



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

Sorne - Delémont

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 : 1983-2015	7
2.1.1.a	Variante stationnaire du modèle	7
2.2	Méthode de Peaks Over Threshold (POT)	9
2.2.1	Période d'étude POT : 1983-2015	10
2.2.1.a	Variante stationnaire du modèle	10
3	Comparaison des résultats	13
3.1	Evaluation des différentes périodes d'étude	13
3.2	Comparaison globale des diverses variantes	13
4	Bibliographie	15
	Annexe	16
A	Détermination de la valeur seuil pour délimiter les valeurs extrêmes	16
B	Glossaire	17

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	01.07.1982	31.12.2015
Maxima journaliers sous forme numérique	01.01.1983	31.12.2015

Un limnigraphe a été mis en service le le 01. juin 1982.

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	09.08.2007	90 m ³ /s
Maximum mensuel le plus élevé	09.08.2007	90 m ³ /s

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

Mode d'écoulement	Description
Régime d'écoulement	Pluvial jurassien : Débits plutôt élevés au printemps et en hiver, plutôt faibles en automne et en été
Amplitude de la saisonnalité	Perceptible dans les maxima mensuels et journaliers. (figure 3 et figure 4)
Influences	Influence de deux centrales au fil de l'eau dans le bassin versant. L'influence existante ayant commencé à se faire sentir avant la période d'étude, elle n'apparaît pas dans les données recueillies (cf. figure 2).

Les maxima annuels varient entre 20 et 90 m³/s environ, les valeurs mesurées affichant une dispersion grande dans cette fourchette. La plupart des valeurs se situent entre 30 et 50 m³/s. L'analyse des points de rupture révèle un point de ruptur non significatif aux environs de 2006 (intervalle de confiance non calculable), qui n'a pas d'explication hydrologique. Trois des quatre maxima annuels les plus élevés ont été mesurés depuis, alors qu'aucun maximum annuel n'a été inférieur à 25 m³/s. Dans la période d'étude totale, aucun facteur d'influence susceptible d'avoir un impact sur le mode d'écoulement n'est connu dans la région.

