <sup>3</sup> /s (1973). Plusieurs centrales au fil de l'eau n'ont pas d'impact sur les crues annuelles et mensuelles. Le débit a subi l'influence la plus forte après la mise en service du lac de la Gruyère 1948 : à peu d'exceptions près, les maxima annuels et mensuels sont nettement plus bas. (cf. figure 1 et 2)

Les maxima annuels varient entre 100 et 700 m<sup>3</sup>/s environ, les valeurs mesurées affichant une dispersion grande dans cette fourchette. Les maxima annuels ont enregistré une forte hausse depuis 1948 environ, une valeur élevée, exactement à 750 m<sup>3</sup>/s, a toutefois été observée une fois au cours de la période d'étude. Six des sept débits de crue les plus élevés ont toutefois été enregistrés avant 1948, tandis que 19 des 20 maxima annuels inférieurs à 200 m<sup>3</sup>/s ont été mesurés après cette année-là. L'analyse des points de rupture révèle un point de rupture significatif aux environs de 1957 (intervalle de confiance 1946 - 1967). Construite jusqu'à 1947, le lac de la Gruyère a éventuellement modifié le mode d'écoulement à partir de cette date. La mise en service de cette centrale, en 1948, apparaît clairement dans les figures 1 et 2. Compte tenu de la diminution des maxima et de la concordance avec l'analyse des points de ruptures, la série de données est subdivisée à partir de 1948.

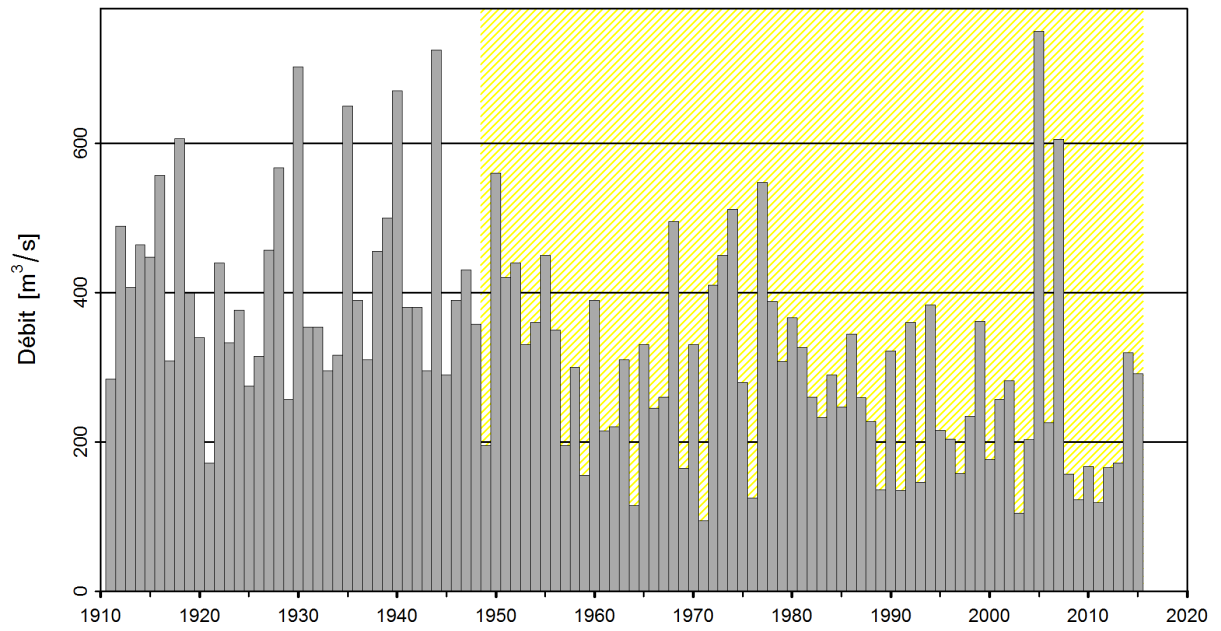


FIGURE 1 – Série chronologique des maxima annuels [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (1911 - 2015, Gris clair : maxima non pris en compte dans la statistique, gris foncé : maxima pris en compte durant toute la période d'étude, à partir de l'installation d'un limnigraphe.). Hachuré en jaune : période d'étude à partir du point de rupture (1949)

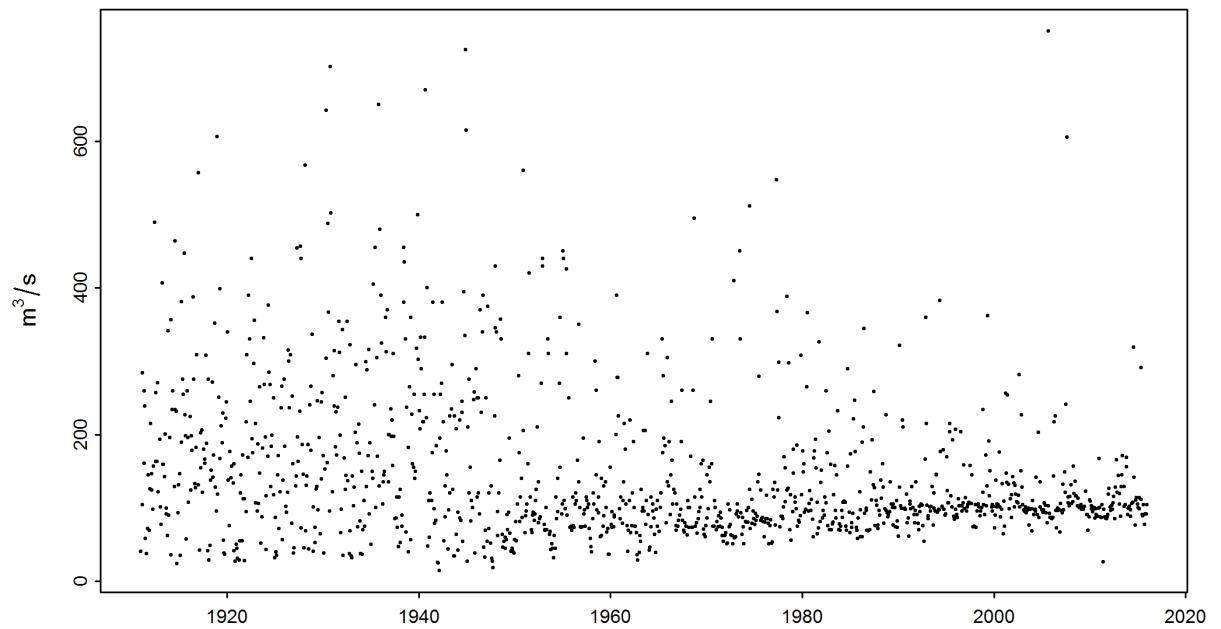


FIGURE 2 – Série chronologique des maxima mensuels [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1911 - 31.12.2015)

