

## Introduction

L'étude des crues ou inondation en étroite rapport avec la séquence du mooc des rivières et des hommes abordée pendant la semaine 2 (Ecoulement de l'eau dans une rivière) est un sujet qui suscite de plus en plus d'intérêt dans le domaine des sciences de l'eau. Les événements hydrologiques extrêmes, tels que les crues ont des conséquences socioéconomiques importantes et parfois graves. Afin de prévenir ces événements extrêmes, il est essentiel de prédire leurs occurrences et leur intensité.

Pour la détermination des débits de crues une panoplie de méthode existe à savoir :

- Les méthodes empiriques (Méthode rationnelle, Courbes enveloppes, classification des crues maximales de Francou-Rodier, les formules abordées par laaf : Mallet-Gautier, Fuller II, et Hazane Lazarev etc);
- Les méthodes déterministes (SCS, Fonction de production, méthode de l'hydrogramme synthétique);
- Les méthodes statistiques (Méthode du Gradex, Modèles QDF, et Analyse fréquentielle).

L'analyse fréquentielle, est la partie de la statistique qui étudie les données hydrologiques et tend à prédire les périodes de retour d'évènements extrêmes en s'appuyant sur des évènements passés semblables.

Donce l'analyse fréquentielle (AF) est un ensemble de méthodes statistiques constituant un outil privilégié par les hydrologues. L'objectif principal de l'AF est l'étude de la probabilité de dépassement d'un événement extrême, on chercherait donc, à l'aide de l'analyse fréquentielle à modéliser la fonction :

$$F(x) = P(X > x) = 1 - F(x)$$

Où  $F$  est la fonction de répartition de  $X$ .

On ne cherche pas à la modéliser dans son ensemble, mais uniquement en queue de distribution, c'est à dire quand  $x > X$ .

Les événements hydrologiques qui touchent l'Algérie et en particulier la région de Biskra sont de nature exceptionnelle. Les dégâts sont très importants.

L'application des différentes méthodes d'analyse fréquentielle, le choix des meilleurs modèles, ainsi que l'estimation des paramètres en représentent le volet principal.

L'objectif principal de ce travail est d'estimer les événements extrêmes de débit correspondant à des périodes de retour données sur un site cible. Différentes distributions statistiques sont souvent utilisées en hydrologie fréquentielle. Lesquelles devront être considérées pour le cas d'oued Abiod dans la région de Biskra ?

## Présentation de la région d'étude

La région de Biskra a connu plusieurs événements hydrologiques extrêmes qui ont causé des inondations catastrophiques de par les dégâts humains et matériels. Cette région est prédisposée aux inondations car traversée par plusieurs cours d'eau qui fournissent les plus importants apports d'eau dépassant les 55 millions de  $m^3$ , soit (J-L. Ballais, 2010)

- L'oued Abiod à Foug el Gherza (fig. 1) : 20,7 millions de  $m^3$  – moyenne sur 42 ans ;
- L'oued el Haï à El Kantara : 18,4 millions de  $m^3$  – moyenne sur 16 ans ;
- L'oued Abdi à Djemorah, au nord de Biskra : 16,5 millions de  $m^3$  – moyenne sur 21 ans.

Le bassin versant de l'oued abiod est caractérisé par sa dissymétrie, une partie montagneuse au Nord à plus de 2000 m (Chelia) et une autre basse au Sud (295m El Habel). Il s'étale sur une superficie de 1300  $Km^2$  circonscrite par un périmètre de 200 Km avec une longer de 85 km du Talweg Principal . (Ces paramètres ont été brièvement présentés suite aux recommandations de Laaf).

