

**Modélisation du régime de crue en Débit – durée – Fréquence
du bassin de l'oued Mekerra dans l'ouest Algérien**
Watershed flood regime modelling with the
Flow-duration-Frequency approach as applied to the oued
Mekerra catchment in western Algeria

Abdelhalim Yahiaoui, Bénina Touaïbia, Christophe Bouvier and Nouredine Dechemi

Volume 24, Number 2, 2011

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1006105ar>
DOI: <https://doi.org/10.7202/1006105ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (print)
1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Yahiaoui, A., Touaïbia, B., Bouvier, C. & Dechemi, N. (2011). Modélisation du régime de crue en Débit – durée – Fréquence du bassin de l'oued Mekerra dans l'ouest Algérien. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 24 (2), 103–115. <https://doi.org/10.7202/1006105ar>

Article abstract

Flow-duration-Frequency (QdF) modelling is used to represent the watershed flood regime and is used for the predetermination of flood characteristics, on both gauged and ungauged watersheds in the range of observed and rare floods. The QdF models answer questions relevant to integrated river management. In the present paper, we have emphasized the basic notions and concepts underlying the QdF models, and then described the conditions of application of QdF models to be used in the case of a north-west Algerian catchment, the oued Mekerra. Both local and regional models were compared. The local model was directly drawn from statistical analysis of the average volume flow (VCXd) during a duration d, derived from time series at the Sidi-Bel-Abbès station. Different regional QdF models (Vandenesse, Florac or Soyans) were also applied, using the local instantaneous maxima flow annual decade (QIXA10) and the local duration of the characteristic flood of the catchment (D). The comparison showed that the Soyans model for the lower frequency and Florac model for the higher ones is the QdF reference model of the oued Mekerra catchment. This would be useful in order to apply QdF method for ungauged catchment of Algeria. However, some additional cases should be studied to confirm these conclusions.

MODÉLISATION DU RÉGIME DE CRUE EN DÉBIT – DURÉE – FRÉQUENCE DU BASSIN DE L'OUED MEKERRA DANS L'OUEST ALGÉRIEN

Watershed flood regime modelling with the Flow-duration-Frequency approach as applied to the oued Mekerra catchment in western Algeria

ABDELHALIM YAHLIAOUI^{1*}, BÉNINA TOUAÏBLA², CHRISTOPHE BOUVIER³, NOUREDDINE DECHEMI⁴

¹Département Hydraulique, Université de Bechar, B.P. 417, 08000 Bechar, Algérie

²Laboratoire d'Hydrologie, École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, B.P. 31, 09000 Blida, Algérie

³HydroSciences, UMR 5569, UM2/CNRS/IRD, Maison des Sciences de l'Eau, Place Eugène Bataillon CC MSE,
34095 Montpellier Cedex, France

⁴Laboratoire Construction et Environnement, École Nationale Polytechnique, 10, Avenue Hassen Badi,
B.P. 16182, El-Harrach, Alger, Algérie

Reçu le 20 février 2010, accepté le 12 juillet 2010

RÉSUMÉ

La modélisation QdF (Débit-durée-Fréquence) est un moyen de représenter le régime de crue d'un bassin versant et constitue un outil bien adapté à la prédétermination des crues rares et extrêmes. Cet article a pour objectif d'étudier les conditions d'application de la modélisation QdF et, par conséquent, la détermination des courbes correspondantes sur le bassin versant de l'oued Mekerra, dans le Nord-Ouest algérien. Les courbes QdF sont d'abord déterminées localement, directement à partir d'une analyse statistique des débits moyens (VCXd) sur différentes durées, à partir des données disponibles à la station de Sidi-Bel-Abbès. Ces courbes sont ensuite comparées à celles obtenues en appliquant différents modèles régionaux (Vandenesse, Florac ou Soyans), dans lesquels sont pris en compte deux indices de la crue caractéristique du bassin versant, une durée descriptive de la dynamique des crues (D) et le débit instantané de période de retour dix ans (QIXA10). Les modèles régionaux les plus

proches du modèle local sont le modèle Soyans pour les périodes de retour inférieures à 100 ans, et le modèle de Florac pour les périodes de retour supérieures à 100 ans. Ces résultats pourront être exploités pour construire des courbes QdF sur des bassins algériens non jaugés. Il est cependant nécessaire de répéter cette étude sur d'autres bassins afin de confirmer ces premiers résultats.