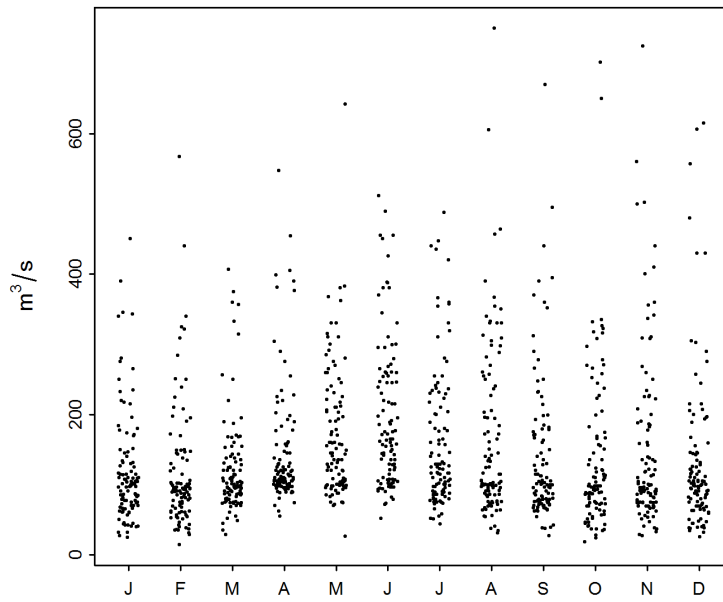


FIGURE 3 – Variations saisonnières des maxima mensuels [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1911 - 31.12.2015)

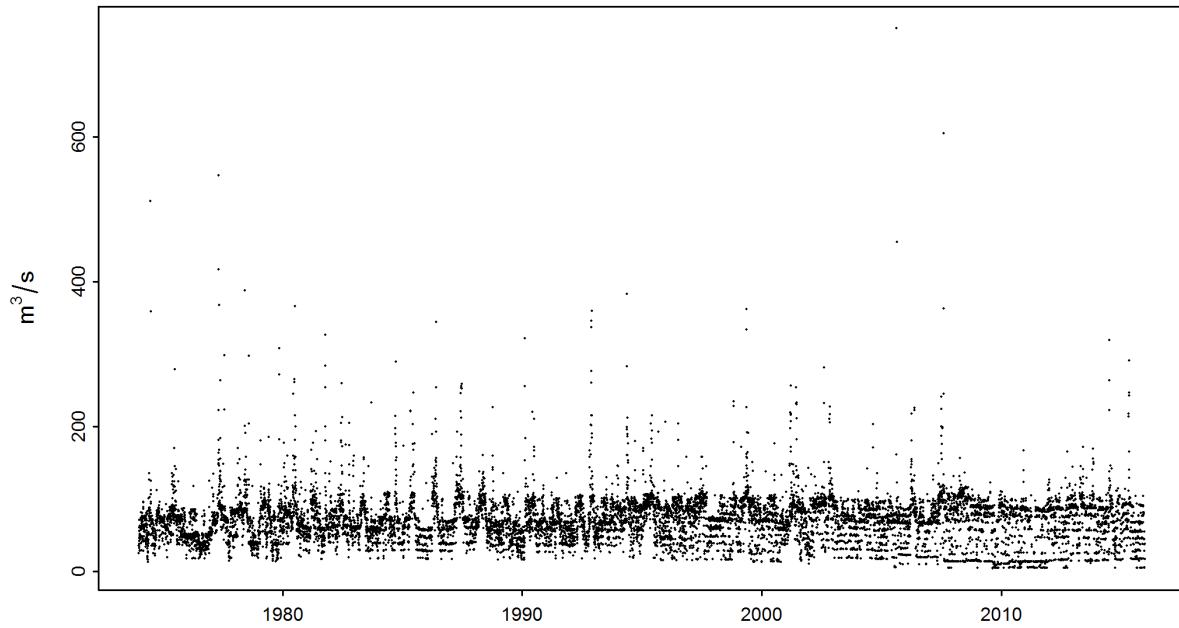


FIGURE 4 – Série chronologique des maxima journaliers [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.01.1974 - 31.12.2015)

### Conclusion concernant les variantes du modèle

<b>Changements</b>	<b>Impact</b>	<b>Conclusions</b>
Lac de retenue à partir de 1949	Les maxima annuels et mensuels sont plus bas	Probablement non stationnaire

### Analyse des points de rupture

<b>Année</b>	<b>Point de rupture significatif</b>	<b>Conclusions</b>
1948 / 1949	oui	Subdivision des données, car la documentation disponible sur la station et le bassin versant (construction d'une centrale hydroélectrique) explique le point de rupture.

## 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)	$\mu$ Paramètre de position	Maxima annuels
	$\sigma$ Paramètre d'échelle	
	$\kappa$ Paramètre de forme	
Peaks Over Threshold (POT)	$\lambda$ Taux d'occurrences	Maxima journaliers
	$\sigma$ Paramètre d'échelle <sup>1</sup>	
	$\kappa$ 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.  $\mu$  Paramètre de position (mu),  $\sigma$  Paramètre d'échelle (sigma),  $\kappa$  Paramètre de forme (kappa)

Variantes de la méthode BLOCK			
Nom	Description	Paramètre (t : année)	Nombre de paramètres
stat	Variante stationnaire	$\mu, \sigma, \kappa$	3
mul	Tendance linéaire de $\mu$	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma, \kappa$	4
muq	Tendance quadratique de $\mu$	$\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2, \sigma, \kappa$	5
sigl	Tendance linéaire de $\sigma$	$\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	4
musigl	Tendance linéaire de $\mu$ et $\sigma$	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	5
mujump	Évolution non continue de $\mu$ 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.  $\sigma$  Paramètre d'échelle (sigma),  $\kappa$  Paramètre de forme (kappa)

Variantes de la méthode POT			
Nom	Description	Paramètre (t : année)	Nombre de paramètres
stat	Variante stationnaire	$\sigma, \kappa$	2
sigl	Tendance linéaire de $\sigma$	$\sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	3
sigjump	Évolution non continue de $\sigma$ 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  $\sigma$  de la méthode POT n'est pas identique à celle du paramètre d'échelle  $\sigma$  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
1911 - 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
1949 - 2015	période d'étude à partir du point de rupture	stat	point 2.1.3.a
		mul	point 2.1.3.b

### 2.1.1 Période d'étude totale : 1911-2015

#### 2.1.1.a Variante stationnaire du modèle

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
BLOCK	stat	1911-2015	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 $\hat{\kappa}$
105	269.61	120.64	-0.0569

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.