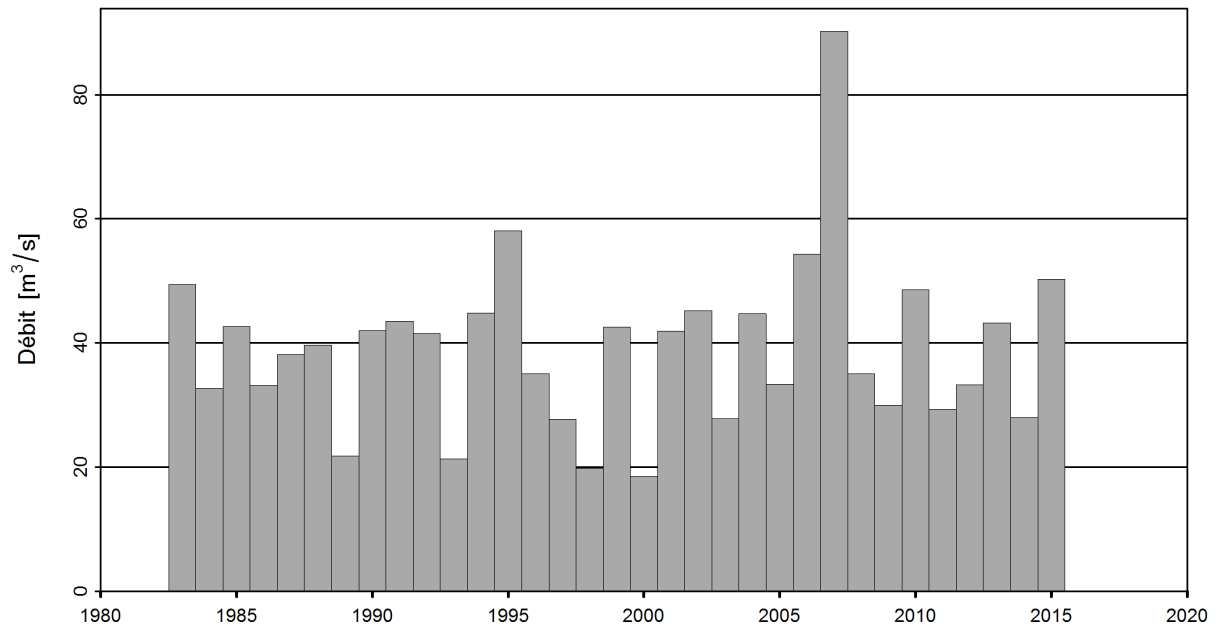


FIGURE 1 – Série chronologique des maxima annuels [m^3/s] (1982 - 2015, gris foncé : maxima annuels pris en compte)

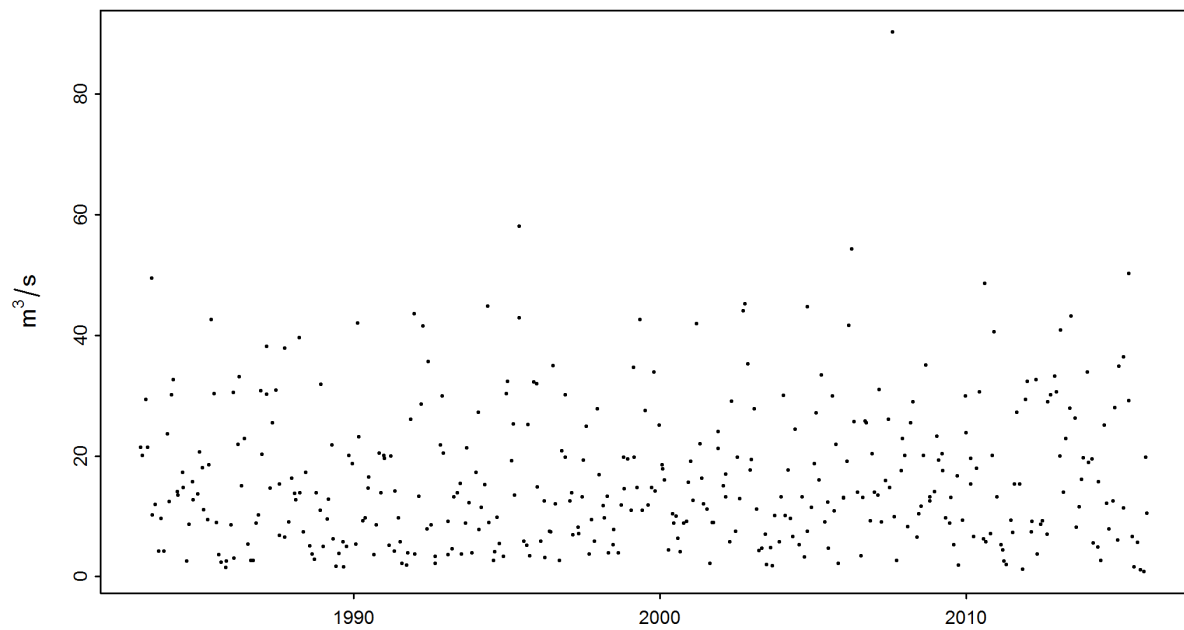


FIGURE 2 – Série chronologique des maxima mensuels [m^3/s] (01.01.1983 - 31.12.2015)