Mots-clés : *QdF (Débit-durée-Fréquence), débit moyen (Volume) caractéristique, prédétermination de crue, ajustement, Vandenesse, Soyans, Florac.*

ABSTRACT

Flow-duration-Frequency (QdF) modelling is used to represent the watershed flood regime and is used for the

*Auteur pour correspondance :

Téléphone : + 213 49 81 55 81

T.élecopieur : + 213 49 81 52 44

Courriel : yahliaoui_balim@yahoo.com

predetermination of flood characteristics, on both gauged and ungauged watersheds in the range of observed and rare floods. The QdF models answer questions relevant to integrated river management. In the present paper, we have emphasized the basic notions and concepts underlying the QdF models, and then described the conditions of application of QdF models to be used in the case of a north-west Algerian catchment, the oued Mekerra. Both local and regional models were compared. The local model was directly drawn from statistical analysis of the average volume flow (VCXd) during a duration d, derived from time series at the Sidi-Bel-Abbès station. Different regional QdF models (Vandenesse, Florac or Soyans) were also applied, using the local instantaneous maxima flow annual decade (QIXA10) and the local duration of the characteristic flood of the catchment (D). The comparison showed that the Soyans model for the lower frequency and Florac model for the higher ones is the QdF reference model of the oued Mekerra catchment. This would be useful in order to apply QdF method for ungauged catchment of Algeria. However, some additional cases should be studied to confirm these conclusions.

Key words: *QdF (Flow-duration-Frequency), characteristic flow (Volume), flood prediction, fitting, Vandenesse, Soyans, Florac.*

1. INTRODUCTION

Les inondations constituent l'un des risques naturels les plus importants et affectent quasiment toutes les régions du monde. En Algérie, les inondations sont caractérisées par des montées brutales des oueds, caractéristiques des régions semi-arides. En avril 2007, le débordement de l'oued Mekerra a conduit à un bilan de six morts et six blessés et plus de 300 familles sinistrées.

L'étude des crues qui engendrent des inondations catastrophiques a fait l'objet de nombreuses recherches. Lorsque les données sont disponibles pour un grand nombre d'années, l'analyse fréquentielle des débits (YAHIAOUI, 1997) et les méthodes hydrométéorologiques (GUILLOT et DUBAND, 1967; MARGOUM, 1992) telles que le GRADEX et AGREGEE sont des approches privilégiées pour étudier les régimes de crue et obtenir une prédétermination des crues rares et extrêmes. Cependant, l'analyse fréquentielle ne caractérise en général que les débits de pointe ou débit maximal des crues, et doit être complétée par des traitements visant à déterminer les dépassements de seuils de débits pour différents intervalles de temps jugés critiques au regard de la vulnérabilité du milieu. La prise en compte de ces dépassements de seuils est une information indispensable dans une analyse probabiliste des crues (GILARD, 1998). Lors de l'étude des régimes de crues des bassins versants, il est nécessaire, pour la compréhension des développements ultérieurs, de prêter une attention

particulière à la notion de la « durée » qui intervient dans un bon nombre de concepts hydrologiques, la caractérisation de l'écoulement d'un bassin versant, la demande sociale en matière de besoins, de risques de dégâts, etc., toutes choses étroitement liées aux événements hydrologiques temporels (GALÉA et PRUDHOMME, 1997).

Les recherches menées au Cemagref autour de la modélisation régionale ont permis d'aboutir à la mise au point de modèles dits QdF (Débit – durée – Fréquence) des principaux régimes hydrologiques de crue. La modélisation QdF, de plus, s'intéresse aux débits maximums instantanés et aussi à l'analyse des caractéristiques relatives à différentes durées d pour affecter à un débit moyen (volume) maximal VCXd une fréquence. Cette représentation a été initiée par l'Institut d'Hydrologie de Wallingford (NERC, 1975) pour les crues. Cette méthodologie a connu des développements multiples au Cemagref : l'approche QdF de type bassin de référence en crue (GALÉA et PRUDHOMME, 1997) et en étiage (GALÉA *et al.*, 1997), et récemment le modèle QdF convergent (GALEA *et al.*, 2000, JAVELLE, 2001 et JAVELLE *et al.*, 2002). Les courbes QdF peuvent être exploitées pour construire des hydrogrammes de projet (SAUQUET *et al.*, 2004) qui présentent des caractéristiques en débit homogènes en fréquence.