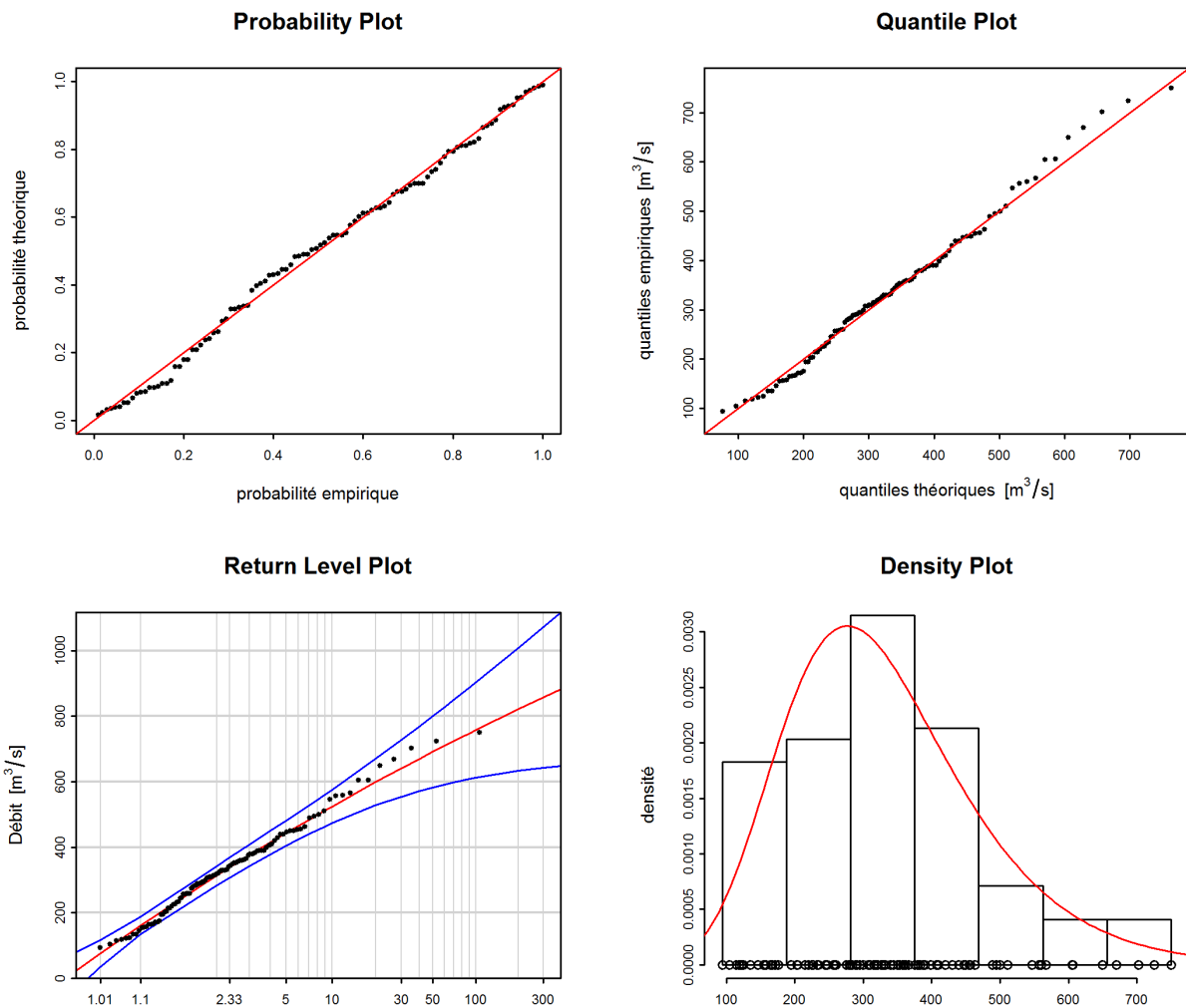


FIGURE 5 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode BLOCK(1911-2015)

**Evaluation des graphiques diagnostiques (figure 5) :**

Critères	Evaluation <sup>2</sup>	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	bonne-moyenne	plusieurs valeurs sont légèrement sous-estimées; l'estimation de la valeur la plus élevée est proche de la réalité
Intervalle de confiance	faible	légèrement plus grand pour des périodes de retour grandes

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 1911-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ <sub>T</sub>	Limite de confiance inférieure [m <sup>3</sup> /s]	Débit [m <sup>3</sup> /s]	Limite de confiance supérieure [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	285	313	342
HQ <sub>10</sub>	474	524	575
HQ <sub>30</sub>	555	641	727
HQ <sub>100</sub>	612	758	903
HQ <sub>300</sub>	642	857	1072

### 2.1.1.b Variante non stationnaire du modèle

La comparaison des différentes variantes de la méthode BLOCK montre que les variantes «mul», «muq», «musigl» und «mujump» s'écartent de manière significative de la variante stationnaire («stat»).<sup>3</sup> 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 «mujump» et «mul» sont minimales. 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	mujump1949	1911-2015	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 $\hat{\kappa}$
	$a_1$	$a_2$		
105	353.91	-126.5	102.06	0.0083

La qualité de la variante «mujump1949» pour la période d'étude totale est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 6.

3. Sur la base de l'analyse des points de rupture, l'année 1949 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)

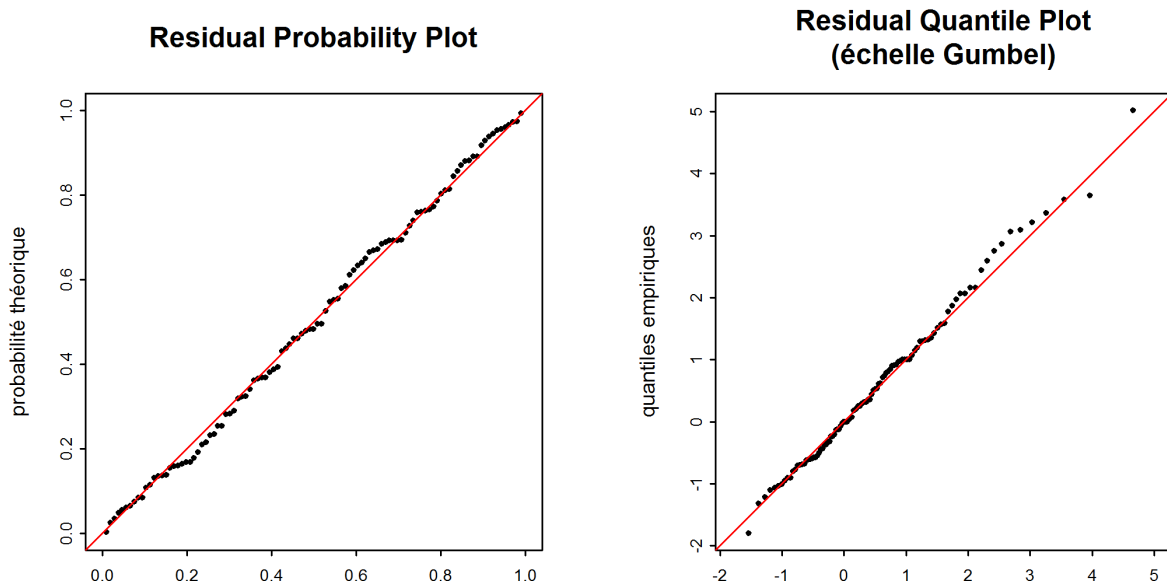


FIGURE 6 – Graphiques diagnostiques de la variante «mujump1949» de la méthode BLOCK (1911-2015)

#### Évaluation des graphiques diagnostiques (Figure 6) :

Critères	Evaluation <sup>5</sup>	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	bonne-moyenne	plusieurs valeurs sont légèrement sous-estimées ou surestimées
Comparaison avec la variante stationnaire	qualité identique	quelques-unes des valeurs sont plus proches de la première bissectrice, mais la valeur la plus élevée est moins bonne documentée

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 «mujump1949» de la méthode BLOCK sur la période d'étude totale 1911-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ <sub>T</sub>	Limite de confiance inférieure [m <sup>3</sup> /s]	Débit [m <sup>3</sup> /s]	Limite de confiance supérieure [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	236	265	293
HQ <sub>10</sub>	407	459	512
HQ <sub>30</sub>	486	578	669
HQ <sub>100</sub>	547	706	865
HQ <sub>300</sub>	580	823	1066

La figure 7 illustre la modification entre 1911 et 2015 du débit HQ<sub>100</sub> calculé à l'aide de la variante «mujump1949».