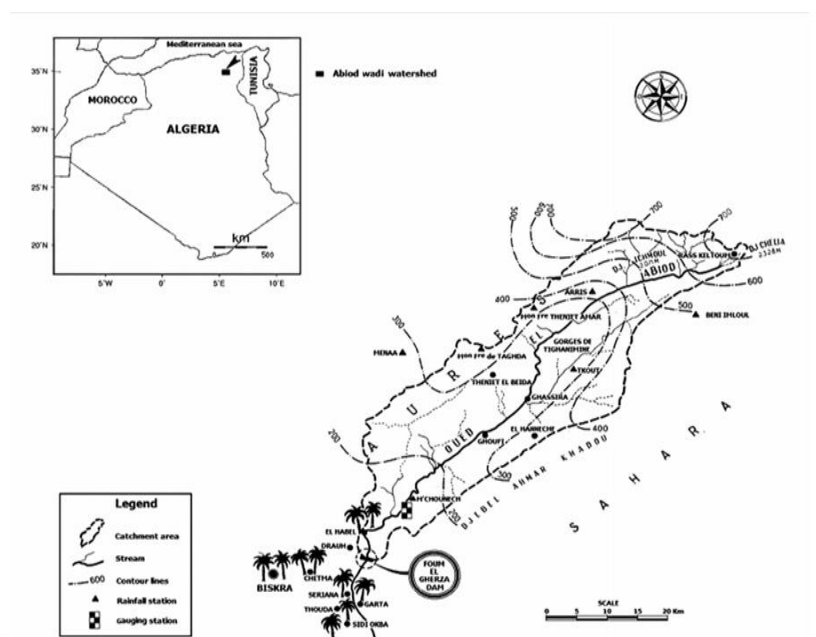


Figure 1. Présentation du bassin versant de l'Oued Abiod (Benkhaled et al, 2013)

**Historique de crues dans l'Oued Abiod :**

Les données de crues concernant l'Oued Abiod avant l'an 1950, sont très rares, voire inexistantes. En effet, seule Dalloni (1939) rapporte que seule la crue du 1<sup>er</sup> Juin 1920 reste relativement bien connue dont le débit maximal a atteint les 330 m<sup>3</sup>/s. Duesquoy (1949) admet que les débits de crues exceptionnelles dans ce même cours d'eau ne doivent pas dépasser les 500 m<sup>3</sup>/s. Les seules informations existantes dans les archives des études scientifiques (SES) ne rapportent que le degré d'importance des crues entre l'an 1935 à l'an 1941 comme le rapporte Dubief (1953) et comme le montre le tableau 1:

**Tableau 1:** Observations sur quelques crues de la période 1935-1941 (Dubief, 1953)

Date	Observation
Octobre 1935	Moyenne
Décembre 1935	Forte
Fevrier 1936	Moyenne
Aout 1937	Faible
Septembre 1937	Forte
Octobre 1937	Moyenne
Fevrier 1938	Moyenne
Avril 1938	Moyenne
Juin 1938	Faible
Octobre 1938	Moyenne
Décembre 1938	Très forte
Septembre 1941	Forte
Novembre 1941	Faible

Depuis l'année hydrologique 1949-1950, la régularisation du cours d'eau de l'Oued Abiod par le barrage de « Foum el Gherza » a permis de déterminer pour le reste de notre travail les apports d'eau journaliers d'où la mesure des débits maximums journaliers.

**Données :**

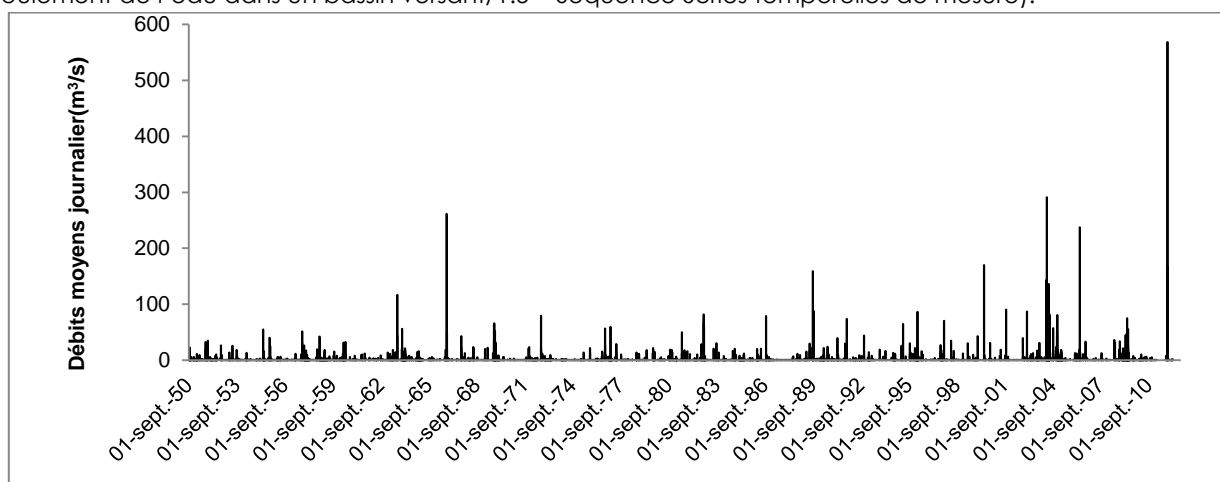
Les données dont nous disposons non pas fait l'objet de mesures tels que présenté dans ce mooc (semaine 1 : Ecoulement de l'eau dans un bassin versant/1.4 Instruments de mesure), mais ce sont des apports d'eau d'oued Abiod ont été collectés auprès des services de l'A.N.B.T de Biskra (Agence National des Barrages et des Transferts) et s'étalent sur la période 1950-2012.