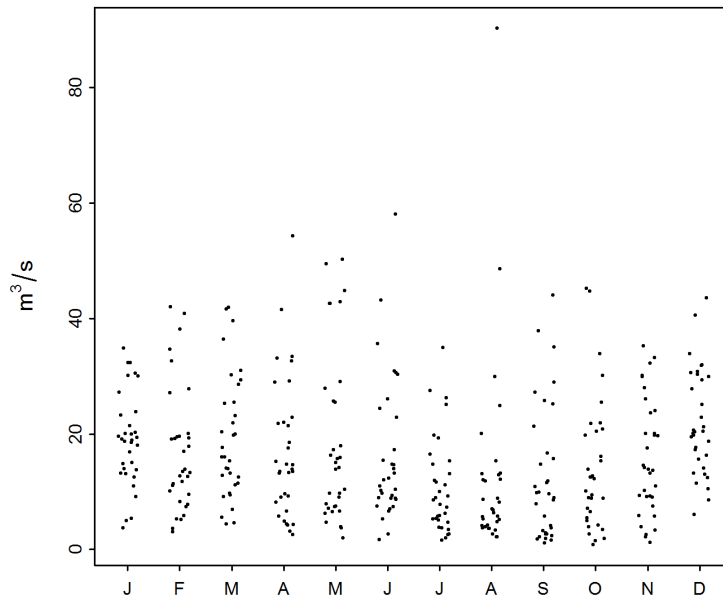


FIGURE 3 – Variations saisonnières des maxima mensuels [m^3/s] (01.01.1983 - 31.12.2015)

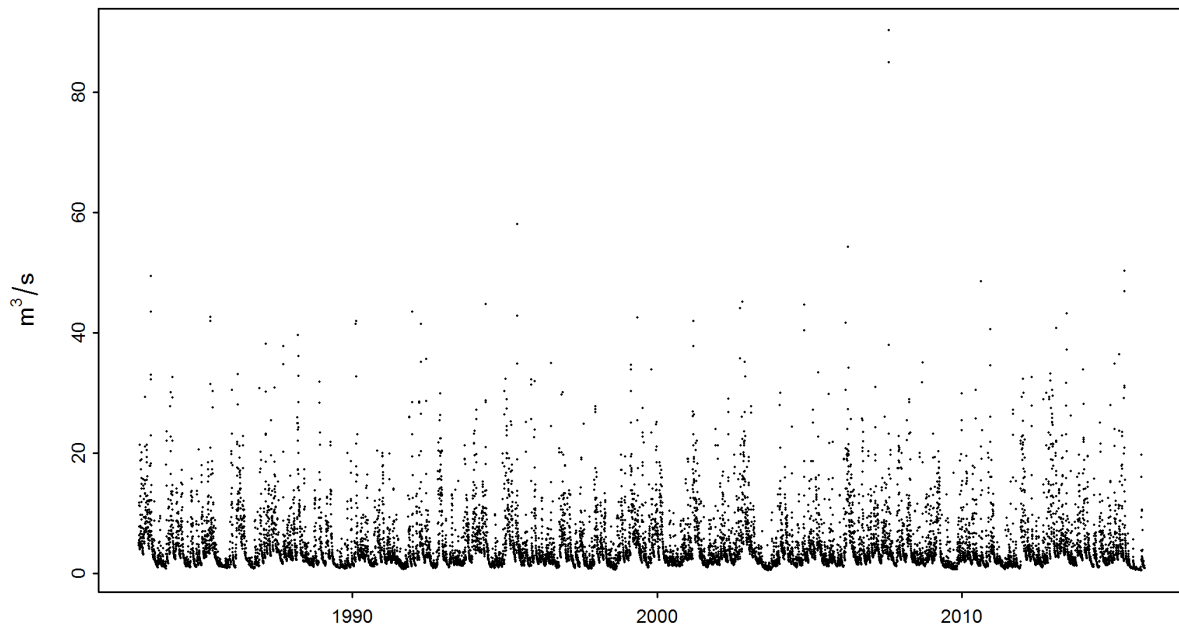


FIGURE 4 – Série chronologique des maxima journaliers [m^3/s] (01.01.1983 - 31.12.2015)

Conclusion concernant les variantes du modèle

Changement	Impact	Conclusions
aucune n'est connue	-	probablement stationnaire

Analyse des points de rupture

Année	Point de rupture significatif	Conclusions
2005 / 2006	non	Pas de subdivision de la période d'étude, car la documentation concernant la station et le bassin versant ne la justifient pas. L'année 2006 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
1983 - 2015	période d'étude totale	stat	point 2.1.1.a

Aucune différence significative ne sépare la variante stationnaire et les variantes non stationnaires du modèle sur la période d'étude totale.²

2.1.1 Période d'étude totale : 1983-2015

2.1.1.a Variante stationnaire du modèle

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
BLOCK	stat	1983-2015	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 $\hat{\kappa}$
33	33.2	10.48	-0.0137

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.