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

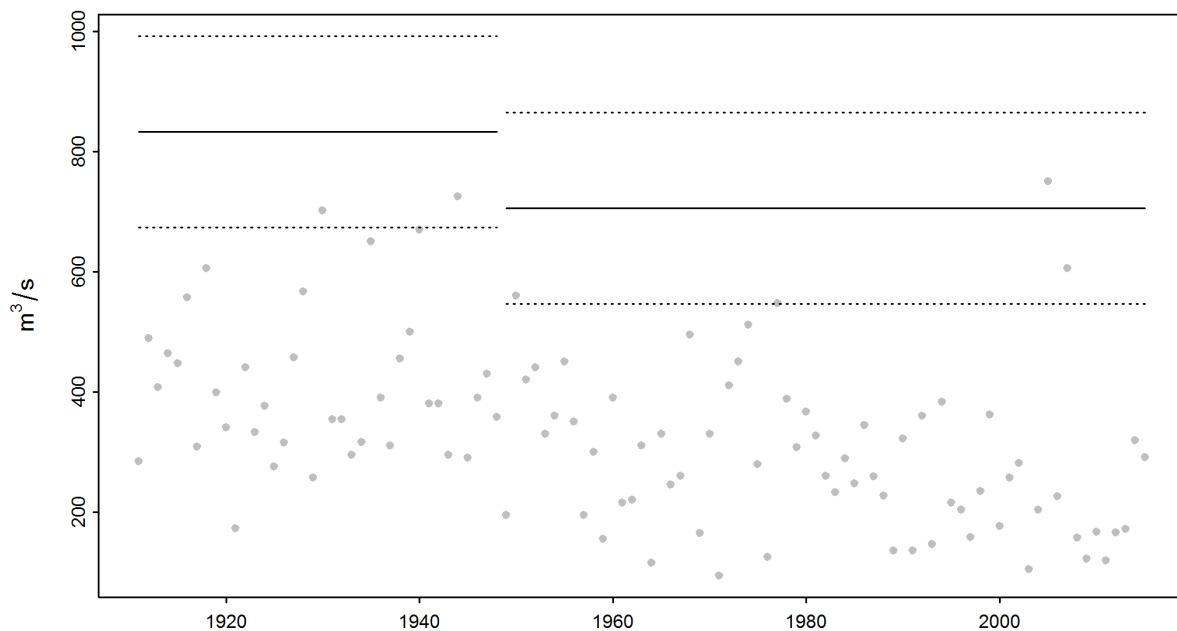


FIGURE 7 – Modification des  $HQ_{100}$  (calculés à l'aide de la variante «mujump1949») et de l'intervalle de confiance à 95 % (méthode delta ; lignes en traitillé) durant la période 1911-2015

## 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	205.88	86.17	0.186

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.

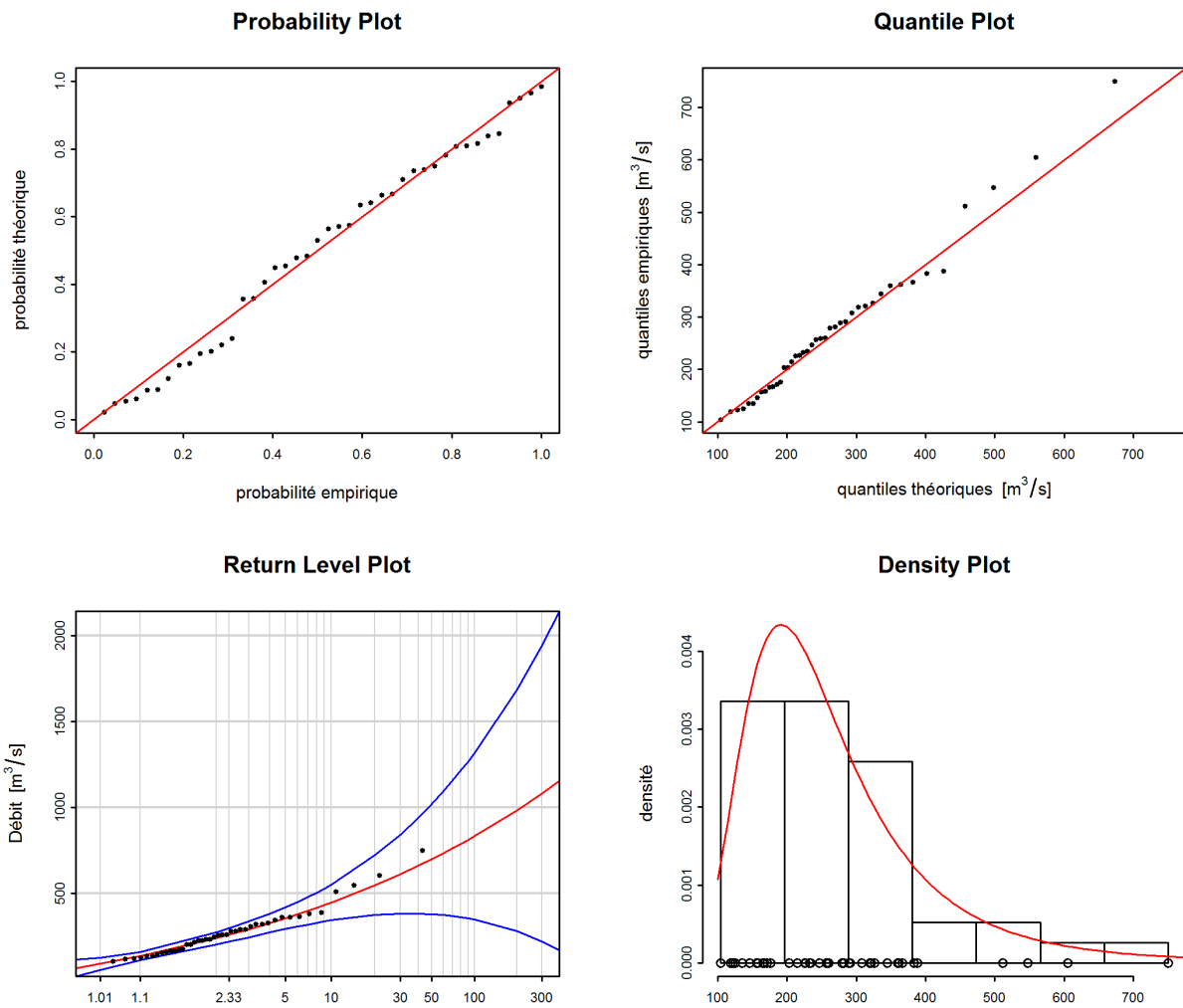


FIGURE 8 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode BLOCK (1974-2015)

**Evaluation des graphiques diagnostiques (figure 8) :**

Critères	Evaluation <sup>6</sup>	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne	les quatre valeurs les plus élevées sont sous-estimées
Intervalle de confiance	élevé	extrêmement grand pour des périodes de retour grandes

6. 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 de comparaison 1974-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

<b>HQ<sub>T</sub></b>	<b>Limite de confiance inférieure [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Débit [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Limite de confiance supérieure [m<sup>3</sup>/s]</b>
HQ <sub>2</sub>	202	239	275
HQ <sub>10</sub>	343	447	550
HQ <sub>30</sub>	382	612	842
HQ <sub>100</sub>	348	833	1317
HQ <sub>300</sub>	221	1081	1940

### 2.1.3 Période d'étude à partir du point de rupture : 1949-2015

#### 2.1.3.a Variante stationnaire du modèle

<b>Méthode</b>	<b>Variante</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>Données d'entrée</b>	<b>Remarque</b>
BLOCK	stat	1949-2015	Maxima annuels	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

<b>Nombre de valeurs n</b>	<b>Paramètre de position <math>\hat{\mu}</math></b>	<b>Paramètre d'échelle <math>\hat{\sigma}</math></b>	<b>Paramètre de forme <math>\hat{\kappa}</math></b>
67	225.25	99.99	0.0424

La qualité de la variante «stat» pour la période d'étude à partir du point de rupture est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 9.