Les apports sont transformés en débits moyens journaliers selon la formule suivante :

$$Q_{moyj} = \frac{A_{moyj}}{(24 * 3600)} \quad \text{en } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Où :  $Q_{moyj}$  : est le débit moyen journalier (m<sup>3</sup>/s) ;  $A_{moyj}$  : est l'apport moyen journalier (m<sup>3</sup>).

Nous disposons ainsi de 22 646 débits journaliers qui s'étalent sur 62 années d'observation, présentées Par l' hydrogramme de crues semblable à celui présenté dans ce mooc des rivières et des hommes (semaine 1 : Ecoulement de l'eau dans un bassin versant/1.5 Séquence Séries temporelles de mesure).

**Figure 2.** Chronique des débits journaliers d'oued Abiod (Période 1950-2012)

## Méthodologie

Pour l'étude des évènements à risque (crues de débit important ou précipitations de forte intensité), on s'intéresse aux évènements de fortes valeurs.

Deux approches sont possibles :

- Méthode des maxima annuels ;
- Méthode à seuil.

L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques, dont les étapes sont présentées dans le tableau N°2 :

**Tableau. 2:** Etapes de l'analyse fréquentielle inspiré de (Lang et Lavabre, 2007)

Étapes	Points clés	
	Méthode des maxima annuels	Méthode à seuil (POT)
(a) Echantillonnage : Extraction de valeurs maximales	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Extraction de valeurs maximales annuelles.</li> </ul> Hypothèses de base : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indépendance : Test de Wald-Wolfowitz</li> <li>• homogénéité : Test de Kendall</li> <li>• Stationnarité : Test de Wilcoxon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Extraction des valeurs supérieures à un seuil prédéterminé</li> </ul> Hypothèses de base : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indépendance : Test de Wald-Wolfowitz</li> <li>• homogénéité : Test de Kendall</li> <li>• Stationnarité : Test de Wilcoxon.</li> </ul>
(b) Validation d'une distribution théorique : Choix d'une distribution et d'une méthode d'estimation des paramètres	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Selon (Musy et Meylan, 1999), le choix du modèle fréquentiel est déterminant quant à la validité des résultats d'une analyse fréquentielle, seulement il n'existe pas de formule universelle pour choisir un modèle. Pour le cas des valeurs extrêmes, la loi GEV et Gumbel sont les mieux adaptées, (Koutsoyannis, 2004) estime que la loi de Gumbel est peu susceptible de s'appliquer aux valeurs extrêmes de variables hydrologiques et que la distribution de valeurs extrêmes du type II (EV2) est un choix plus cohérent. La différence entre les quantiles estimés sous une hypothèse d'une loi de Gumbel ou sous une hypothèse de la loi GEV est considérable. Pour une fréquence donnée, les quantiles d'une loi GEV peuvent être de deux fois ou trois fois plus importants que les quantiles d'une loi de Gumbel (Muller, 2006). Des études récentes ont montré que sur le plan de la pratique hydrologique, la distribution de Gumbel, bien que plus simple, ne fournit pas nécessairement les meilleurs résultats (Koutsoyannis, 2004; Benkhaled, 2007 ; Tramblay et al., 2008; Hebal et Remini, 2011; Benkhaled et al., 2013).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pour l'analyse des dépassements au-delà d'un seuil assez élevé, Belkma et Haans (1974) et Pickands (1975), ont introduit la loi de Preto généralisée, qui est une loi paramétrique considérée comme étant une distribution limite normalisée adaptée aux excès au-delà d'un seuil et est devenue d'une grande importance dans l'étude des valeurs extrêmes, La modélisation fondée sur la loi GPD comme composante d'un modèle de renouvellement dépassement est préférable à celle n'utilisant que la loi exponentielle: cette dernière n'est en effet qu'un cas particulier de la GPD (Bacro et Chaouche, 2006).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lois GEV (Loi Généralisée des valeurs extrêmes et loi de Gumbel) est retenue pour la méthode des maxima annuels.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lois de Pareto Généralisée pour la méthode des excès au-delà d'un seuil.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Test d'adéquation (Visuel et statistique) : Test choisi : Test du KHI<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Test d'adéquation (Visuel et statistique) : Test choisi : Test du KHI<sup>2</sup></li> </ul>
(c) Extrapolation aux évènements non observés	Limite de validité à fixer, en fonction de la qualité des données, de la taille de l'échantillon et de la bonne adéquation de la distribution théorique aux observations.	Limite de validité à fixer, en fonction de la qualité des données, de la taille de l'échantillon et de la bonne adéquation de la distribution théorique aux observations.