Les notions de base et concepts à l'origine de la modélisation QdF ont été présentés par OBERLIN *et al.*, (1989). L'application de cette modélisation à trois bassins versants : Vandenesse, Soyans et Florac choisis, d'une part, pour leur diversité hydro-climatologique et, d'autre part, pour la disponibilité de l'information hydrologique, permet de définir une typologie régionale des régimes d'écoulement, ce qui lui confère une large représentativité spatiale (GALÉA et PRUDHOMME, 1997). Il a ainsi été montré que les régimes de crue pouvaient être convenablement décrits à l'aide des trois modèles régionaux de Vandenesse, Soyans et de Florac, les noms des bassins représentatifs retenus pour chacune des régions en question. D'autres études ont cherché à généraliser la modélisation QdF, soit d'un point de vue conceptuel (JAVELLE, 2001), soit d'un point de vue géographique, en testant la méthode dans d'autres régions (MEUNIER, 2001).

L'objectif de cet article est de déterminer le modèle QdF de type bassin de référence aux crues du bassin versant de l'oued Mekerra dans l'Ouest algérien en zone semi-aride. On cherchera tout d'abord à évaluer l'adéquation de ces caractéristiques à différents modèles régionaux, notamment à ceux établis en zone méditerranéenne, afin de fournir un outil exploitable dans l'étude de l'aléa et de la vulnérabilité sur d'autres sites algériens.

On déterminera les courbes QdF locales à partir d'ajustements statistiques adéquats réalisés sur les séries de débits moyens (volumes) caractéristiques VCXd de durée d.

On comparera les résultats obtenus en matière de quantiles aux quantiles issus des différents modèles QdF de type bassin de référence établis suivant les caractéristiques locales des écoulements et des modèles régionaux définis en France. On conclura sur l'appartenance du bassin versant de l'oued Mekerra à un bassin de référence pour telle ou telle période de retour.

2. LA ZONE D'ÉTUDE ET LES DONNÉES DISPONIBLES

2.1 Le bassin versant de l'oued Mekerra

La wilaya de Sidi-Bel-Abbès subit fréquemment des précipitations torrentielles qui se traduisent par des inondations

catastrophiques et meurtrières. Les inondations du 2 octobre 1994 et juillet 2000 qui ont touché la ville de Sidi-Bel-Abbès et celle d'avril 2007 à Moulay Slissen (44 km au sud du chef-lieu de la wilaya) sont des exemples où il y a eu des pertes humaines et des dégâts matériels très importants.

Le bassin versant de l'oued Mekerra fait partie du grand bassin versant de la Mecta dans le Nord-Ouest Algérien (Figure 1). Il se trouve à environ 400 km à l'ouest d'Alger, entre $0^{\circ} 30'$ et 1° de longitude O et entre $34^{\circ} 20'$ et $35^{\circ} 15'$ de latitude N. Il couvre une superficie de 3 000 km² environ, qui développe un talweg d'une longueur de 115 km, qui prend sa source dans les hauts-plateaux à Ras El Ma, jusqu'à la ville de Sidi-Bel-Abbès, en traversant une agglomération assez encaissée en amont dans les terrasses fluviales où les débordements des écoulements ne causent aucun dégât considérable. Le cours d'eau débouche en aval dans la plaine alluviale dont la pente ne dépasse que rarement les 0,2 % engendrant des vitesses