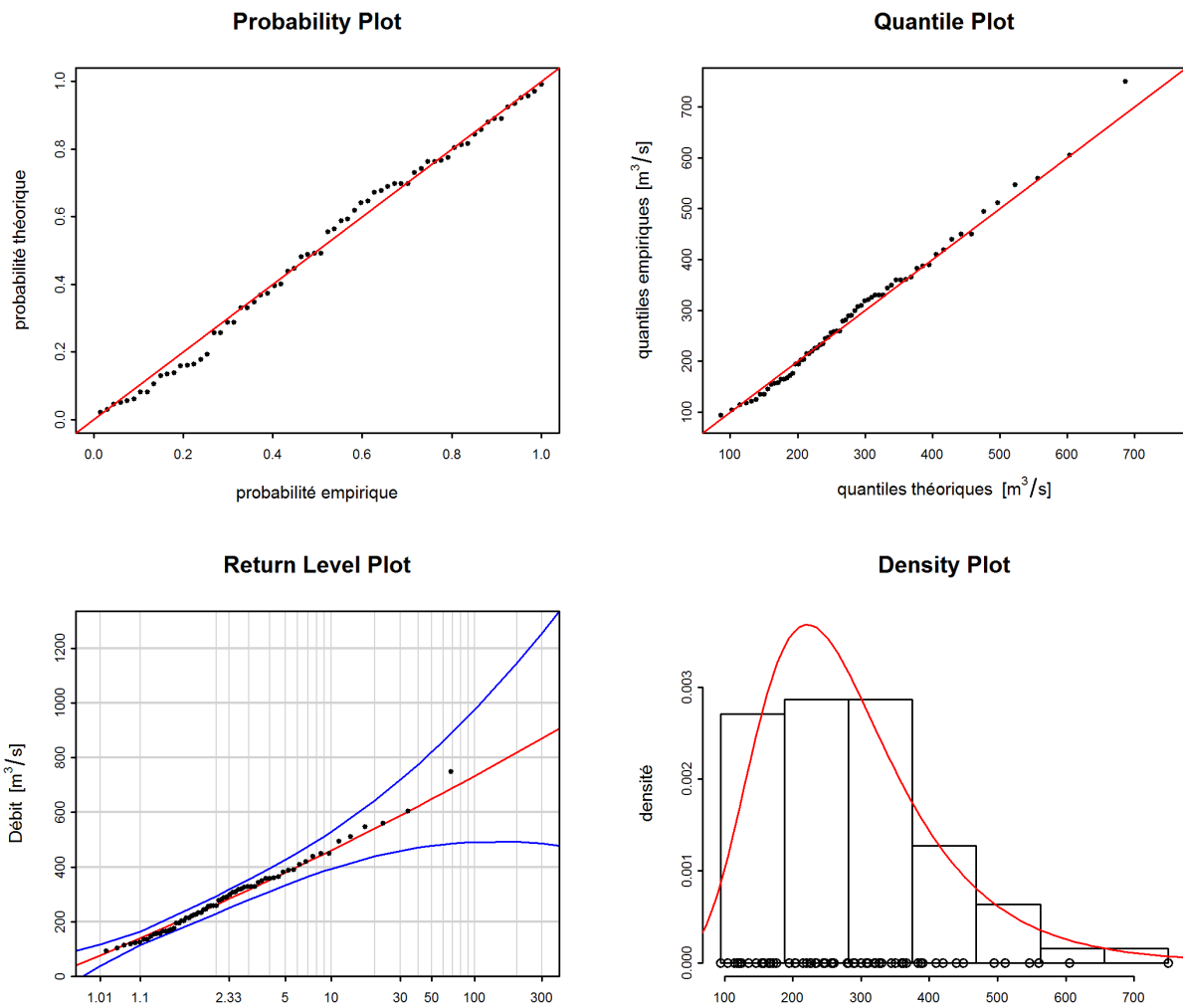


FIGURE 9 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode BLOCK (1949-2015)

**Evaluation des graphiques diagnostiques (Figure 9) :**

Critères	Evaluation <sup>7</sup>	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	bonne-moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
Intervalle de confiance	moyen-élevé	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 BLOCK sur la période d'étude à partir du point de rupture 1949-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ <sub>T</sub>	Limite de confiance inférieure [m <sup>3</sup> /s]	Débit [m <sup>3</sup> /s]	Limite de confiance supérieure [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	231	262	294
HQ <sub>10</sub>	394	461	529
HQ <sub>30</sub>	459	589	719
HQ <sub>100</sub>	492	733	975
HQ <sub>300</sub>	486	870	1255

### 2.1.3.b Variante non stationnaire du modèle

La comparaison des différentes variantes de la méthode BLOCK durant la période à partir du point de rupture montre que seulement la variante «mul» diffère de manière significative du modèle stationnaire.<sup>8</sup> Ses résultats sont reproduits ci-après (cf. figure 5 dans le [guide de lecture](#)).

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
BLOCK	mul	1949-2015	Maxima annuels	-

Nombre de valeurs utilisées et estimation des valeurs paramétriques :

Nombre de valeurs n	Paramètre de position $\hat{\mu}^9$		Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$	Paramètre de forme $\hat{\kappa}$
	$a_1$	$a_2$		
67	274.97	-1.35	98.61	0.0142

La qualité de la variante «mul» pour la période d'étude à partir du point de rupture est évaluée sur une base graphique à l'aide des graphiques diagnostiques de la figure 10.

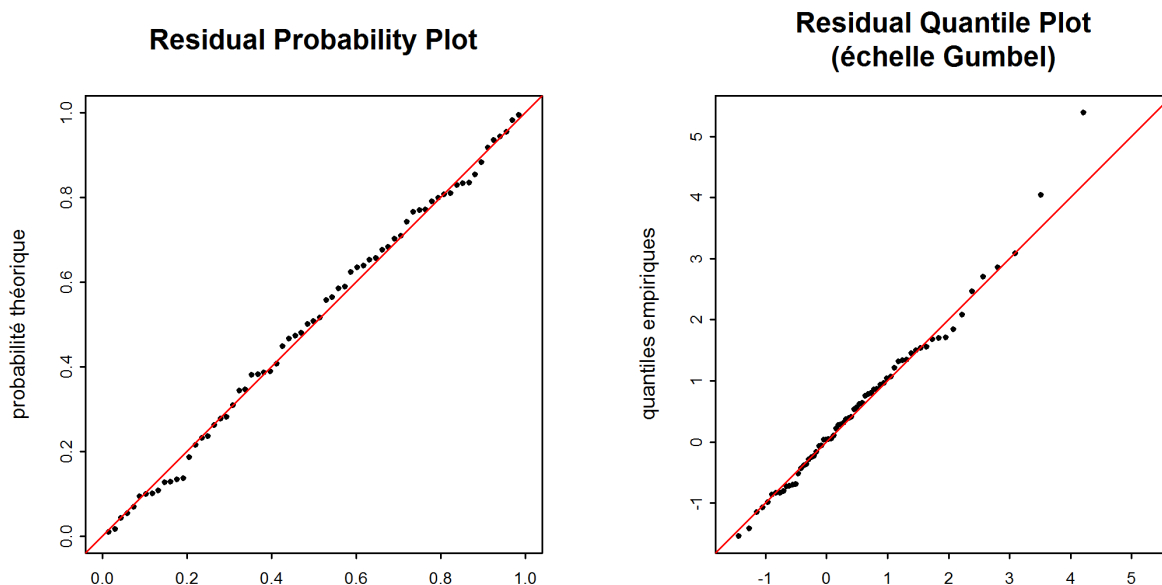


FIGURE 10 – Graphiques diagnostiques de la variante «mul» de la méthode BLOCK (1949-2015)

8. Sur la base de l'analyse des points de rupture, l'année 1949 est choisie comme temps  $t_0$  pour la variante «mujump» (cf. point 1).