**Résultats :**

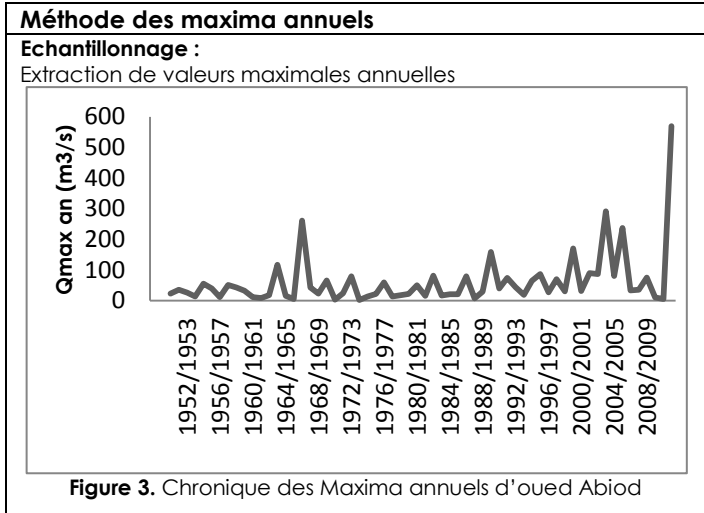


Figure 3. Chronique des Maxima annuels d'oued Abiod

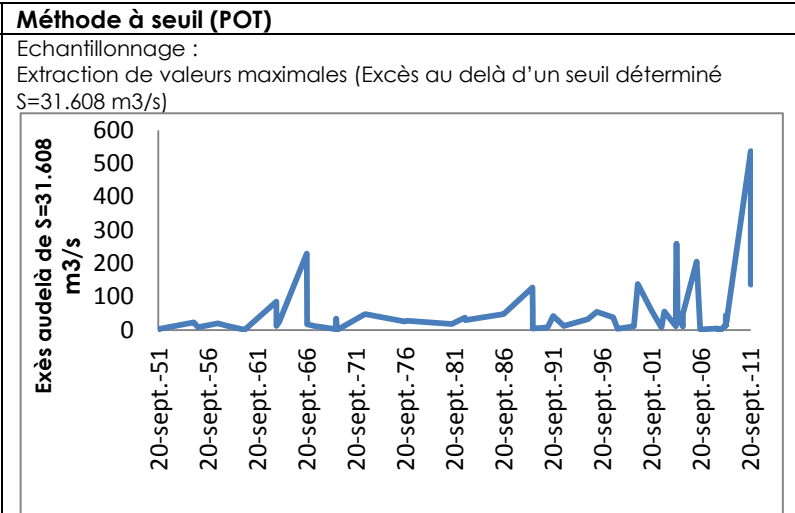


Figure 4. Chronique des Excès au delà du seuil S=31.08m³/s

**Vérification des hypothèses de base**

**Tableau. 3:** Résultats des tests relatifs aux hypothèses de base

Test	Wold- Wolfowitz	Kendall	Wilcoxon
Statistique	U  = 0.695	K  = 2.66	W  = 2.71
p-value	p = 0.487	p = 0.00782	p = 0.00671
H <sub>0</sub>	Acceptée	Rejetée	Rejetée

**Vérification des hypothèses de base :**

**Tableau. 4:** Résultats des tests relatifs aux hypothèses de base

Test	Wold- Wolfowitz	Kendall	Wilcoxon
Statistique	U  = 1.56	K  = 1.71	W  = 1.22
p-value	p=0.12	p = 0.0876	p = 0.224
H <sub>0</sub>	Acceptée	Acceptée	Acceptée

**Ajustement des maxima annuels :**

Les hypothèses de base n'étant pas vérifiées la méthode des maxima annuels ne peut être appliquée aux débits max de l'Oued Abiod, il est alors inutile d'aller plus loin dans l'application de cette méthode

