



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 ÉTIAGES

### RAPPORT DE STATION

# Rhône - Porte du Scex

Explications additionnelles : [guide de lecture](#)  
Contact : [hydrologie@bafu.admin.ch](mailto:hydrologie@bafu.admin.ch)

Table des matières

1 Base de données 2

2 Résultats des procédures paramétriques 6

2.1 Débit d'étiage . . . . . 7

2.1.1 Méthode Block Minimum (BLOCK) . . . . . 7

2.1.2 Méthode Peaks Over Threshold (POT) . . . . . 10

2.1.3 Comparaison des résultats . . . . . 13

2.2 Durée d'étiage . . . . . 14

2.3 Volume déficitaire . . . . . 17

3 Bibliographie 20

Annexe 21

A Détermination de la valeur seuil pour la délimitation des valeurs extrêmes . . . . . 21

A.1 Débit d'étiage . . . . . 21

A.2 Durée d'étiage . . . . . 22

A.3 Volume déficitaire . . . . . 22

B Glossaire . . . . . 23

# 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          |
|------------------------------|------------|------------|
| Moyenne journalière digitale | 01.01.1905 | 31.12.2020 |

Un limnigraphe a été mis en service le 11 avril 1891. Aucune donnée de débit n'est cependant disponible avant 1905.

Les données de débits présentent les caractéristiques ci-après :

| Mode d'écoulement            | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Régime d'écoulement          | Ne peut pas être classé sans équivoque : Débits élevés en été, faibles en hiver.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Amplitude de la saisonnalité | Nettement perceptible dans les minima mensuels (figure 2).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Influences                   | Influence de plusieurs centrales hydroélectriques et lacs : Lac de Dix 385 Mio. m <sup>3</sup> (1957), Lac d'Emosson 227 Mio. m <sup>3</sup> (1974), Lac de Mauvoisin 210 Mio. m <sup>3</sup> (1957), Lac de Mattmark 101 Mio. m <sup>3</sup> (1967), Lac de Moiry 78 Mio. m <sup>3</sup> (1958), Lac de Tseuzier 50 Mio. m <sup>3</sup> (1957) ainsi que d'autres petits lacs de barrage et de nombreux aménagements au fil de l'eau. |

Sur la base de l'occurrence temporelle des périodes d'étiages (cf. figure 1), le mois de juin est choisi comme mois de départ de l'année d'étiage pour la station de Rhône - Porte du Scex. Une année d'étiage dure donc du 01.06 au 31.05. Ainsi, aucune période d'étiage se trouve dans deux années d'étiage différentes.

Les plus petites valeurs des minima mensuels du M7Q apparaissent principalement entre décembre et mars (figure 2). La série chronologique des minima mensuels montre, à partir de 1960, une augmentation des valeurs les plus basses et une diminution des valeurs les plus élevées (figure 3). La figure 4 montre que les étiages de courte durée augmentent très soudainement juste avant 1960, alors que les étiages de longues durée ne sont plus présentes. Dans la série chronologique des volumes déficitaires (figure 5) on constate également une très nette augmentation du nombre de petits événements et une absence des plus grands à partir d'environ 1960.

Les NM7Q sont déterminées sur la base des débits moyens journaliers des années d'étiage et évoluent sur la période d'observation entre 20.9 et 105 m<sup>3</sup>/s (Figure 6).

L'analyse des points de rupture du NM7Q donne un point de rupture significatif autour de 1958 (intervalle de confiance 1954 - 1959). Etant donné que le Lac de Dix et le Lac de Mauvoisin ont été mis en service comme réservoir en 1957, la période d'évaluation choisie pour toutes les grandeurs caractéristiques est celle à partir de 1957. L'analyse porte donc sur la période de 01.06.1957 à 31.05.2020. Cela correspond aux années d'étiage de la station Rhône - Porte du Scex de 1957 à 2019.

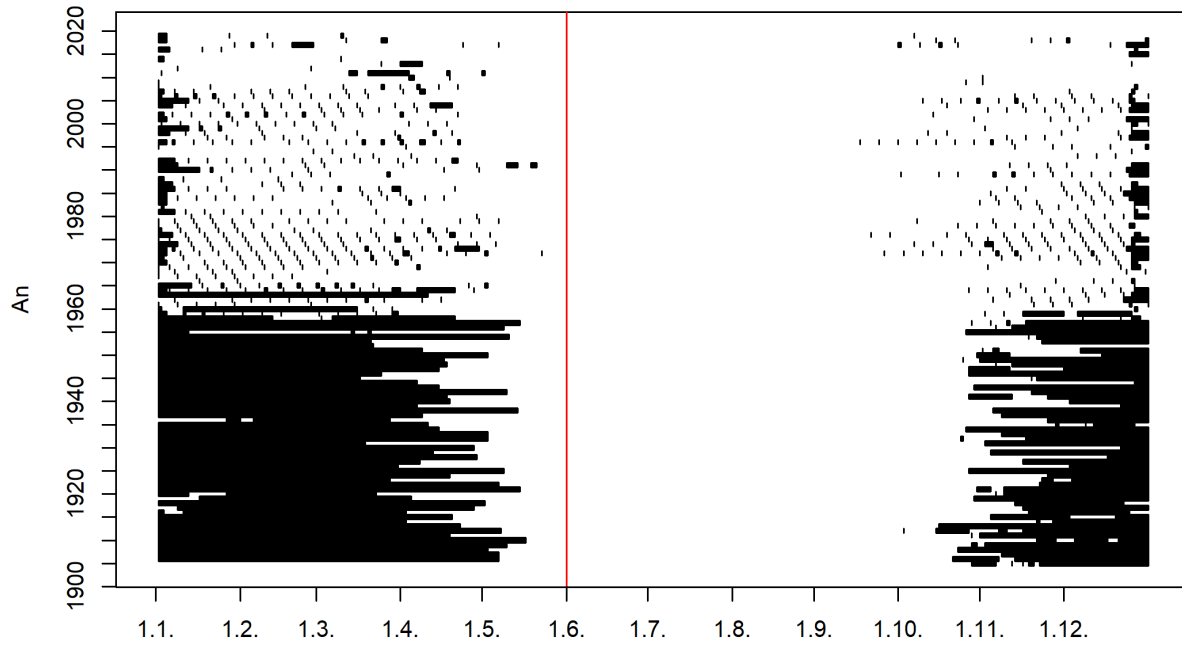


FIGURE 1 – Apparition temporelle des périodes d’étéage pendant l’année (01.06.1905 - 31.05.2020) et mois de début de l’année d’étéage (ligne rouge) <sup>1</sup>

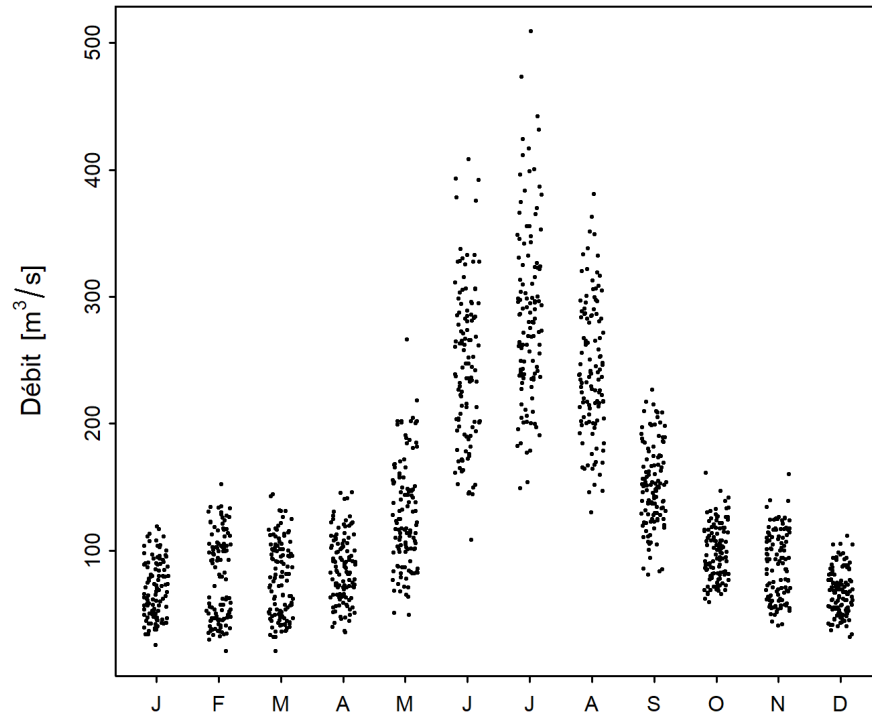


FIGURE 2 – Évolution saisonnière du minimum mensuel de M7Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.06.1905 - 31.05.2020)