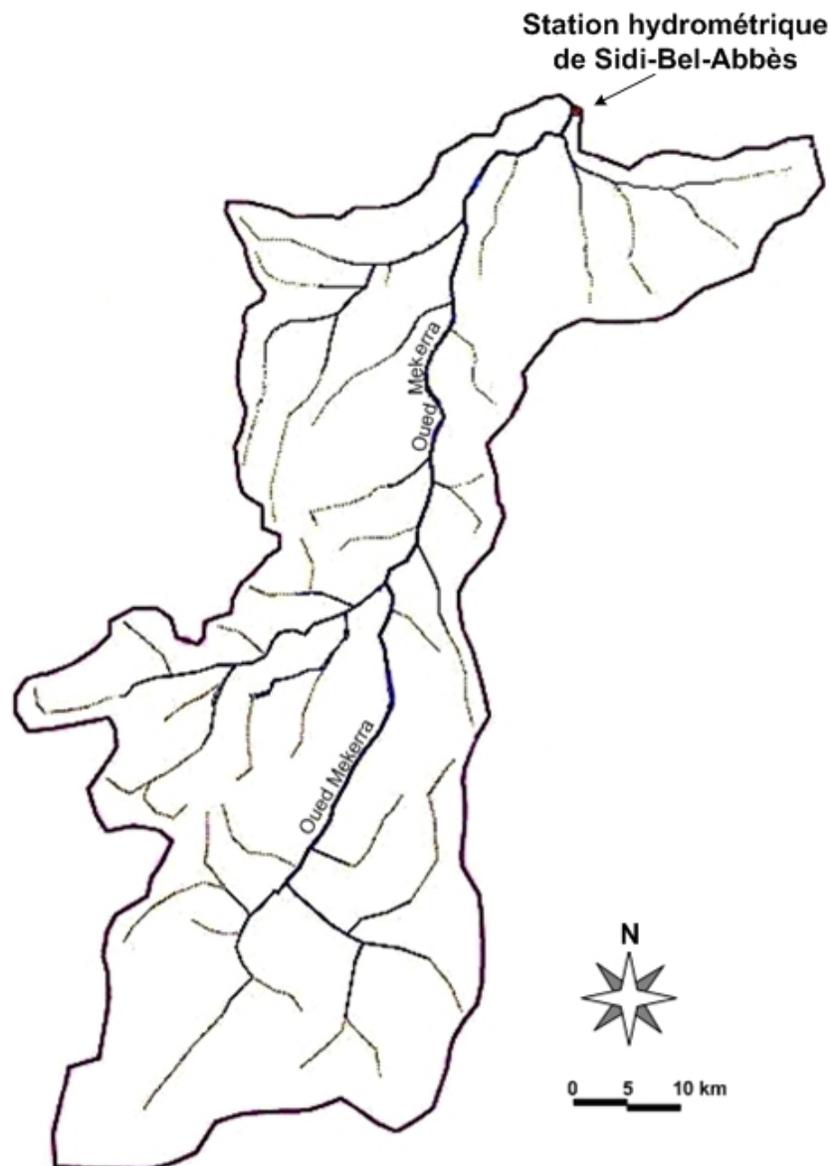


Figure 1. Bassin versant de l'oued Mekerra.
Oued Mekerra catchment.

d'écoulement relativement faibles, causant ainsi des dépôts qui obturent pratiquement le lit du cours d'eau.

Le bassin versant de l'oued Mekerra est soumis à un climat semi-aride caractérisé par des précipitations très irrégulières occasionnant d'importantes crues dont les effets se font ressentir dans l'agglomération de Sidi-Bel-Abbès. La précipitation maximale annuelle décennale à la station pluviométrique de Sidi-Bel-Abbès est de 141 mm.

2.2 Acquisition des données

Pour étudier le régime de crue du bassin versant de l'oued Mekerra, les données hydrométriques disponibles relatives à la station hydrométrique de Sidi-Bel-Abbès (code 110301) qui existe à l'exutoire du bassin (Figure 1), sont les crues observées sous forme d'hydrogramme à pas de temps horaires, et les débits instantanés maxima annuels QIXA, pour une période d'observation couvrant les années hydrologiques de 1947-48 à 1960-61, de 1968-69 à 1970-71 et de 1974-75 à 1999-2000, soit 46 ans. Ces données ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Alger.

La série des QIXA possède une moyenne arithmétique de $46,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et un écart-type de $48,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, et suivant les tests relatifs à l'échantillonnage de GRUBBS et BECK (1972), MANN et WHITNEY (1947) et de WALD et WOLFOWITZ (1943), la série des QIXA est indépendante, homogène, et ne présente aucune singularité dans ses éléments.

3. INDICES ET DÉBITS CARACTÉRISTIQUES

Le concept de la modélisation QdF (Débit – durée – Fréquence) a été établi sur des bases objectives (GALEA et PRUDHOMME, 1993, 1997) et son extension à des bassins versants non jaugés fournit une description fréquentielle théorique multi-durée des quantiles de crue. Elle s'intéresse essentiellement à deux variables hydrologiques représentatives du régime de crue d'un bassin extraites de la chronique annuelle des débits $Q(t)$. En plus des variables hydrologiques, deux indices du régime de crue du bassin versant sont essentiels à déterminer, à savoir le débit instantané maximal annuel décennal QIXA10 et la durée caractéristique de crue du bassin versant D.

3.1 Estimation du QIXA10

L'ajustement statistique de la série des débits instantanés maximums annuels QIXA à la loi de Gumbel (Figure 2) est adéquat selon les tests d'adéquations (PPC, KS et RMSD). QIXA10 n'est autre qu'une estimation suivant cet ajustement du quantile de débit pour la période de retour décennale, qui vaut dans le cas de l'oued Mekerra $110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.2 Détermination de la durée caractéristique de crue du bassin versant D

Nous retiendrons comme définition de la durée caractéristique d'une crue d_s la durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe Q_s est continument dépassée.