**Ajustement des Excès à la loi de Pareto généralisée :**

En ajustant les excès au-delà de S=31.608 m³/s au modèle GPD, à l'aide de la méthode des moments et la méthode des moments, nous avons pu obtenir les paramètres de la loi suivants :  $\bar{\sigma} = 33.6474$  et  $\xi = -0.320$

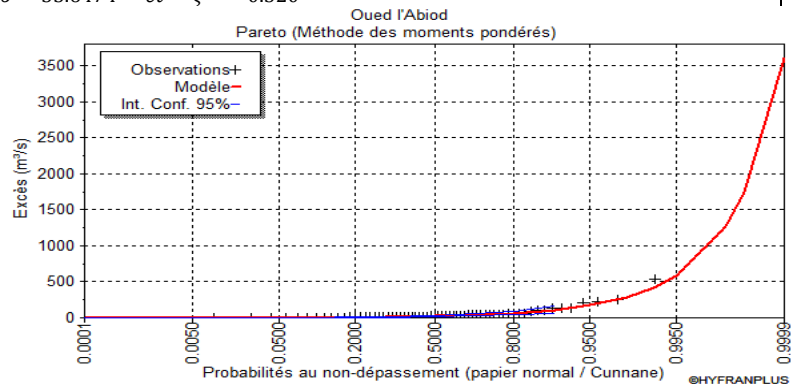


Figure 5. Ajustement de la loi de Pareto généralisée au excès au delà du seuil S = 31,608m³/s des débits max journaliers de oued Abiod

**Détermination des quantiles :**

L'ajustement du modèle GPD aux excès au-delà du seuil S=31.608 m³/s a été validé par le test du  $\chi^2$  ( $\chi^2$ ) avec une plus-value de 39.66%.

**Tableau. 5 :** Détermination des quantiles

Périodes de retour T(Années)	Niveaux de retour (Quantiles) m³/s (Méthode des moments pondérés)	
	50 ans	100 ans
Quantiles des excès au-delà de S=31.608m³/s	290.00	416.00
Quantiles augmentées du seuil (m³/s)	321.608	447.608

**Conclusion :**

La gestion du risque hydrologique ou risque d'inondation nécessite de bien connaître l'aléa (Le débit de crue) et l'enjeu à protéger afin de mettre en place les outils administratifs pour leur prévention et leur gestion (pour exemples ceux cités par CL61 dans le Mooc des rivières et des hommes utilisées pour le bassin versant de l'Huisne).

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la détermination de l'aléa et donc au comportement des débits maximaux d'oued Abiod, par rapport aux lois statistiques choisies. Les modèles statistiques approchés découlent de la Théorie des Valeurs Extrêmes.

Nous avons dans un premier lieu appliqué la méthode des maxima annuels aux débits max sélectionnés. En analysant ces crues maximales nous avons pu constater qu'elles sont plus fréquentes au mois de septembre avec douze (12) crues, contre soixante deux (62) crues.

Nous avons appliqué la méthode à seuil (POT), le choix du seuil s'est révélé très laborieux. Les méthodes de détermination du seuil sont détaillées en annexe.

Le choix du seuil  $S$  après les différentes spéculations s'est tablé sur le seuil  $S=31.906$  m<sup>3</sup>/s, ce seuil nous a permis de ne retenir 63 valeurs de débits. Les débits sélectionnés, ont tous le caractère extrême comparés aux débits max annuel sélectionnée précédemment. Le plus grand nombre de crues du mois de septembre avec quinze (15) crues sur soixante trois (63) a été remarquable.

L'Indépendance, la stationnarité et l'homogénéité des données ont été vérifiées et concluent à leur acceptation au niveau de signification de 5%. La méthode à seuil POT est donc applicable aux débits de l'Oued Abiod.

Enfin l'adéquation de l'ajustement des débits à la loi GPD a été vérifiée et accepté à l'aide de la loi du Khi<sup>2</sup>. Au-delà du seuil  $S= 31.906$  m<sup>3</sup>/s, la loi GPD est applicable aux débits max journaliers de l'Oued Abiod.

Dans ce travail, l'application d'une analyse fréquentielle aux débits moyens journaliers de l'Oued Abiod reconstitués à partir des apports journaliers de l'an 1950 à l'an 2012, au droit du barrage de Foug el Gherza a donné un résultat positif pour la méthode POT.

Cette même analyse bien que laborieuse peut être appliquée à d'autres données plus étendues et plus détaillées tels que les débits horaires mesurés, ou à un autre type de variables hydrologiques telles que les précipitations extrêmes.