1. Le mois de début de l’année d’étéage est choisi en considérant seulement les valeurs de la période d’analyse.

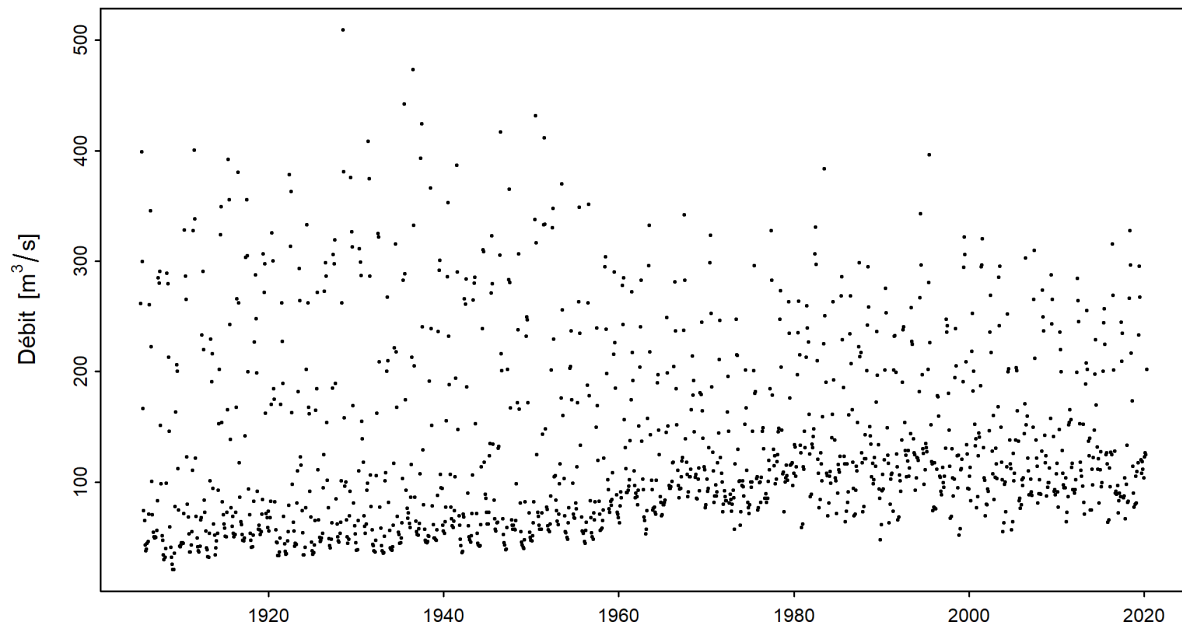


FIGURE 3 – Série temporelle du minimum mensuel de M7Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.06.1905 - 31.05.2020)

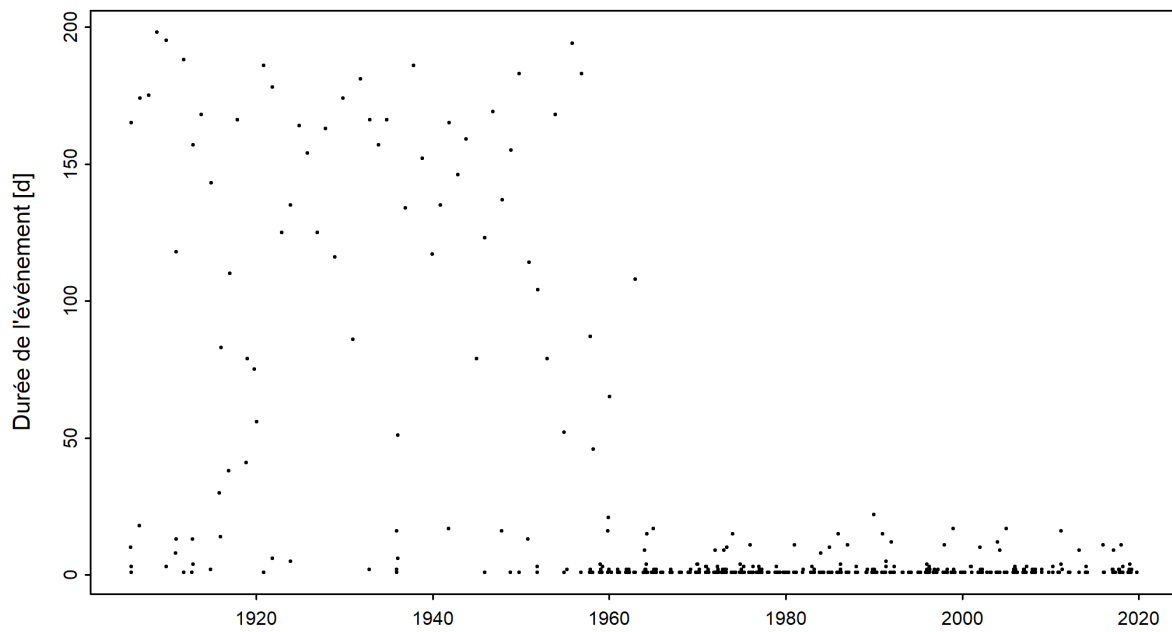


FIGURE 4 – Série temporelle des durées d'étéage [d] (01.06.1905 - 31.05.2020)

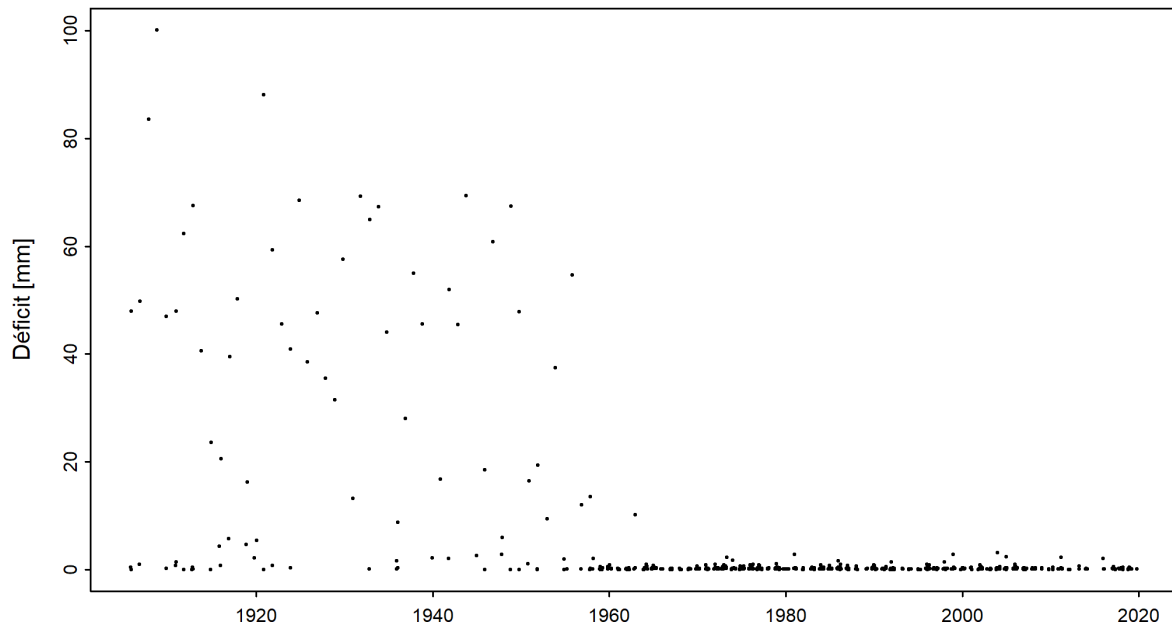


FIGURE 5 – Série temporelle du volume déficitaire [mm] (01.06.1905 - 31.05.2020)

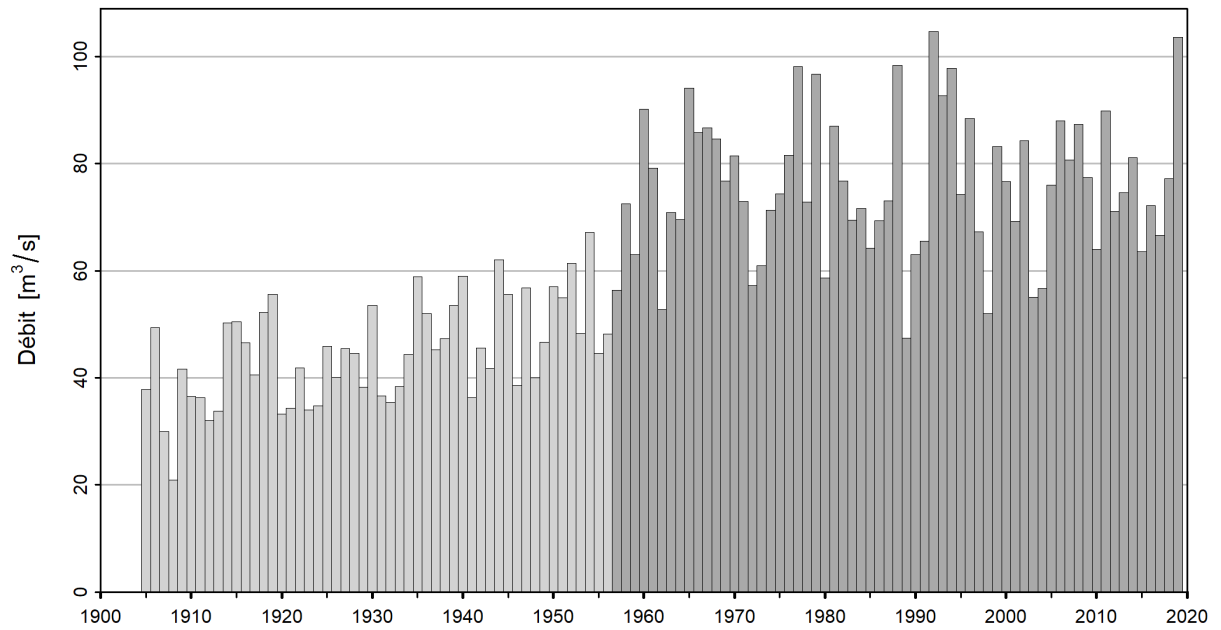


FIGURE 6 – Série temporelle de NM7Q [m³/s] (01.06.1905 - 31.05.2020), gris clair : NM7Q non utilisés, gris foncé : NM7Q utilisés