9.  $\hat{\mu} = a_1 + a_2 \cdot t$  (cf. tableau 1)



## Évaluation des graphiques diagnostiques (Figure 10) :

Critères	Évaluation <sup>10</sup>	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne-moyenne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne-médiocre	la valeur la plus élevée est nettement sous-estimée
Comparaison avec la variante stationnaire	moins bonne	la valeur la plus élevée est plus nettement sous-estimée

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 «mul» de la méthode BLOCK sur la période d'étude à partir du point de rupture 1949-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ <sub>T</sub>	Limite de confiance inférieure [m <sup>3</sup> /s]	Débit [m <sup>3</sup> /s]	Limite de confiance supérieure [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	173	221	269
HQ <sub>10</sub>	336	410	485
HQ <sub>30</sub>	407	527	647
HQ <sub>100</sub>	454	654	853
HQ <sub>300</sub>	470	770	1070

La figure 11 illustre la modification entre 1949 et 2015 du débit HQ<sub>100</sub> calculé à l'aide de la variante «mul».

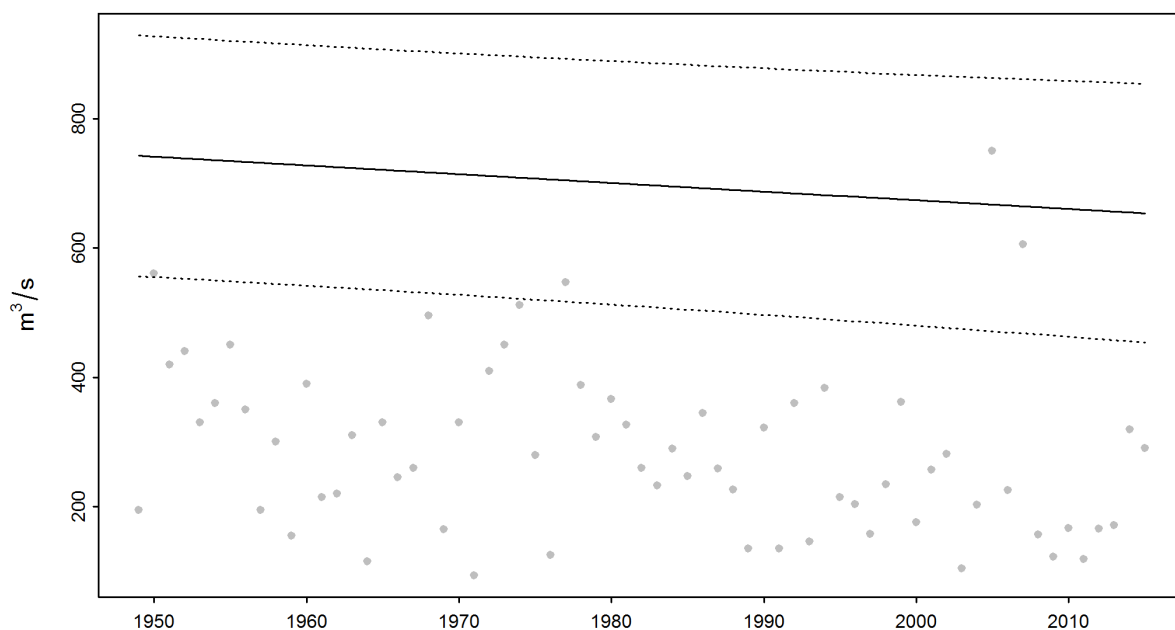


FIGURE 11 – Modification des HQ<sub>100</sub> (calculés à l'aide de la variante «mul») et de l'intervalle de confiance à 95 % (méthode delta; lignes en traitillé) durant la période 1949-2015

## 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.

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

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 Sarine - Fribourg, 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

Aucune différence significative ne sépare la variante stationnaire et les variantes non stationnaires du modèle sur la période d'étude POT.<sup>11</sup>

### 2.2.1 Période d'étude POT : 1974-2015

Dans ce cas, la valeur seuil  $u$  a été fixée à  $172 \text{ m}^3/\text{s}$  (cf. annexe A). La figure 12 indique les événements extrêmes qui ont effectivement été utilisés.

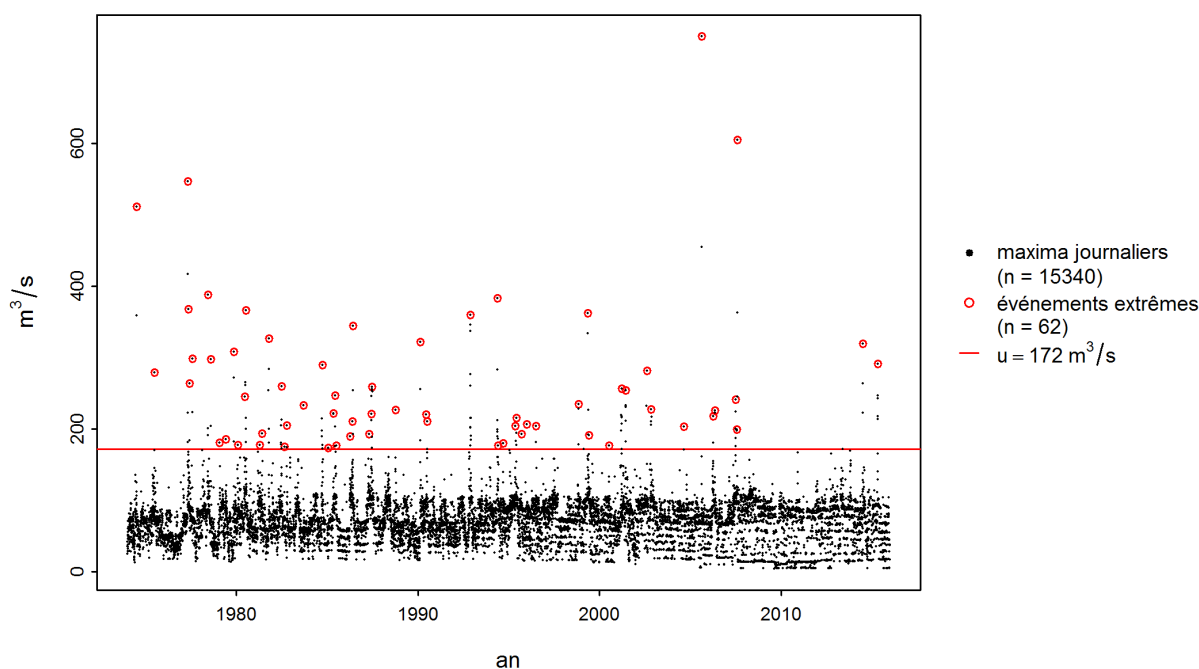


FIGURE 12 – Sélection des valeurs extrêmes utilisées dans la méthode POT

#### 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
$u$	$n$	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$172 \text{ m}^3/\text{s}$	62	1.48	84.37	0.1263

La qualité de la variante «stat» pour la période d'étude POT est évaluée sur une base graphique à l'aide

11. L'année 1995 a été choisie comme  $t_0$  pour la variante «sigjump» du modèle.

des graphiques diagnostiques de la figure 13.