Des événements hydrologiques survenus pendant les trois dernières années pourront être pris en compte dans le futur, et conduiraient certainement à améliorer les résultats de cette étude. Il serait aussi intéressant d'exploiter les archives avant 1950 afin d'inclure d'autres événements passés.

**Recommandations :**

Les résultats obtenus à l'issue de notre étude qui ont été appliquées aux débits de l'Oued labiod pourront bien servir à la gestion administrative et des risques d'inondation en amont du barrage de Foug el Gherza qui régularise l'oued en question.

Des méthodes de gestion du risque d'inondation qui peuvent être utilisées dans ce cas là (Ancey, 2012), on peut citer les méthodes cartographiques mises en place au Canada, aux USA et en France (y compris celles proposées par CL61).

Ces méthode consistent généralement en la détermination des zones à risque, et d'en éloigner les enjeux à protéger, dont (Ancey, 2012, Blin et al, 2005):

- Le zonage (Ancey, 2012),
- La méthode inondabilité ( Cemagref, 1990),
- La cartographie des risques dans le cadre de la convention Canada-Québec et du PDDC,
- La cartographie des zones d'assurabilité des Etats unis,
- La cartographie des risques unitaires d'endommagement par inondation

**Synthèse de la confrontation avec les travaux des autres membres du groupe :**

En plus du terrain accidenté **Terbal** dans l'exposition de sa problématique a parlé d'un aspect très important d'origine anthropique qui détient un rôle dans l'apparition des inondations dans la ville de Yaoundé qui est l'exode rurale, car l'urbanisation des bassins versant fait que les quantités d'eau ruisselées augmentent par rapport à son état avant urbanisation (ce qui appuie la séquence abordée dans ce mooc : effet de l'urbanisation présentée par Oldrich Navartil ), dommage que ce dernier n'a pas été plus explicite dans son travail afin d'en savoir plus sur les démarches entreprises.

**CL61** nous a permis de prendre connaissance des différentes méthodes de gestion des inondations (Institutions et outils administratifs) dans le bassin versant dans l'Huisne, à savoir le PPRI, SAGE et le CRBV, ainsi que les méthodes de calcul de débit utilisées.

**Laaf** a pour lui fait le tour de la gestion du risque d'inondation par débordement des rivières, et a touché à tous les aspects, rien à dire, seulement il aurait pu déterminer les apports d'eau de débits à l'aide de méthodes statistiques, en tenant en compte ainsi l'information historique c'est à dire les crues catastrophiques que la région a déjà connue.

Les sujets abordés par les membres du groupe s'inscrivent bel et bien dans la thématique C (inondations par débordement des rivières et sont complémentaires à mon sens , car nous n'avons pas traité un même problème):

Une bonne gestion des risques d'inondation par débordement de rivière peut se faire comme suit :

- Détermination des débits max de crues (méthodes empiriques comme celles qu'a présenté Laaf ou statistiques comme celle que moi-même j'ai présenté,...) ;
- Retracer le chemin hydraulique du cours d'eau (Terbal) ;
- Simulation pour voir la montée d'eau et les zones d'accumulation, c'est-à-dire déterminer les zones inondables par le débordement des rivières (Abordé par Terbal);
- Mettre en place les outils de gestion administrative des inondations (Comme celles énoncées par CL61 et utilisées dans le bassin de l'Huisne).

## Références

**ANCEY.C.(2012)** *Risques hydrologiques et aménagement du territoire version 7.1 du 6 septembre 2012.*

**BACRO.J-Net CHAOUCHE.A.(2006).** Incertitude d'estimation des pluies extrêmes du pourtour méditerranéen: illustration par les données de Marseille. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 51 (3) juin 2006.

**BALKEMA.A.A. et HAAN. L. (1974).** Residual lifetime at great age. *Ann. Probab.* 2, 792–804.

**BALLAIS J-L. (2010)** Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara algérien. *Physio-géo-Volume 4/2010* p-107-127.

**BENKHALED, A., HIGGINS, H., CHEBANA, F. AND NECIR, A. (2013).** Frequency analysis of annual maximum suspended sediment concentrations in Abiod wadi, Biskra (Algeria). *Hydrological Processes*

**BENKHALED. A. (2007).** Distribution des Pluies Maximales Annuelles Dans la région u Chélif, Comparaison des techniques et des résultats, *Courrier du Savoir – N°08, Juin 2007*, pp.83-91.