## 2 Résultats des procédures paramétriques

Les probabilités des étiages  $NQ_T$  sont estimées à l'aide de deux méthodes paramétriques (BLOCK et POT). Les probabilités des durées d'étiages e les probabilités des volumes déficitaires sont estimées à l'aide de la méthode 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 suivantes :

| Procédure paramétrique     | Paramètre                                 | Données d'entrée du modèle                   |
|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Block Minimum (BLOCK)      | $\mu$ Paramètre de position               | NM7Q                                         |
|                            | $\sigma$ Paramètre d'échelle              |                                              |
|                            | $\kappa$ Paramètre de forme               |                                              |
| Peaks Over Threshold (POT) | $\lambda$ Taux d'incidence                | M7Q / Durée d'étiage /<br>Volume déficitaire |
|                            | $\sigma$ Paramètre d'échelle <sup>2</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 d'analyse. 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 modèle 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 $\mu$ e $\sigma$          | $\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$                                         | 5                    |
| mujump                    | Évolution non continue de $\mu$ au temps $t_0$ | $\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa,$<br>$i = 0$ pour $t < t_0, i = 1$ quand<br>$t \geq t_0$ | 4                    |

TABLE 2 – Variantes de la méthode POT.  $\sigma$  paramètre d'échelle (sigma),  $\kappa$  paramètre de forme (kappa).

| Variantes de modèle 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 temps $t_0$ | $\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa,$<br>$i = 0$ pour $t < t_0, i = 1$ quand<br>$t \geq t_0$ | 3                    |

La qualité des variantes est toujours évaluée à l'aide d'un Probability Plot et d'un Quantile Plot (voir p. ex. figure 7 et [guide](#) chapitre 4.3). 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 (voir figure 8 du chapitre 3.3 de la [guide](#)). Les variantes présentées ci-après sont celles qui fournissent les meilleurs résultats.

2. Le paramètre d'échelle  $\sigma$  de la méthode POT n'est pas numériquement identique au  $\sigma$  de la méthode BLOCK.

## 2.1 Débit d'étiage

### 2.1.1 Méthode Block Minimum (BLOCK)

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

Le plus petit NM7Q de la période d'analyse est  $47.4 \text{ m}^3/\text{s}$  (29.12.1989).

Aucune différence significative ne sépare la variante stationnaire et les variantes non stationnaires du modèle sur la période d'analyse (1957-2019), donc ici sont présentés seulement les résultats du modèle stationnaire.

Nombre de valeurs utilisées et estimation des paramètres du modèle :

| Nombre de<br>valeurs $n$ | Paramètre de<br>position $\hat{\mu}$ | Paramètre<br>d'échelle $\hat{\sigma}$ | Paramètre de<br>forme $\hat{\kappa}$ |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 63                       | 79.97                                | 13.53                                 | -0.35                                |



La qualité du modèle est évaluée graphiquement en fonction des graphiques diagnostiques représentés en figure 7.

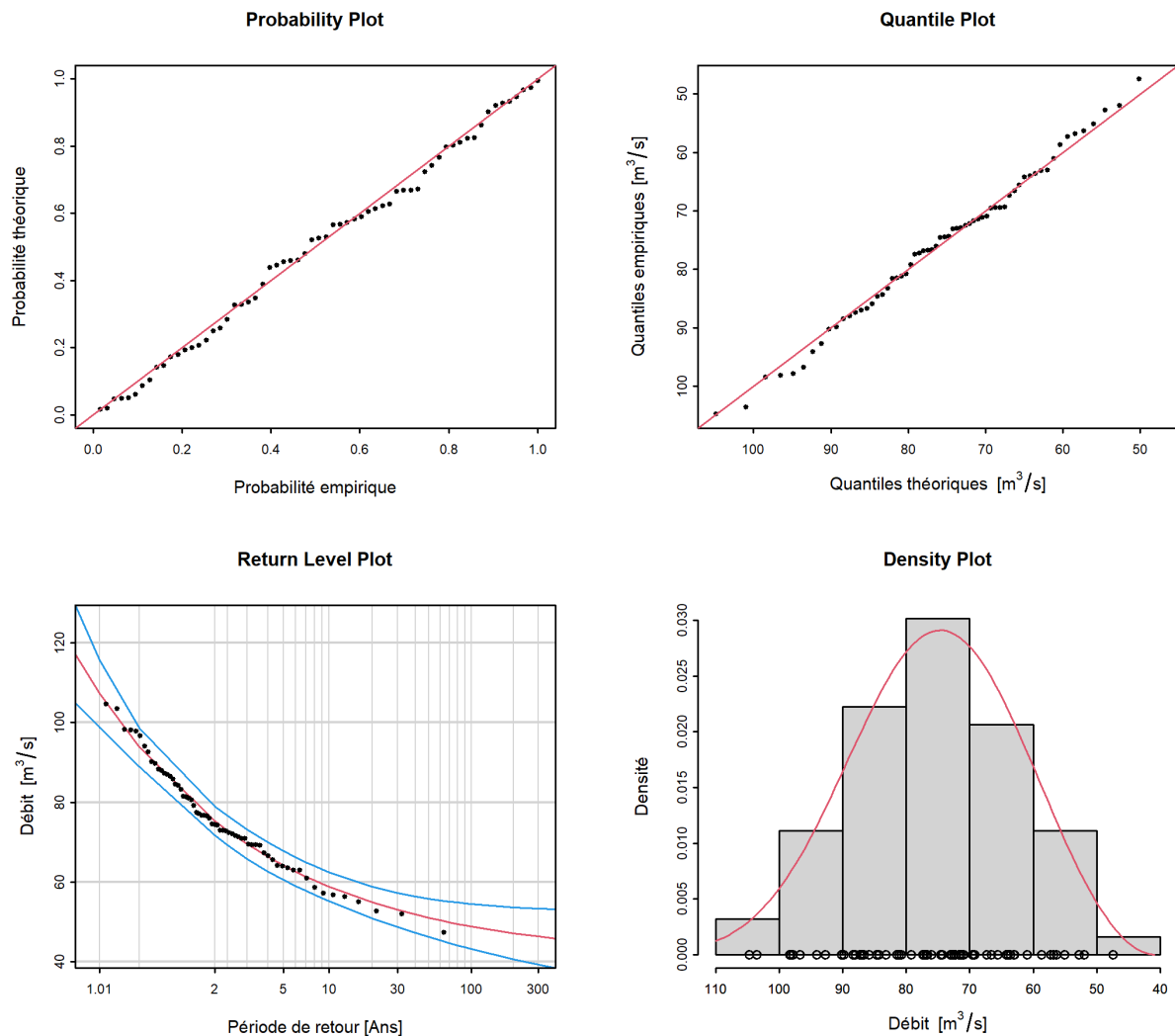


FIGURE 7 – Graphiques diagnostiques de la variante du modèle “ stat ” de la méthode BLOCK (01.06.1957 - 31.05.2020)

Évaluation des graphiques diagnostiques (figure 7) :

| Critère                    | Évaluation <sup>3</sup> | Remarque                                                                                |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Adaptation secteur gauche  | moyenne                 | -                                                                                       |
| Adaptation secteur central | bonne                   | -                                                                                       |
| Adaptation secteur droit   | bonne                   | -                                                                                       |
| Intervalle de confiance    | faible                  | Deviend légèrement plus grand pour les périodes de retour très courtes et très longues. |

3. Voir [guide](#) chapitre 4.3

Le tableau suivant contient les valeurs de débit pour différentes périodes de retour calculées avec le modèle stationnaire de la méthode BLOCK pour la période d'analyse 01.06.1957 - 31.05.2020 (incl. intervalle de confiance calculé avec la méthode delta) :

| <b>NQ<sub>T</sub></b><br><b>(NM7Q)</b> | <b>Limite de confiance</b><br><b>inférieure [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Débit [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Limite de confiance</b><br><b>supérieure [m<sup>3</sup>/s]</b> |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| NQ <sub>2</sub>                        | 71.1                                                              | 75.3                           | 79.5                                                              |
| NQ <sub>10</sub>                       | 54.7                                                              | 58.8                           | 63.0                                                              |
| NQ <sub>30</sub>                       | 48.1                                                              | 53.0                           | 57.9                                                              |
| NQ <sub>100</sub>                      | 42.4                                                              | 48.8                           | 55.3                                                              |
| NQ <sub>300</sub>                      | 38.3                                                              | 46.3                           | 54.4                                                              |

### 2.1.2 Méthode Peaks Over Threshold (POT)

Pour la méthode Peaks over Threshold (POT), les M7Q sont analysés à partir du 01.06.1957. Le quantile 80% de la courbe débit-durée ( $Q_{80}$  resp.  $Q_{292}$ ) est choisi comme valeur seuil  $u_{80}$  pour délimiter les événements d'étiage. Une situation d'étiage est identifiée lorsque le débit moyen journalier dépasse le seuil  $u_{80}$  de  $107.49 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Un déclustering permet de s'assurer que deux événements d'étiage pour lesquels le volume excédentaire intermédiaire a pu égaliser le volume déficitaire précédent sont considérés comme indépendants (cf. [guide](#) chapitre 1.3).