2. L'année 2006 a été choisie comme t_0 pour la variante «mujump» du modèle.

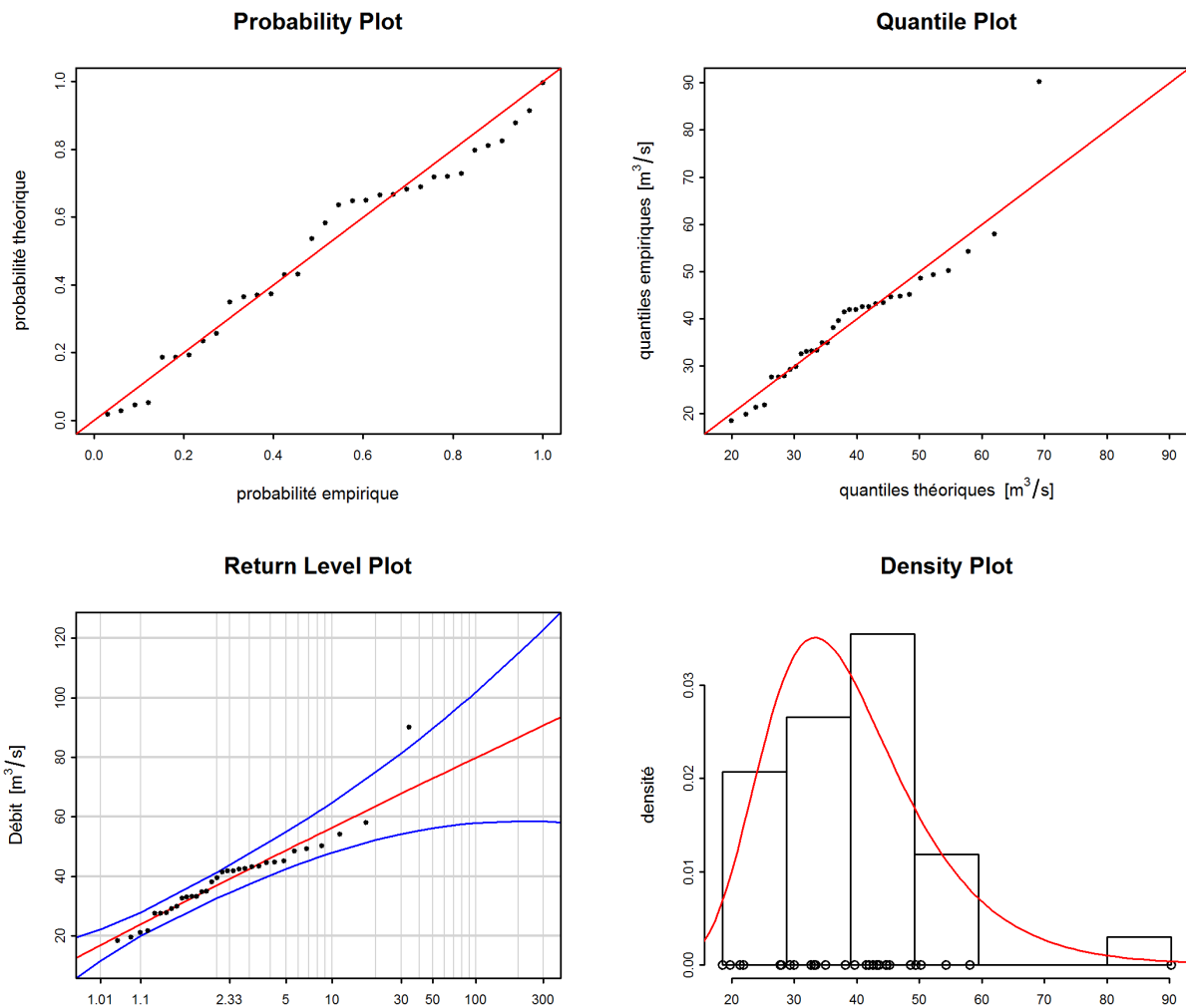


FIGURE 5 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode BLOCK(1983-2015)