**BLIN.P et al. (2005).** *Cartographie du risque unitaire d'endommagement (CRUE) par inondations pour les résidences unifamiliales du Québec.* *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 18, n° 4, 2005, p. 427-451

**DALLONI. M. (1939).** *Géologie appliquée de l'Algérie.* Masson et Cie.

**DUBIEF. J. (1953).** *Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara, GGA, Direction du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique. Service des Etudes Scientifiques : Alger ; 457.*

**DUQUESNOY. M. (1949).** *Barrage de Foug el Gherza. Terres et Eaux 7 : 4*

**HEBAL, A. AND REMINI, B. (2011).** Choix du modèle fréquentiel le plus adéquat à l'estimation des valeurs extrêmes de crues (cas du nord de L'Algérie). *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38, 8, 881-892

**KOUTSOYANNIS. D. (2004).** Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records, *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, **49**(4) August 2004

**LANG. M , LAVABRE. J. (2007).** Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations ; *Collection Update sciences et technologies*, 232 pages.

**MEYLAN. P., MUSY. A. (1999).** *Hydrologie fréquentielle*, Editions H.G.A Bucarest, 413 pages

**MULLER. A. (2006).** Comportement asymptotique de la distribution des pluies extrêmes en France, (Université de Montpellier II).

**PICKANDS J. (1975).** Statistical inference extreme order statistics. *The Annals of Statistics* 3: 119–130.

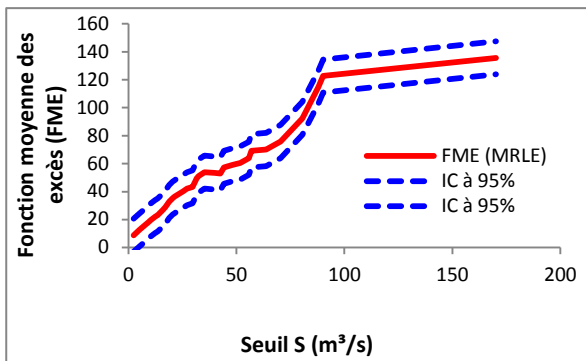
**TRAMBLAY Y, ST-HILAIRE A, OUARDA T B M J. 2008.** Frequency analysis of maximum annual suspended sediment concentrations in North America. *Hydrological Sciences Journal* **53** : 236–252.

**Annexe :****Méthode à seuil (POT)****Choix du seuil :**

Le choix du seuil se fait généralement à l'aide de deux méthodes complémentaires. La première méthode consiste en la construction du graphique appelé communément Mean Residual Life Plot (MRLE), et de retenir le seuil à partir duquel le MRLE présente une certaine linéarité. La deuxième méthode consiste en l'ajustement de plusieurs modèles GPD en utilisant plusieurs seuils. Ainsi la stabilité des paramètres de la loi déterminera le seuil à choisir.

**Méthode expérimentale:**

La linéarité de la fonction est observée principalement au-delà de  $S = 90,197 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le seuil  $S = 90,197$  reste très élevé car ne présentant que 11 valeurs le dépassant, ce qui est insuffisant, et ferait perdre à la méthode POT tout son intérêt qui est le gain d'information (fig.1)



**Figure 1.** Mean Residual Life Plot pour les débits moyens journaliers de l'Oued l'Abiod

On remarquera que plus le seuil est grand, plus la fonction moyenne des excès augmente. La linéarité de la fonction est observée principalement au-delà de  $S = 90,197 \text{ m}^3/\text{s}$ . La linéarité de la fonction moyenne des excès au-delà d'un seuil indique que les valeurs dépassant ce même seuil suivent une loi GPD (Huser, 2008). Il serait plus rassurant de choisir ce même seuil pour cette méthode pour l'éventuelle stabilité des paramètres d'ajustement. Néanmoins le seuil  $S = 90,197 \text{ m}^3/\text{s}$  reste très élevé car ne présentant que 11 valeurs le dépassant, ce qui est insuffisant, et ferait perdre à la méthode POT tout son intérêt qui est le gain d'information.