Toutes les valeurs qui dépassent la valeur seuil  $u$  sont considérées comme des événements extrêmes lors de l'analyse des M7Q avec la méthode POT. La valeur seuil  $u$  est déterminée dans une procédure itérative sur la base de différents critères (cf. annexe A.1 et [guide](#) chapitre 4.1). La figure 8 montre le M7Q, les seuils définis  $u_{80}$  et  $u$  ainsi que les événements extrêmes (cercles rouges) définis sur la base du seuil  $u$ .

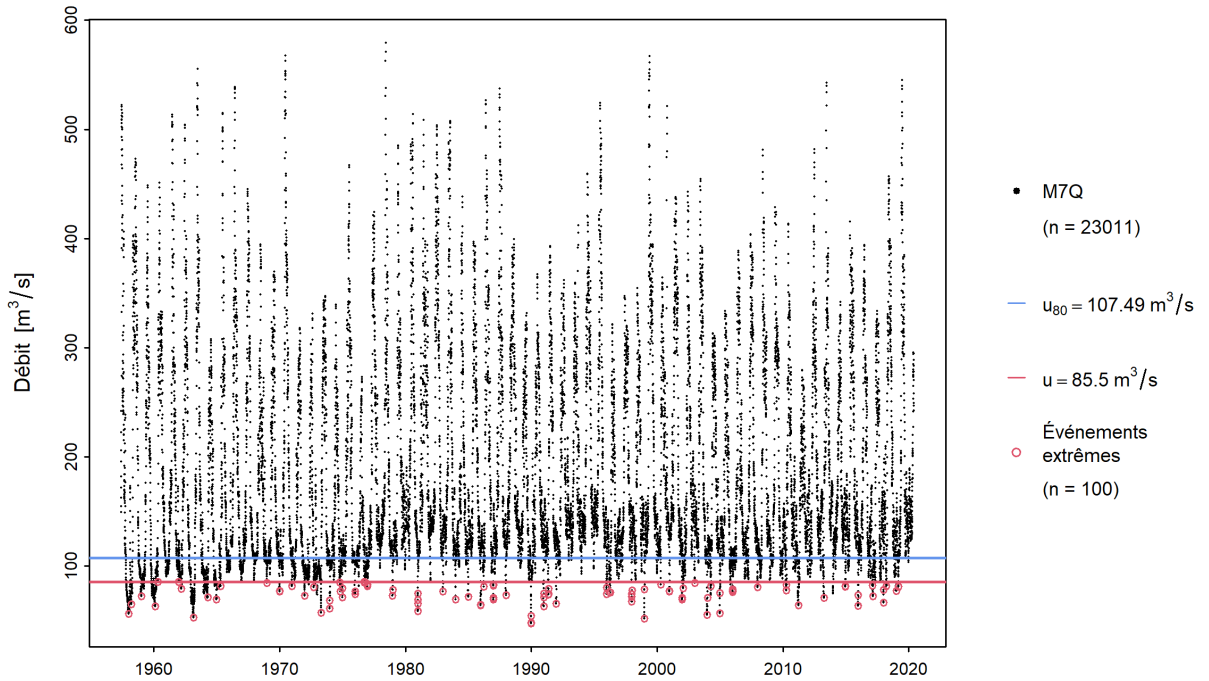


FIGURE 8 – Choix des événements extrêmes utilisés pour la méthode POT

Aucune différence significative ne sépare la variante stationnaire et les variantes non stationnaires du modèle sur la période d'analyse (1957-2019). En conséquence, seuls les résultats du modèle stationnaire sont présentés ici.

Nombre de valeurs utilisées et estimation des paramètres du modèle :

| Valeur de seuil $u$         | Nombre de valeurs $n$ | Taux d'incidence $\hat{\lambda}$ | Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$ | Paramètre de forme $\hat{\kappa}$ |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| $85.5 \text{ m}^3/\text{s}$ | 100                   | 1.59                             | 16.86                              | -0.39                             |

La qualité du modèle est évaluée graphiquement en fonction des graphiques diagnostiques représentés en figure 9.

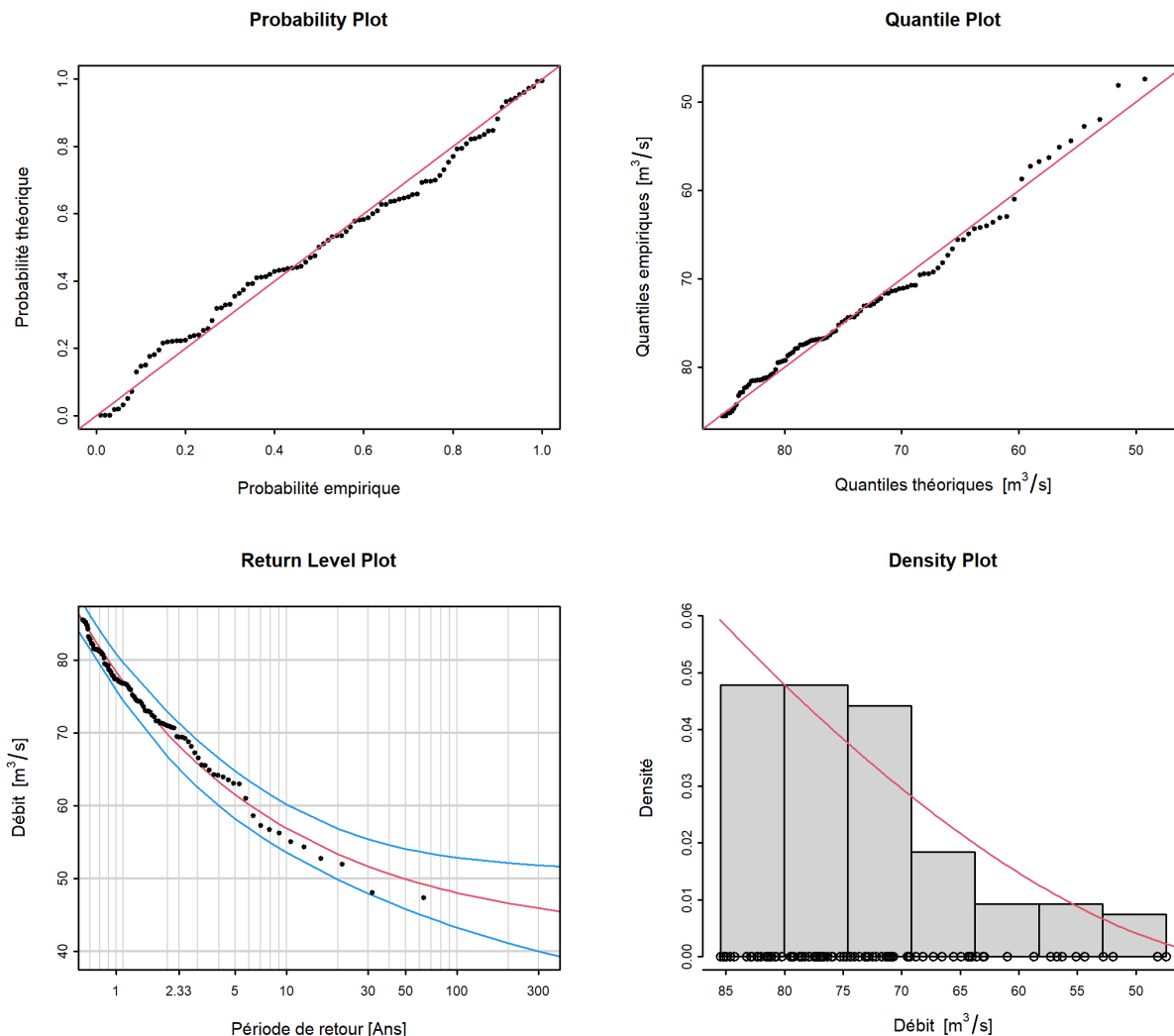


FIGURE 9 – Graphiques diagnostiques de la variante du modèle “ stat ” de la méthode POT (01.06.1957 - 31.05.2020)

Évaluation des graphiques diagnostiques (figure 9) :

| Critère                    | Évaluation <sup>4</sup> | Remarque                                                           |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Adaptation secteur gauche  | moyenne                 | -                                                                  |
| Adaptation secteur central | moyenne-bonne           | -                                                                  |
| Adaptation secteur droit   | moyenne-bonne           | -                                                                  |
| Intervalle de confiance    | faible-moyenne          | Deviens légèrement plus grand pour les périodes de retour longues. |

4. Voir [guide](#) chapitre 4.3

Le tableau suivant contient les valeurs de débit pour différentes périodes de retour calculées avec le modèle stationnaire de la méthode POT pour la période d'analyse 01.06.1957 - 31.05.2020 (incl. intervalle de confiance calculé avec la méthode delta) :

| <b>NQ<sub>T</sub></b><br><b>(NM7Q)</b> | <b>Limite de confiance</b><br><b>inférieure [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Débit [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Limite de confiance</b><br><b>supérieure [m<sup>3</sup>/s]</b> |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| NQ <sub>2</sub>                        | 66.3                                                              | 69.8                           | 73.3                                                              |
| NQ <sub>10</sub>                       | 53.1                                                              | 56.9                           | 60.6                                                              |
| NQ <sub>30</sub>                       | 47.4                                                              | 51.7                           | 56.0                                                              |
| NQ <sub>100</sub>                      | 42.6                                                              | 48.1                           | 53.6                                                              |
| NQ <sub>300</sub>                      | 39.2                                                              | 46.0                           | 52.7                                                              |

### 2.1.3 Comparaison des résultats

La figure 10 et le tableau correspondant résument les résultats issus des deux approches BLOCK et POT. Les résultats des variantes de modèles les mieux adaptées aux données sont présentés. La comparaison des différentes approches de modélisation met en évidence les faits suivants :

#### Différences entre les résultats des $NQ_T$ calculés avec les deux approches paramétriques :

Pour toutes les périodes de retour la méthode BLOCK présente un débit plus important que la méthode POT. La différence s'amenuise nettement avec des périodes de retour plus longues et pour  $NQ_{300}$  les deux approches donnent une résultat très similaire.