Evaluation des graphiques diagnostiques (figure 5) :

Critères	Evaluation ³	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne-moyenne	-
Adéquation dans le domaine moyen	moyenne	plusieurs des valeurs sous-estimées
Adéquation dans le domaine supérieur	médiocre	valeur la plus élevée fortement sous-estimée
Intervalle de confiance	élevé	très grand pour des périodes de retour grandes

3. 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 1983-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ_T	Limite de confiance inférieure [m³/s]	Débit [m³/s]	Limite de confiance supérieure [m³/s]
HQ ₂	32.7	37	41.4
HQ ₁₀	48	56.4	64.8
HQ ₃₀	54.3	67.8	81.4
HQ ₁₀₀	57.9	79.9	102
HQ ₃₀₀	58.5	90.6	123

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 1983. Auparavant, il importe toutefois de corriger ces données de l'effet cluster. Dans le cas de Sorne - Delémont, l'intervalle de temps L entre deux événements indépendants est fixé à 11 jours au minimum.

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

Période d'étude	Description	Variante sélection- née	Point
1983 - 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 POT⁴

4. L'année 2006 a été choisie comme t_0 pour la variante «sigjump» du modèle.

2.2.1 Période d' étude POT : 1983-2015

Dans ce cas, la valeur seuil u a été fixée à $29 \text{ m}^3/\text{s}$ (cf. annexe A). La figure 6 indique les événements extrêmes qui ont effectivement été utilisés.

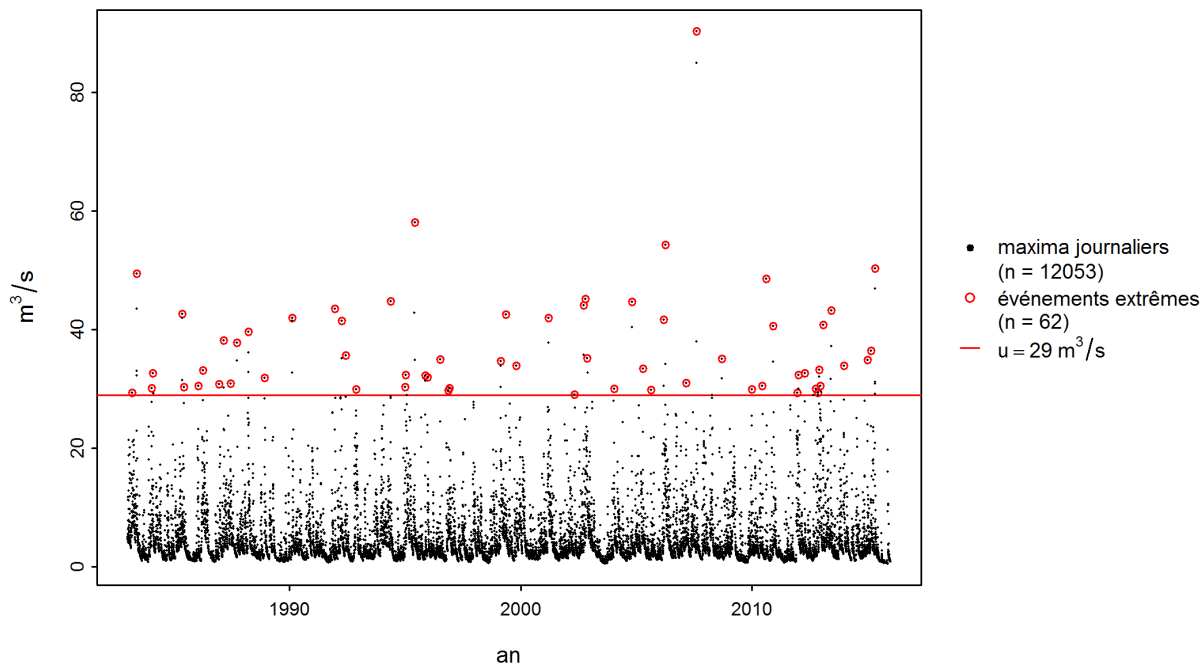


FIGURE 6 – Sélection des valeurs extrêmes utilisées dans la méthode POT

2.2.1.a Variante stationnaire du modèle

Méthode	Variante	Période d'étude	Données d'entrée	Remarque
POT	stat	1983-2015	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	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$29 \text{ m}^3/\text{s}$	62	1.88	7.06	0.1422

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 7.