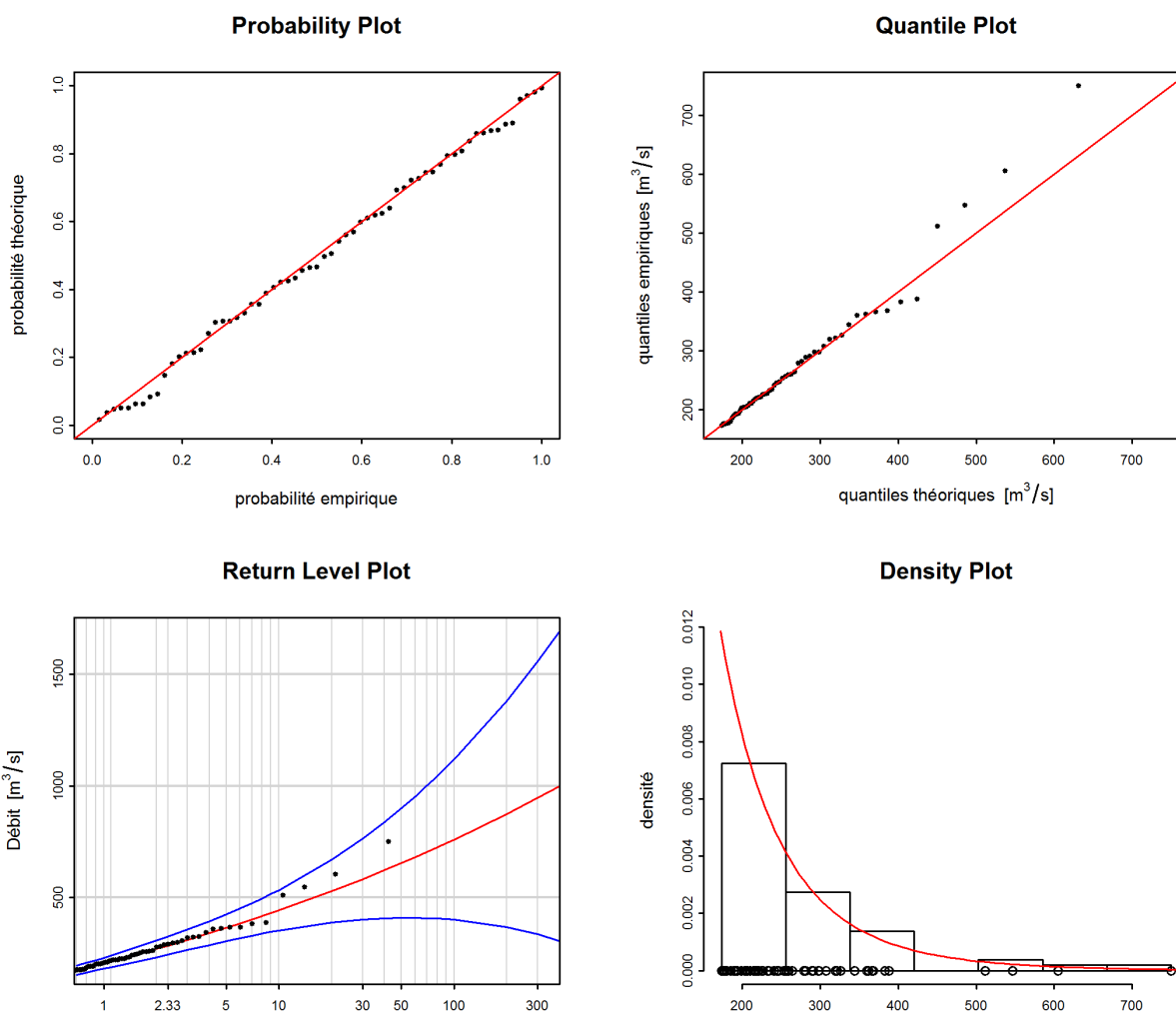


FIGURE 13 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode POT (1974-2015)

**Evaluation des graphiques diagnostiques (Figure 13) :**

Critères	Evaluation <sup>12</sup>	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne-moyenne	dispersion des valeurs modérée
Adéquation dans le domaine supérieur	moyenne-médiocre	les quatre valeurs les plus élevées sont nettement sous-estimées
Intervalle de confiance	élevé	extrêmement grand pour des périodes de retour grands

12. 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) :

<b>HQ<sub>T</sub></b>	<b>Limite de confiance inférieure [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Débit [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Limite de confiance supérieure [m<sup>3</sup>/s]</b>
HQ <sub>2</sub>	233	270	307
HQ <sub>10</sub>	352	443	533
HQ <sub>30</sub>	401	582	764
HQ <sub>100</sub>	400	759	1119
HQ <sub>300</sub>	335	946	1557

### 3 Comparaison des résultats

La figure 14 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 1911 - 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	valeurs plus bas pour des périodes de retour petites et plus élevées pour des périodes de retour grandes	nettement plus grand dans la période de comparaison
Période à partir du point de rupture / Période d'étude totale	valeurs légèrement plus élevées pour des périodes de retour petites	légèrement plus grand dans la période de comparaison
Période à partir du point de rupture / Période de comparaison	valeurs légèrement tant plus élevées que plus bas dans la période à partir du point de rupture	nettement plus grand dans la période de comparaison

En moyenne, le débit des crues annuelles a baissé après 1949. Les niveaux de retour ( $HQ_T$ ) sont dès lors plus élevés durant la période d'étude totale pour des périodes de retour petites et moyennes. Comme le débit le plus élevé a été mesuré en 2005, le niveau de retour calculé pour la période de comparaison est supérieur pour les grandes périodes de retour. Vu le petit nombre de données disponibles, l'intervalle de confiance est beaucoup 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 14 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

Les  $HQ_T$  de la méthode POT sont tant supérieur que inférieur à ceux de la méthode BLOCK pour la période de comparaison. Une comparaison avec les résultats de la méthode BLOCK pour la période d'étude totale débouche sur le même constat.

##### 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 BLOCK sont légèrement plus élevés.

##### Comparaison entre variantes stationnaires et variantes non stationnaires :

Dans le cas de la méthode BLOCK pour la période d'étude totale, l'application d'une variante non stationnaire n'améliore pas la qualité du modèle, même si la diminution de la fréquence de grandes crues au cours de ces dernières années est prise en compte dans le modèle. En raison du débit maximal enregistré en 2005, la discontinuité dans le modèle ne produit plus d'effet visible pour les périodes de retour plus grandes. Les niveaux de retour calculés pour l'année 2015 sont par conséquent inférieurs à ceux obtenus à l'aide de la variante stationnaire pour les périodes de retour petites.

Dans le cas de méthode BLOCK pour la période d'étude totale, l'application d'une variante non stationnaire détériore la qualité du modèle, car elle sous-estime encore davantage la valeur la plus élevée. 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).