#### Différences entre les résultats des intervalles de confiance calculés avec les deux approches paramétriques :

L'intervalle de confiance des résultats de la méthode POT s'élargit à mesure que l'on s'approche des grandes périodes de retour. Dans le cas de l'approche BLOCK, l'intervalle de confiance est presque identique pour  $NQ_2$  et  $NQ_{10}$  et s'élargit également pour les périodes de retour plus longues. Il reste cependant toujours plus grand que l'intervalle de confiance de l'approche POT.

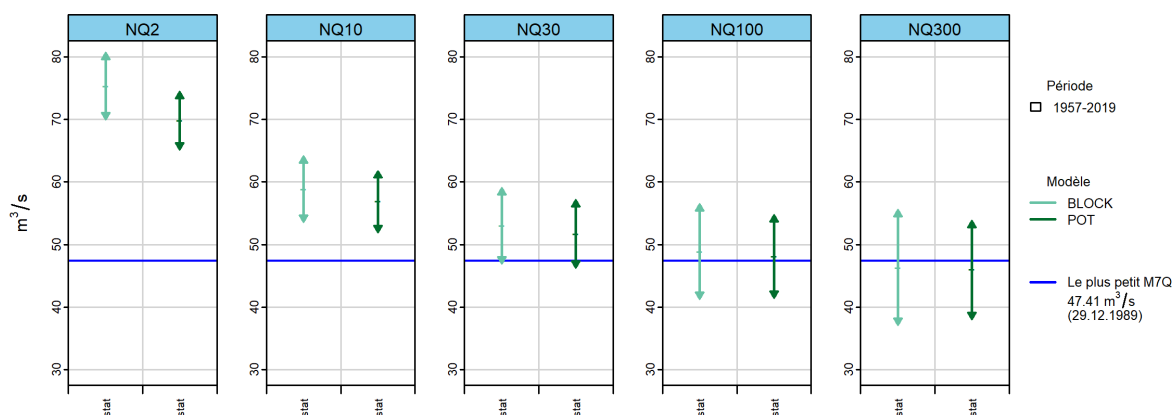


FIGURE 10 –  $NQ_T$  [ $m^3/s$ ] incl. intervalle de confiance 95 %, calculé avec la variante de modèle plus adaptée des méthodes BLOCK et POT

La tablelle suivante contient l'évaluation de la qualité du modèle pour la période d'analyse 1957-2019 :

| Méthode    | Qualité modèle<br>Gauche | graphiques<br>Centre | diagnostiques<br>Droite | Remarque |
|------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------|
| BLOCK stat | moyenne                  | bonne                | bonne                   | -        |
| POT stat   | moyenne                  | moyenne-<br>bonne    | moyenne-bonne           | -        |

## 2.2 Durée d'étéage

Une situation d'étéage est identifiée lorsque la moyenne journalière est inférieure à la valeur seuil  $u_{80}$  (quantile 80% de la courbe débit-durée) de  $107.49 \text{ m}^3/\text{s}$ . Après un déclustering (cf. chapitre 2.1.2 et [guide](#) chapitre 1.3), la durée de chaque événement d'étéage est déterminée.

Dans cette analyse, lorsque les durées d'étéage dépassent la valeur seuil  $u$ , les événements sont considérés comme extrêmes. Un processus itératif détermine la valeur seuil  $u$  à l'aide de différents critères (cf. annexe A et [guide](#) chapitre 4.1). La figure 11 montre les durées d'étéage et la valeur seuil  $u$  calculée, ainsi que les événements extrêmes (cercles rouges) sélectionnés sur la base de la valeur seuil  $u$ .

L'étéage le plus long de la période d'analyse a duré 204 jours (17.10.1959 - 07.05.1960).

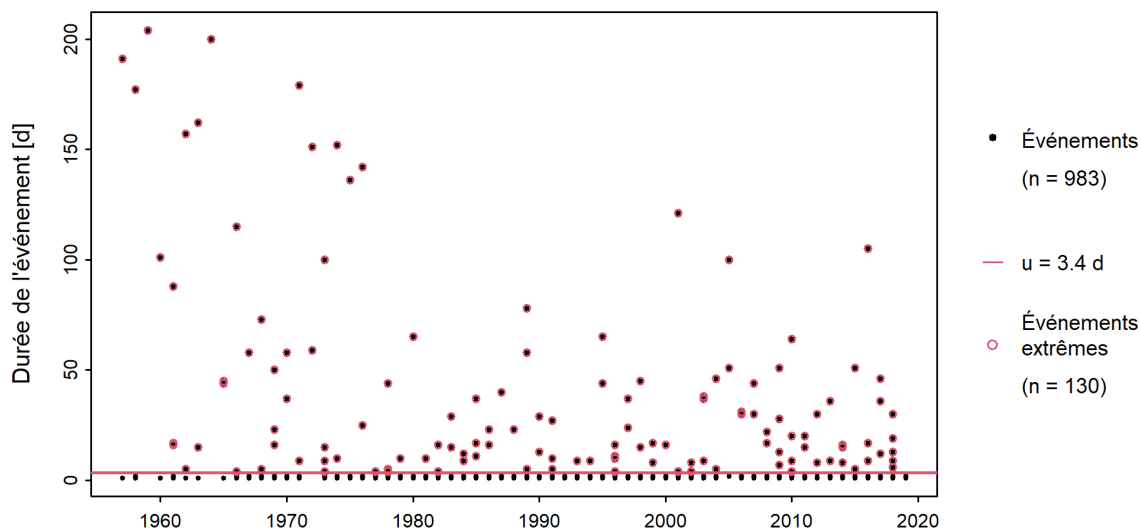


FIGURE 11 – Choix des événements extrêmes de durée d'étéage utilisés pour la méthode POT

Aucune différence significative n'est observée entre la variante stationnaire et les variantes non stationnaires du modèle sur la période d'analyse (1957-2019). En conséquence, seuls les résultats du modèle stationnaire sont présentés ici.

Nombre de valeurs utilisées et estimation des paramètres du modèle :

| Valeur de seuil $u$ | Nombre de valeurs $n$ | Taux d'incidence $\hat{\lambda}$ | Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$ | Paramètre de forme $\hat{\kappa}$ |
|---------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 3.4 jours           | 130                   | 2.06                             | 22.11                              | 0.43                              |

La qualité du modèle est évaluée graphiquement en fonction des graphiques diagnostiques représentés en figure 12.