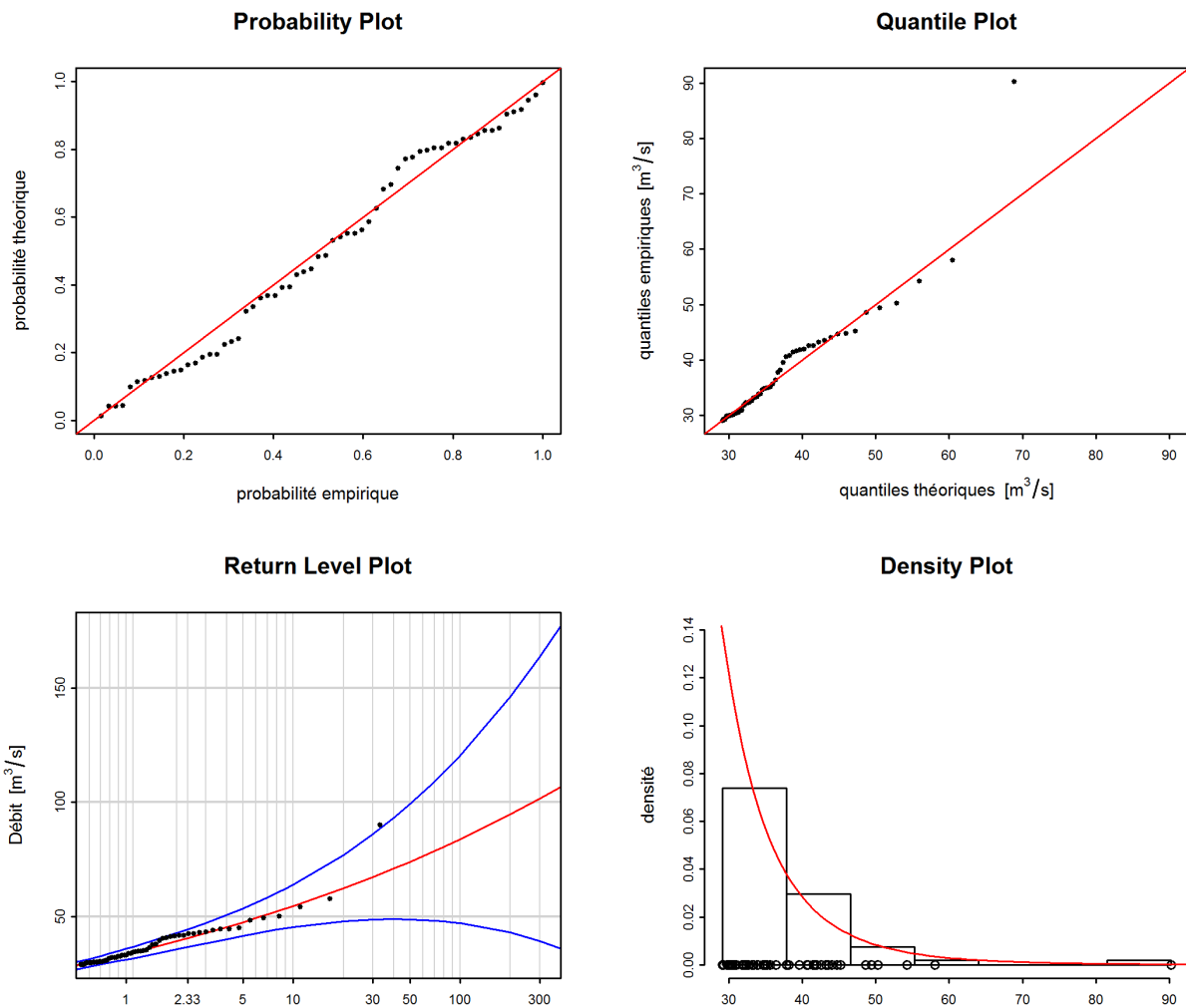


FIGURE 7 – Graphiques diagnostiques de la variante «stat» de la méthode POT (1983-2015)