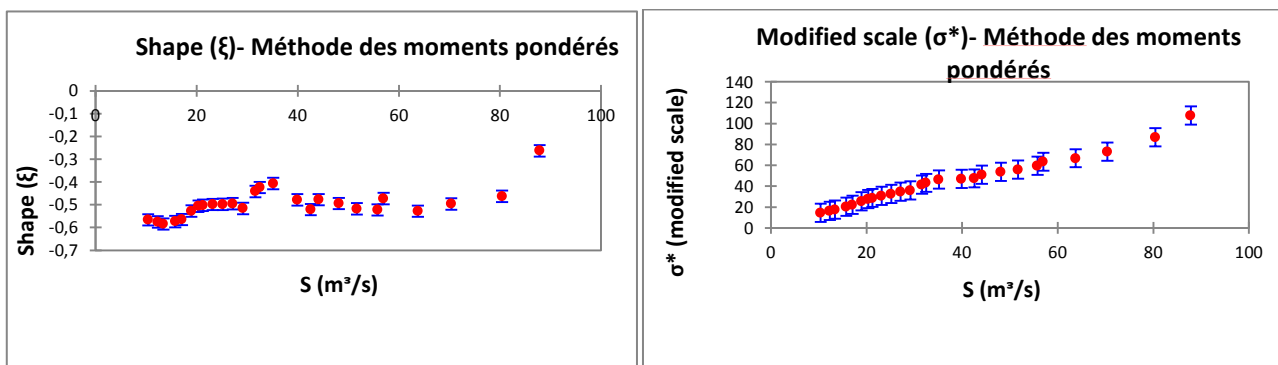
Où FME : représente la fonction moyenne des excès ;  
IC à 95% : Intervalle de confiance à 95%

**Méthode d'Ajustement de la loi GPD**

Cette méthode est complémentaire à la précédente, celle-ci consiste en l'ajustement de la loi GPD à une série de seuils, pour notre cas, allant de  $10,405 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $87,859 \text{ m}^3/\text{s}$  tout en vérifiant à la fois l'indépendance des données et la stabilité des paramètres de la loi. L'ajustement des données à la loi GPD a été effectué à l'aide de la méthode des moments et la méthode des moments pondérés. Les résultats de ces ajustements sont représentés dans les figures 5 a et b.

(a)

(b)



**Figure 2 a et b.** Estimation des paramètres de forme  $\xi$  et d'échelle modifiée  $\sigma^*$  de la loi de Pareto généralisée en fonction du seuil  $S$  par la méthode des moments pondérés



Ces résultats ne nous permettent pas de prendre une décision quant au choix du seuil, le recours à la représentation des niveaux de retour en fonction du seuil est nécessaire et sera déterminant pour le choix du seuil (fig. 2 a et b)

Par ailleurs, et pour affiner le travail, des niveaux de retours seront déterminés, pour des seuils compris entre  $S = 20,359 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $S = 48,137 \text{ m}^3/\text{s}$ , en choisissant des périodes de retour de 50 et 100 ans.

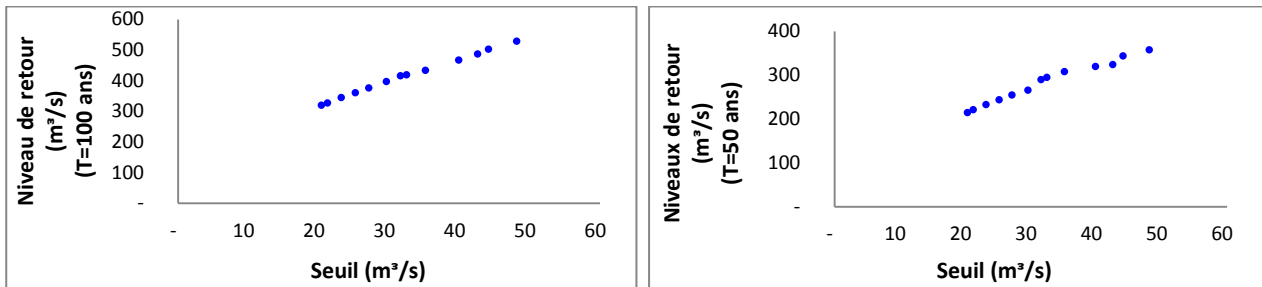


Figure 3 a et b . Evolution des niveaux de retour (Quantiles) pour différentes périodes de retour en fonction du seuil (ajustement par la méthode des moments pondérés)

Les quantiles (niveaux de retour) sont clairement instables en dessous du seuil  $S = 29,618 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le choix d'un seuil qui serait inférieur à cette valeur serait mauvais.

Pour les périodes de retour  $T = 50$  ans et  $T = 100$  ans les valeurs des quantiles sont relativement proches entre  $S = 31,608 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $S = 32,477 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il semble difficile, à l'issue de ces résultats, de prendre une décision ferme et avec certitude. On choisira de prendre la plus faible valeur de seuil qui représente plus ou moins une stabilité des quantiles déterminés à l'aide de la méthode des moments pondérés qui est la valeur de  $S = 31,608 \text{ m}^3/\text{s}$ .