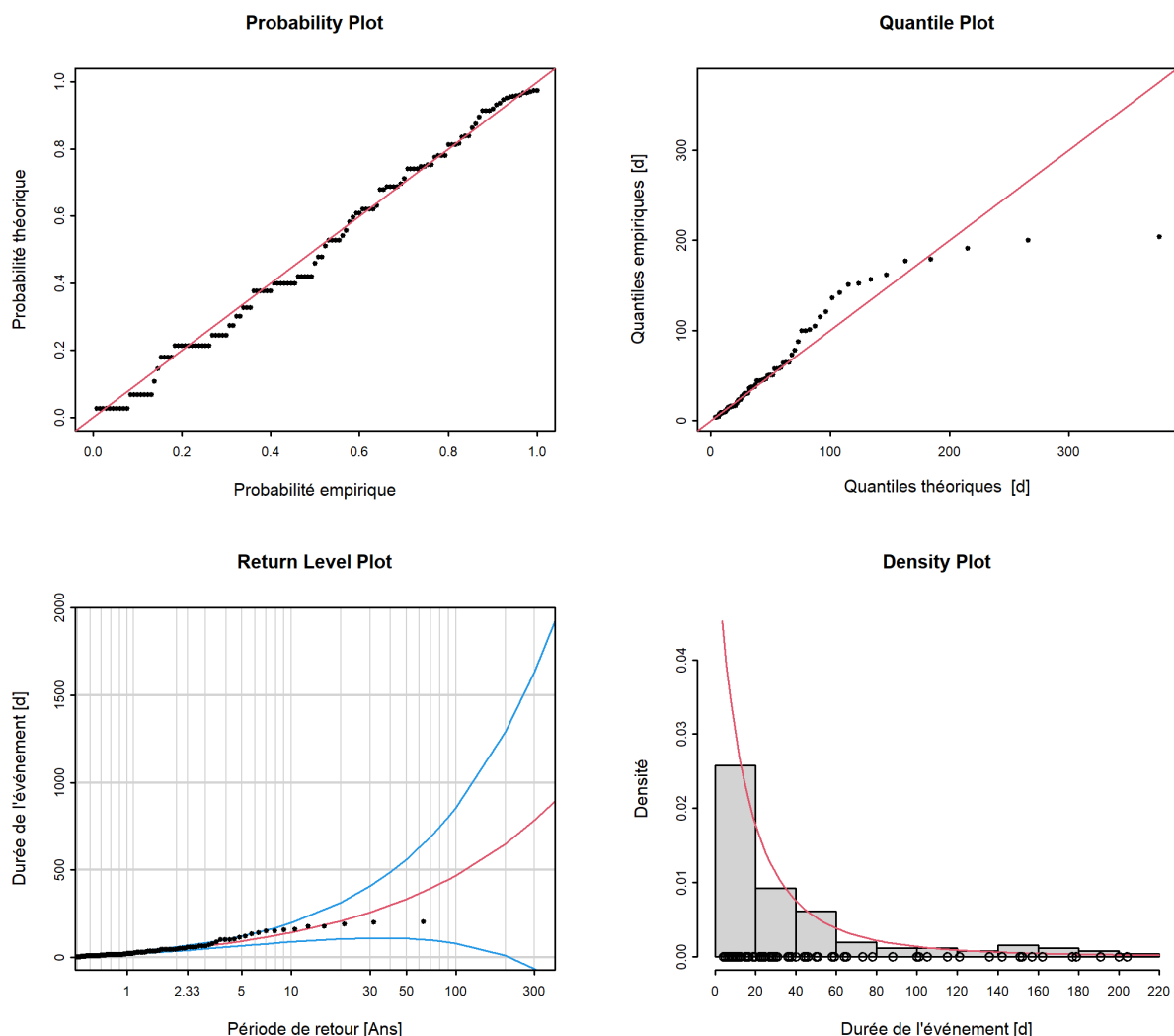


FIGURE 12 – Graphiques diagnostiques de la variante du modèle “ stat ” de la méthode POT (01.06.1957 - 31.05.2020)

Évaluation des graphiques diagnostiques (figure 12) :

| Critère                    | Évaluation <sup>5</sup> | Remarque                                             |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|
| Adaptation secteur gauche  | bonne-moyenne           | -                                                    |
| Adaptation secteur central | moyenne                 | Nette sous-estimation des valeurs.                   |
| Adaptation secteur droit   | moyenne-médiocre        | Les plus grandes valeurs sont largement surestimées. |
| Intervalle de confiance    | élevé                   | S'écarte pour de longues périodes de retour.         |

5. Voir [guide](#) chapitre 4.3



Le tableau suivant contient les durées d'étiage pour différentes périodes de retour calculées avec le modèle stationnaire de la méthode POT pour la période d'analyse 01.06.1957 - 31.05.2020 (incl. intervalle de confiance calculé avec la méthode delta) :

| <b>ND<sub>T</sub></b> | <b>Limite de confiance<br/>inférieure [d]</b> | <b>Durée [d]</b> | <b>Limite de confiance<br/>supérieure [d]</b> |
|-----------------------|-----------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|
| ND <sub>2</sub>       | 33                                            | 47               | 61                                            |
| ND <sub>10</sub>      | 80                                            | 142              | 205                                           |
| ND <sub>30</sub>      | 88                                            | 258              | 428                                           |
| ND <sub>100</sub>     | 24                                            | 468              | 912                                           |
| ND <sub>300</sub>     | <0                                            | 784              | 1754                                          |

## 2.3 Volume déficitaire

Une situation d'étiage est identifiée lorsque la moyenne journalière est inférieure à la valeur seuil  $u_{80}$  (quantile 80% de la courbe débit-durée) de 107.49 m<sup>3</sup>/s. Après un déclustering (cf. chapitre 2.1.2 et [guide](#) chapitre 1.3) le volume déficitaire de chaque événement d'étiage est déterminé.

Dans cette analyse, lorsque les volumes déficitaires dépassent la valeur seuil  $u$ , les événements sont considérés comme extrêmes. Un processus itératif détermine la valeur seuil  $u$  à l'aide de différents critères (cf. annexe A et [guide](#) chapitre 4.1). La figure 13 montre les volumes déficitaires et le seuil  $u$  calculé, ainsi que les événements extrêmes (cercles rouges) sélectionnés sur la base du seuil  $u$ .

Pour une meilleure comparaison des volumes déficitaires estimés des différentes stations, on utilise l'unité hauteur de débit  $h_A[mm]$  par analogie avec la méthode 121 du DWA(DVWK) (1992). Cette unité est définie comme suit :

$$h_A[mm] = \frac{V[m^3]}{A_E[km^2] * 1000} \quad (1)$$

où  $A_E$  correspond à l'aire du bassin hydrographique et  $V$  au volume déficitaire en m<sup>3</sup>.

L'aire du bassin hydrographique de cette station correspond à 5238 km<sup>2</sup>.

Le plus grand volume déficitaire de la période analysée est de 79.76 mm (22.10.1957 - 30.04.1958).

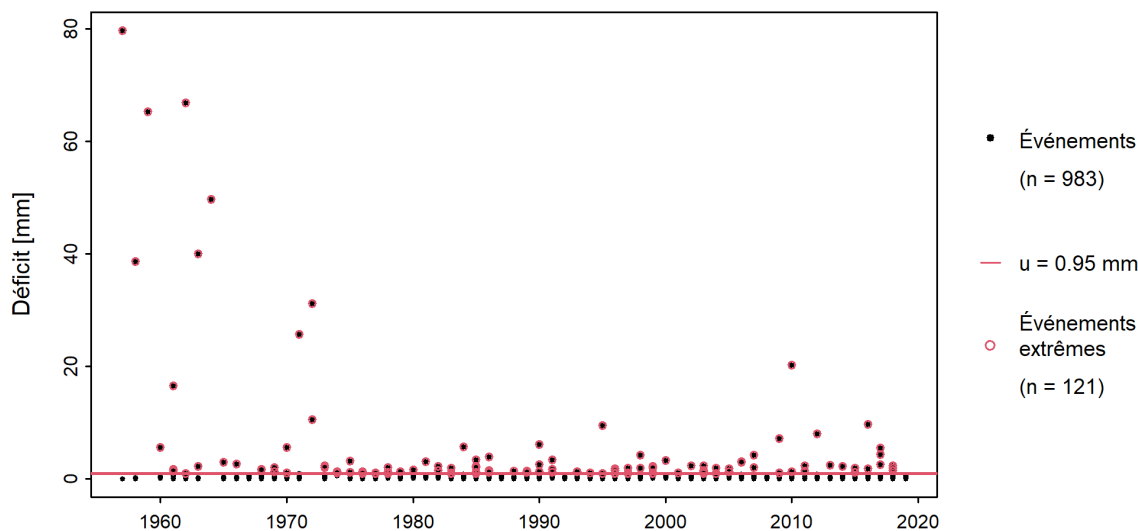


FIGURE 13 – Choix des événements extrêmes de volume déficitaire utilisés pour la méthode POT

Aucune différence significative n'est observée entre la variante stationnaire et les variantes non stationnaires du modèle sur la période d'analyse (1957-2019). En conséquence, seuls les résultats du modèle stationnaire sont présentés ici.

Nombre de valeurs utilisées et estimation des paramètres du modèle :

| Valeur de seuil $u$ | Nombre de valeurs $n$ | Taux d'incidence $\hat{\lambda}$ | Paramètre d'échelle $\hat{\sigma}$ | Paramètre de forme $\hat{\kappa}$ |
|---------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 0.95 mm             | 121                   | 1.92                             | 0.68                               | 1.15                              |

La qualité du modèle est évaluée graphiquement en fonction des graphiques diagnostiques représentés en figure 14.