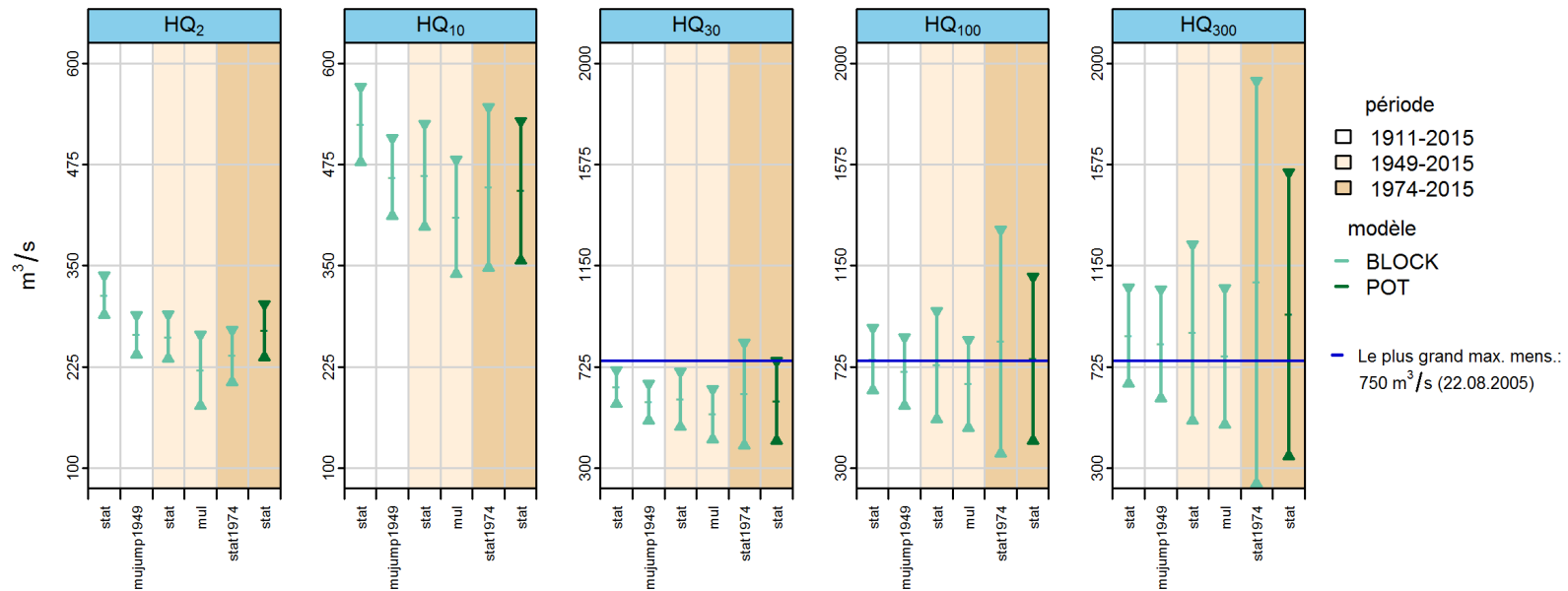


FIGURE 14 –  $HQ_T$  [ $m^3/s$ ] y c. un intervalle de confiance à 95 % calculé à l'aide du modèle stationnaire ainsi qu'au moyen de la meilleure variante de la méthode BLOCK et POT pour l'année 2015

Période d'étude	Méthode	Adéquation			Remarque
1911 - 2015	BLOCK stat	bonne	bonne	bonne-moyenne	plusieurs valeurs sont légèrement sous-estimées ; l'estimation de la valeur la plus élevée est proche de la réalité
	BLOCK mujump1949	bonne	bonne	bonne-moyenne	plusieurs valeurs sont légèrement sous-estimées ou surestimées quelques-unes des valeurs sont plus proches de la première bissectrice, mais la valeur la plus élevée est moins bonne documentée
1974 - 2015	BLOCK stat	bonne	bonne	moyenne	les quatre valeurs les plus élevées sont sous-estimées
1949 - 2015	BLOCK stat	bonne	bonne	bonne-moyenne	la valeur la plus élevée est sous-estimée
	BLOCK mul	bonne	bonne-moyenne	moyenne-médiocre	la valeur la plus élevée est nettement sous-estimée
1974 - 2015	POT stat	bonne	bonne-moyenne	moyenne-médiocre	les quatre valeurs les plus élevées sont nettement sous-estimées

## 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  $172 \text{ m}^3/\text{s}$  au moyen du «mean residual life plot» (cf. figure 15).

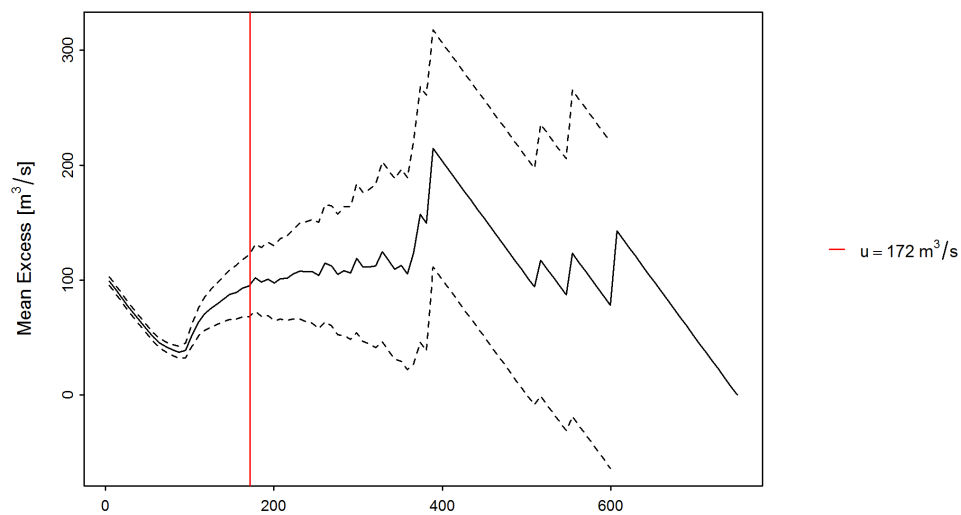


FIGURE 15 – «mean residual life plot» avec le seuil déterminé  $u$  (ligne rouge), dépassement moyen (ligne noire), intervalle de confiance à 95 % (traitillés)

## 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 <sub>T</sub>	Débit de crue déterminé à l'aide d'une fonction de répartition pour une période de retour prédéfinie. Le débit HQ <sub>T</sub> 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 <sub>T</sub> est également appelé «temps de retour». Les HQ <sub>T</sub> 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. <a href="#">guide de lecture</a> 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 <sup>3</sup> /s ou en l/s). Avant d'être utilisées, les données sont corrigées de l'effet cluster (cf. <a href="#">guide de lecture</a> 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

---

$\kappa$ Paramètre de forme (kappa)	Le paramètre de forme $\kappa$ 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 $\kappa$ est grand, le nombre de ces valeurs extrêmes est élevé. Lorsque $\kappa$ est négatif, on admet au contraire que ces valeurs extrêmes restent en deçà d'une limite supérieure.
$\lambda$ Taux d'occurrences (lambda)	Dans la méthode POT, ce paramètre correspond au nombre moyen de dépassements du seuil pendant l'intervalle d'une année.
$\mu$ 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 <sup>3</sup> /s ou l/s).

---