Evaluation des graphiques diagnostiques (Figure 7) :

Critères	Evaluation ⁵	Remarques
Adéquation dans le domaine inférieur	bonne	-
Adéquation dans le domaine moyen	bonne	-
Adéquation dans le domaine supérieur	médiocre	valeur la plus élevée fortement sous-estimée
Intervalle de confiance	élevé	extrêmement grand pour des périodes de retour grandes

5. 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 1983-2015 (y. c. l'intervalle de confiance à 95 % établi selon la méthode delta) :

HQ_T	Limite de confiance inférieure [m³/s]	Débit [m³/s]	Limite de confiance supérieure [m³/s]
HQ ₂	35.7	39.3	42.9
HQ ₁₀	45.4	54.7	63.9
HQ ₃₀	48.7	67.4	86.1
HQ ₁₀₀	47.2	83.9	121
HQ ₃₀₀	39.4	102	164

3 Comparaison des résultats

La figure 8 illustre les débits HQ_T calculés à l'aide des deux variantes des méthodes BLOCK et POT. Tant les valeurs que la taille de l'intervalle de confiance, qui est une mesure de l'incertitude, varient. Ces écarts sont en général d'autant plus grands que la période de retour T est grande.

3.1 Evaluation des différentes périodes d'étude

Dans le cas de «Sorner - Delémont», les périodes d'étude des méthodes BLOCK et POT sont identiques à une exception près, de sorte qu'il n'y a pas lieu de comparer les différentes périodes.

3.2 Comparaison globale des diverses variantes

La figure 8 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 obtenus avec la méthode POT sont tant supérieurs qu'inférieurs à ceux de la méthode BLOCK, les écarts étant toujours relativement modestes. La méthode POT fournit cependant des valeurs sensiblement plus élevées, mais uniquement pour des périodes de retour très grandes.

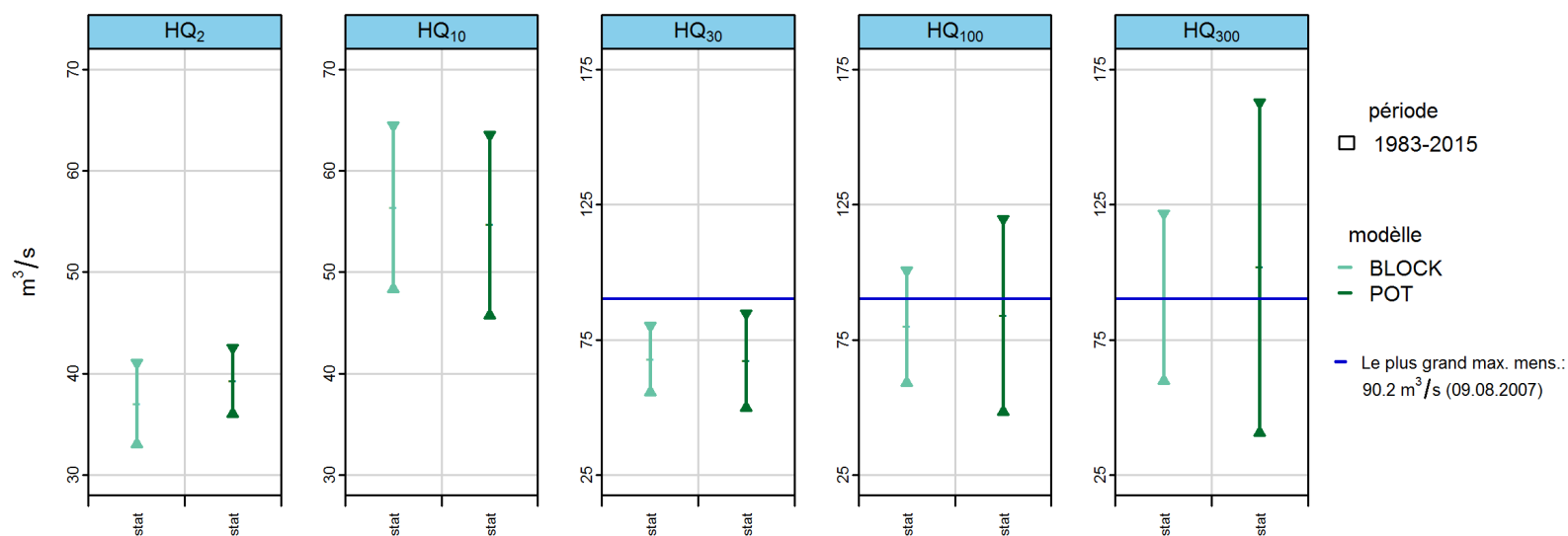
Différences entre les intervalles de confiance calculés selon les deux méthodes :