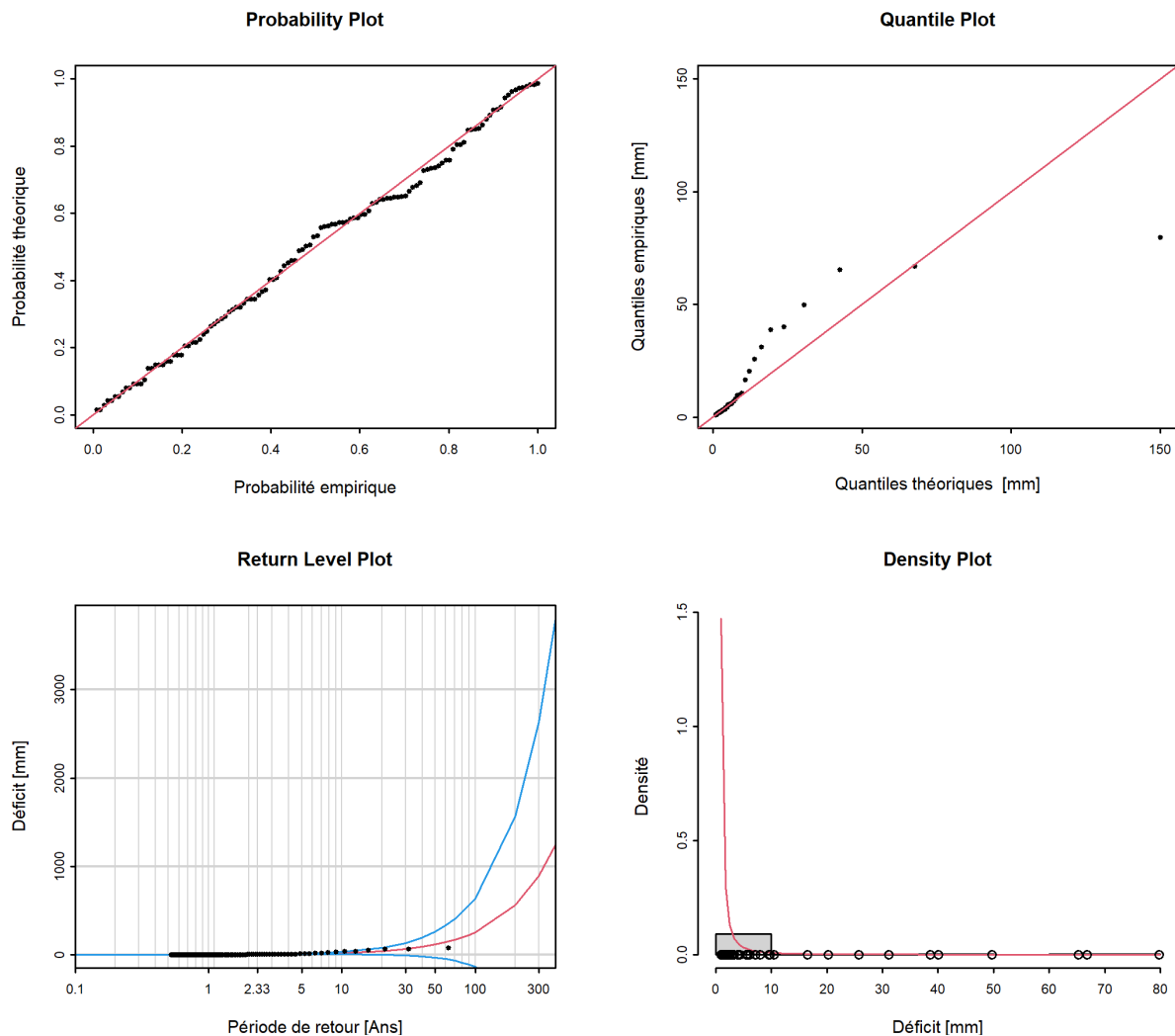


FIGURE 14 – Graphiques diagnostiques de la variante du modèle “ stat ” de la méthode POT (01.06.1957 - 31.05.2020)

Évaluation des graphiques diagnostiques (figure 14) :

| Critère                    | Évaluation <sup>6</sup> | Remarque                                                            |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Adaptation secteur gauche  | bonne-moyenne           | -                                                                   |
| Adaptation secteur central | moyenne-médiocre        | Sous-estimation des valeurs.                                        |
| Adaptation secteur droit   | médiocre                | Forte surestimation de la valeur la plus élevée.                    |
| Intervalle de confiance    | élevé                   | Deviend extrêmement plus grand pour les périodes de retour longues. |

6. Voir [guide](#) chapitre 4.3

Le tableau suivant contient les volumes déficitaires pour différentes périodes de retour calculées avec le modèle stationnaire de la méthode POT pour la période d'analyse 01.06.1957 - 31.05.2020 (incl. intervalle de confiance calculé avec la méthode delta) :

| <b>DV<sub>T</sub></b> | <b>Limite de confiance<br/>inférieure [mm]</b> | <b>Volume déficitaire<br/>[mm]</b> | <b>Limite de confiance<br/>supérieure [mm]</b> |
|-----------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
| DV <sub>2</sub>       | 2                                              | 3                                  | 4                                              |
| DV <sub>10</sub>      | 3                                              | 18                                 | 33                                             |
| DV <sub>30</sub>      | <0                                             | 63                                 | 143                                            |
| DV <sub>100</sub>     | <0                                             | 253                                | 697                                            |
| DV <sub>300</sub>     | <0                                             | 896                                | 2886                                           |

### 3 Bibliographie

*BAFU* (2023). Leitfaden zu den Stationsberichten der Niedrigwasserstatistik. BAFU, Bern.

*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* (2022). DVWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 541. Statistische Analyse von Niedrigwasserkenngrossen.

*DWA/DVWK (éd.)* (1983). DVWK-R 120 - Niedrigwasseranalyse. Teil 1. Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau a.V., Hamburg/Berlin.

*DWA/DVWK (éd.)* (1992). DVWK-R 121 - Niedrigwasseranalyse. Teil 2. Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau a.V., Hamburg/Berlin.

*Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E., Gustard, A.* (2004). Hydrological Drought Characteristics. Developments in Water Science 49, S. 139-198.

## Annexe

### A Détermination de la valeur seuil pour la délimitation des valeurs extrêmes

La valeur seuil  $u$ , qui sert à délimiter les valeurs extrêmes pour cette méthode, est déterminée de manière itérative. Le “ mean residual life plot ”, le “ fitrange plot ” ainsi que le nombre d’événements extrêmes résultant du choix d’une valeur seuil sont pris en considération.

#### A.1 Débit d’étiage

La valeur seuil  $u$  a été déterminée à  $85.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . À l’aide du mean residual life plot (cf. figure 15), la valeur seuil  $u$  était plus basse. En tenant compte du fitrange plot et de la taille de l’échantillon  $n$ ,  $u$  a toutefois été ajustée. Ainsi, une taille d’échantillon de 130 éléments a été obtenue.

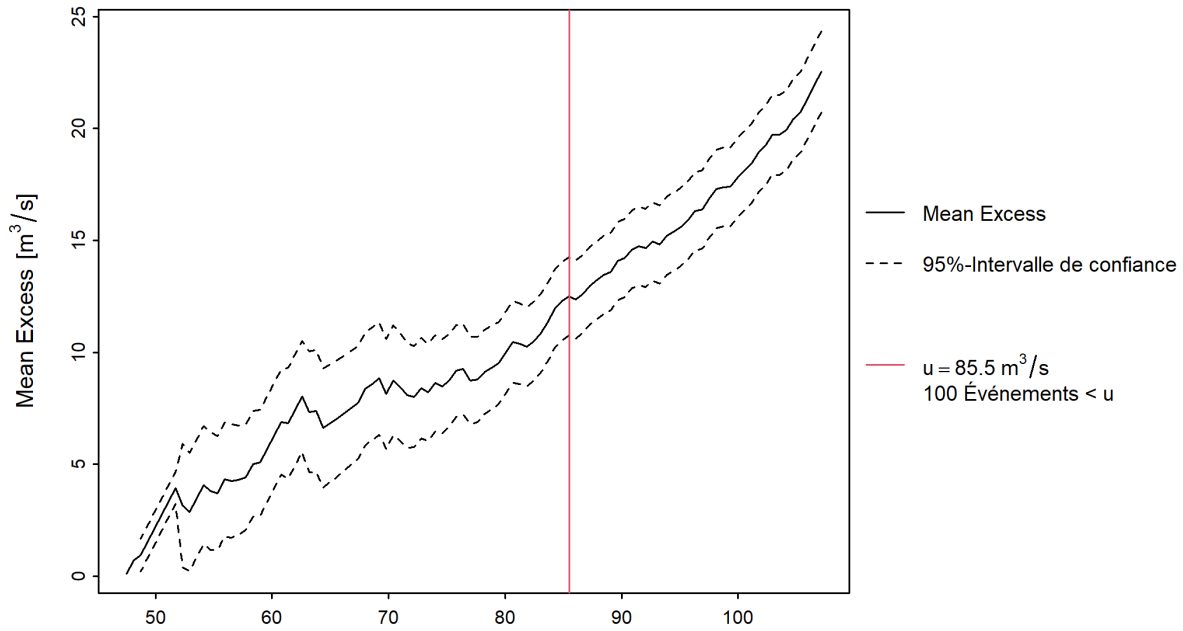


FIGURE 15 – “ mean residual life plot ” pour le débit d’étiage

## A.2 Durée d'étiage

La valeur seuil  $u$  a été déterminée à 3.4 jours. Cela a été décidé à l'aide du mean residual life plot (cf. figure 16) et en tenant compte du fitrange plot. Ainsi, une taille d'échantillon de 130 éléments a été obtenue.

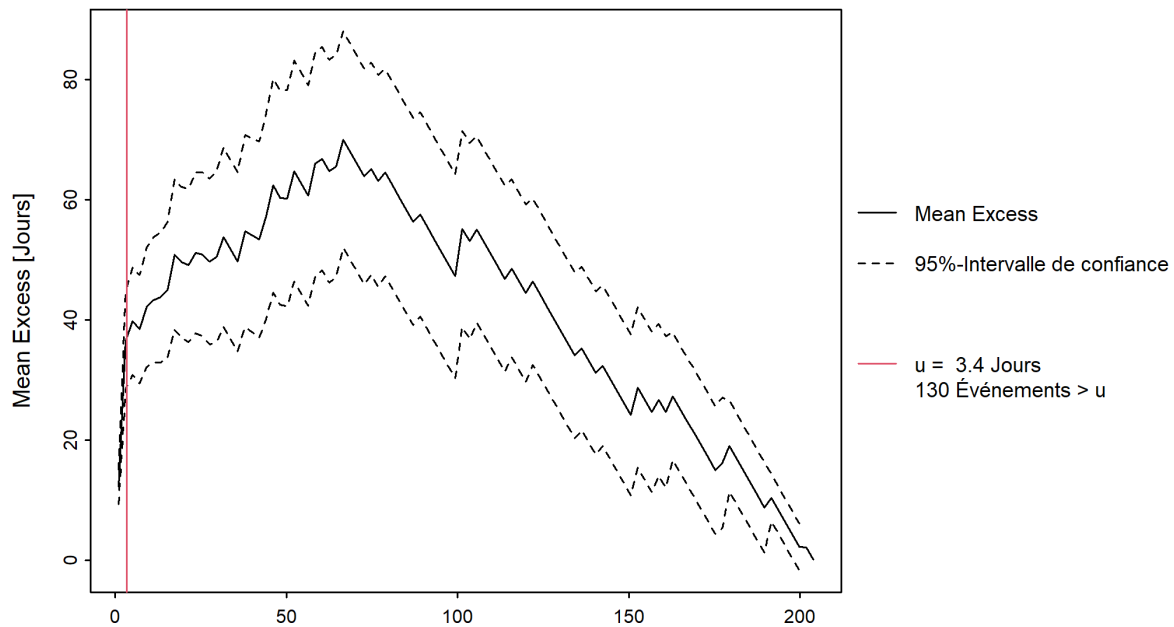


FIGURE 16 – “ mean residual life plot ” pour la durée d'étiage

## A.3 Volume déficitaire

La valeur seuil  $u$  a été déterminée à 0.95 mm. Cela a été décidé à l'aide du mean residual life plot (cf. figure 16) et en tenant compte du fitrange plot. Ainsi, une taille d'échantillon de 121 éléments a été obtenue.

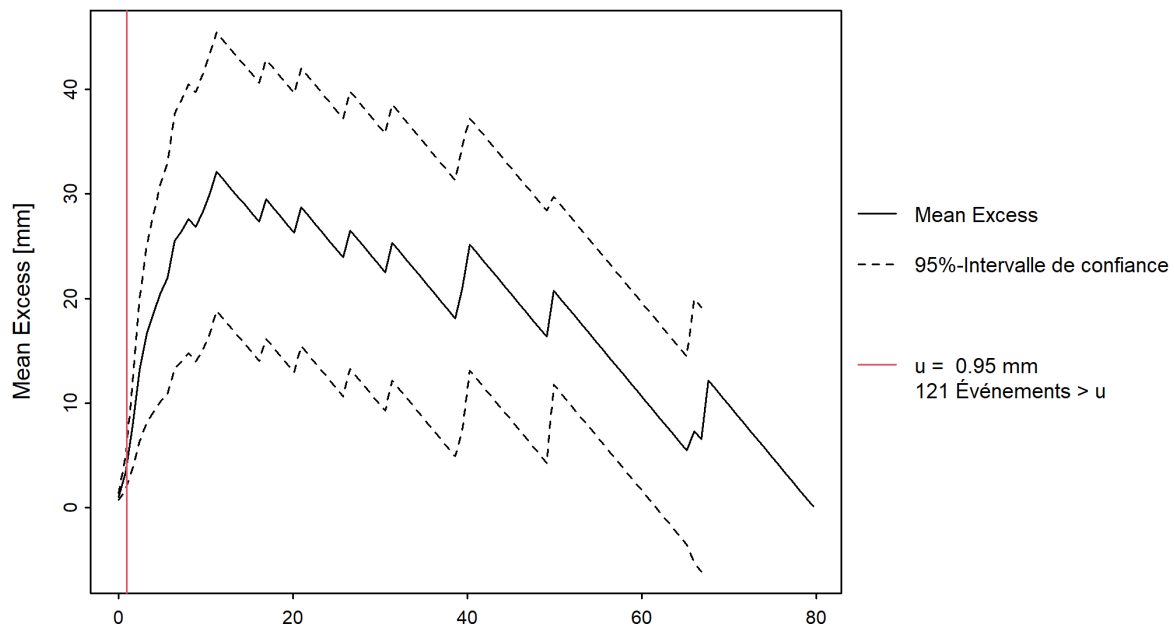


FIGURE 17 – “ mean residual life plot ” pour le volume déficitaire

## B Glossaire

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DV (Volume déficitaire)                | La différence entre le débit d'un jour d'étiage et la valeur seuil $u_{80}$ est appelée déficit de débit. La somme de tous les déficits de débit au cours d'une période d'étiage constitue le volume déficitaire. Pour une meilleure comparaison des volumes déficitaires estimés des différentes stations, on utilise l'unité hauteur de débit $h_A[mm]$ .                                                                                                                                                          |
| DV <sub>T</sub>                        | Le volume déficitaire DV <sub>T</sub> est déterminé à l'aide d'une fonction de répartition pour une période de retour prédéfinie. Le volume déficitaire DV <sub>T</sub> est une estimation qui peut être inférieure ou supérieure à la valeur réelle des volumes déficitaires dont la période de récurrence statistique est de T années. Les DV <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). |
| Fonction de répartition                | Cette fonction décrit l'ensemble des débits d'étiage (ou des durées d'étiage / des volumes déficitaires) d'un bassin versant. Elle indique la probabilité qu'un débit d'étiage NQ (ou une durée d'étiage ND / un volume déficitaire DV) 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. De nombreuses fonctions de distribution théorique remplissent les conditions pour s'appliquer en statistique des étiages, mais aucune ne peut garantir les meilleurs résultats pour tous les échantillons.                                                                                                                                                                                                                                  |
| 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.).                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Jour d'étiage                          | Un jour durant lequel le débit est inférieur à la valeur seuil $u_{80}$ est un jour d'étiage.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| M7Q                                    | Valeurs de débit moyennées sur sept jours.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Méthode delta                          | 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 de NQ <sub>T</sub> (ou ND <sub>T</sub> / DV <sub>T</sub> ) et sur une distribution normale asymptotique (pour les détails techniques, voir Coles 2001, p. 33).                                                                                                                                                                         |
| 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 (minima par bloc, ou données à partir d'une certaine valeur seuil) (cf. Coles 2001).                                                                                                    |
| Méthode de Block Minimum (BLOCK)      | La méthode de BLOCK Minimum (BLOCK) définit la valeur de débit la plus basse 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</a> chapitre 3.1 ou Coles 2001, chapitre 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 $u_{80}$ (pour M7Q, si elles sont inférieures à un seuil $u_{80}$ ). Avant d'être utilisées, les données sont corrigées de l'effet cluster (cf. <a href="#">guide</a> chapitre 3.2, ou Coles 2001, chapitre 4.2).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ND (Durée d'étiage)                   | La durée d'étiage est déterminée sur la base des périodes d'étiage de la manière suivante : à l'aide de la méthode " pooling together ", les périodes d'étiage dépendantes sont identifiées et assemblées. Pour ce faire, on considère les volumes déficitaires et excédentaires. Si le volume excédentaire entre deux périodes d'étiage ne peut pas compenser les volumes déficitaires de ces périodes d'étiage, les deux périodes d'étiage sont identifiées comme des événements dépendants et assemblées pour former une durée d'étiage (pour plus de détails sur la procédure de " pooling together ", voir le <a href="#">guide</a> chapitre 1.3).                                                                                                                                                                                                               |
| ND <sub>T</sub>                       | Durée d'étiage ND <sub>T</sub> déterminée à l'aide d'une fonction de répartition pour une période de retour prédéfinie. La durée ND <sub>T</sub> est une estimation qui peut être inférieure ou supérieure à la valeur réelle des durées d'étiage dont la période de récurrence statistique est de T années. Les ND <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).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| NM7Q                                  | L'indicateur d'étiage NM7Q indique le plus petit débit moyen sur 7 jours consécutifs au cours d'une année d'étiage, la date indiquée étant toujours le quatrième jour des jours considérés (ex. : NM7Q du 1er mai = valeur moyenne du 28 avril au 4 mai).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 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 NQ <sub>T</sub> (resp. ND <sub>T</sub> / DV <sub>T</sub> ) établis par calcul changent également au fil du temps. |

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $NQ_T$                                                   | Le débit d'étiage $NQ_T$ est déterminé à l'aide d'une fonction de répartition pour une période de retour prédéfinie. Le débit $NQ_T$ est une estimation qui peut être inférieure ou supérieure à la valeur réelle des débits d'étiage dont la période de récurrence statistique est de T années. Les $NQ_T$ calculés à l'aide des méthodes paramétriques sont valables pour toute une période (cas stationnaire) ou pour l'année sous revue (cas non stationnaire).                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Paramètres de distribution                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $\sigma$ Paramètre d'échelle (sigma)                     | Mesure de la variance d'une fonction 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 (ou pour les M7Q les valeurs extrêmes inférieures). Lorsque $\kappa$ est grand, le nombre de ces valeurs extrêmes est élevé. Lorsque $\kappa$ est négatif, on admet que les valeurs extrêmes restent en deçà d'une limite supérieure (ou inférieure pour M7Q).                                                                                                                                                                                                                                                |
| $\mu$ Paramètre de position (mu)                         | Ce paramètre décrit la position moyenne des éléments d'un échantillon (ici, NM7Q) par rapport à l'échelle de mesure (en l'occurrence : $m^3/s$ ou $l/s$ ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $\lambda$ Taux d'occurrences (lambda)                    | Dans la méthode POT, ce paramètre correspond au nombre moyen de passages en dessous du seuil $u$ (ou de dépassements pour les M7Q) pendant l'intervalle d'une année.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Période d'étiage                                         | La période d'étiage est la période qui débute le jour où le débit est inférieur à la valeur seuil $u_{80}$ , et s'arrête le jour précédent le jour où la valeur seuil $u_{80}$ est à nouveau dépassée.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Période d'étude                                          | Période de temps limitée dont provient un échantillon de débits d'étiage, 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 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).                                                                                                                                                                                                                 |
| 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).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 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. |
| Statistique de déviance | La statistique de déviance sert à évaluer l'adéquation d'un modèle pour un certain ensemble de donnée.                                                                                                                                                                                                                                                  |