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 les variantes des deux méthodes ne diffèrent que très peu pour les périodes de retour petites. Dans le cas de périodes de retour plus grandes, la méthode POT présente un intervalle de confiance nettement plus grand.

Comparaison entre variantes stationnaires et variantes non stationnaires :

Seules des variantes stationnaires ont été appliquées pour la station «Sorner - Delémont», de sorte qu'aucune comparaison n'a été entreprise avec les variantes non stationnaires.

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).



14

FIGURE 8 – HQ_T [m³/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
1983 - 2015	BLOCK stat	bonne- moyenne	moyenne	médiocre	valeur la plus élevée fortement sous-estimée
1983 - 2015	POT stat	bonne	bonne	médiocre	valeur la plus élevée fortement sous-estimée

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 1983 - 2015 (cf. point 2.2.1) est fixée à $29 \text{ m}^3/\text{s}$ au moyen du «mean residual life plot» (cf. figure 9).

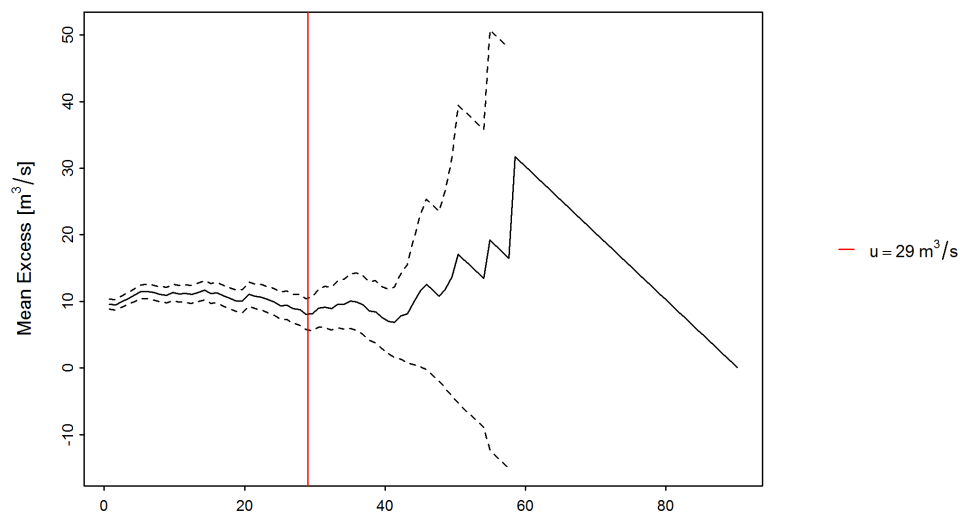


FIGURE 9 – «mean residual life plot» avec le seuil déterminé u (ligne rouge), dépassement moyen (ligne noire), intervalle de confiance à 95 % (traitillés)

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).