Pour chaque crue observée et enregistrée au niveau de la station hydrométrique de Sidi-Bel-Abbès, sa durée caractéristique d_s et son débit de pointe Q_s ont été déterminés. Dans un plan (Q_s, d_s) , la durée caractéristique de crue du bassin versant D au sens de la méthode de SOCOSE (CTGREF *et al.*, 1980-1982) est définie comme étant la valeur de la médiane conditionnelle des d_s pour la valeur du débit instantané maximal annuel décennal QIXA10 correspondant (Figure 3). Pour le cas du bassin versant de l'oued Mekerra, la durée caractéristique de la crue est estimée à dix heures.

Si, dans la méthode du Gradex, une seule durée est utilisée voisine de 2D, des études ultérieures (JIN et GALEA, 1990) ont montré une certaine souplesse sur le choix de la durée d de l'intervalle $[D/2, 5 \text{ à } 6D]$. Par conséquent, la valeur de la durée d est choisie dans l'intervalle $[5; 50]$ heures.

À partir de l'hydrogramme continu $Q(t)$ de la chronique annuelle, et pour un intervalle de temps $[t_0, t_0 + d]$, le débit moyen (Volume) caractéristique sur une durée d VCd correspondant au volume d'eau V écoulé pendant la durée d est :

$$VCd = \frac{1}{d} \int_{t_0}^{t_0+d} Q(t) dt \quad (1)$$

Pour la même durée d, un débit seuil caractéristique dépassé QCd peut être défini, c'est-à-dire :

$$QCd = \min[Q(t)] \text{ pour } t_0 \leq t \leq t_0 + d \quad (2)$$

Le balayage de tout l'hydrogramme $Q(t)$ permet de déterminer, pour chaque durée d incrémentée d'un pas de temps d'une heure, une séquence de débits moyens (Volume) VCd.

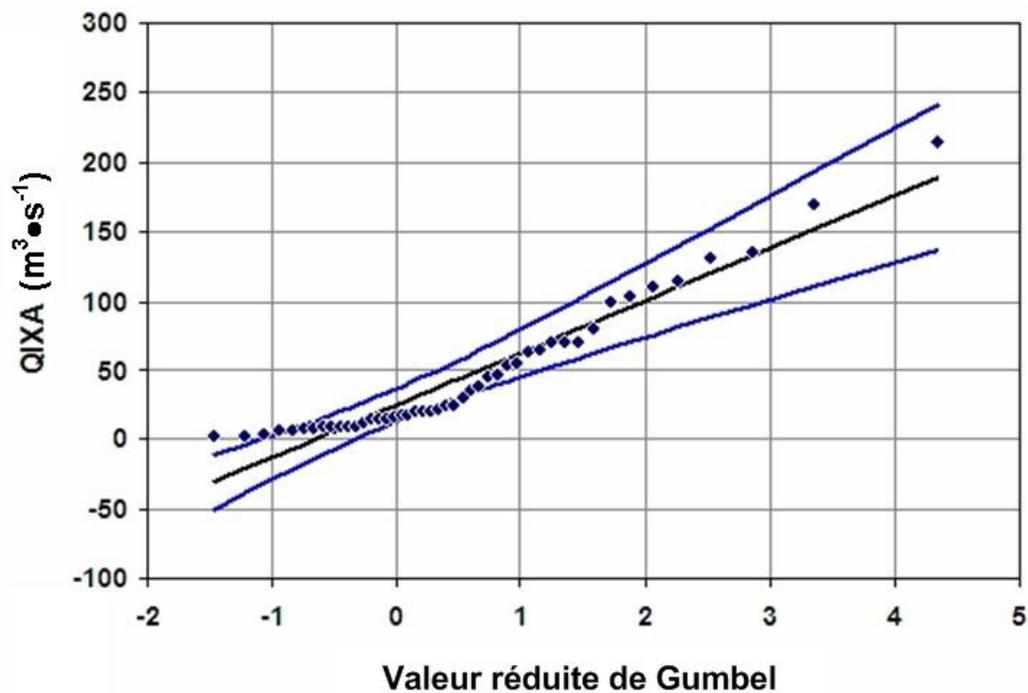


Figure 2. Ajustement et intervalles de confiance (95 %) de la série des débits instantanés maxima annuels QIXA (Débit (Q) Instantané maXima Annuel).
Fitting and 95% confidence limits of the annual instantaneous maxima flow sample (QIXA).

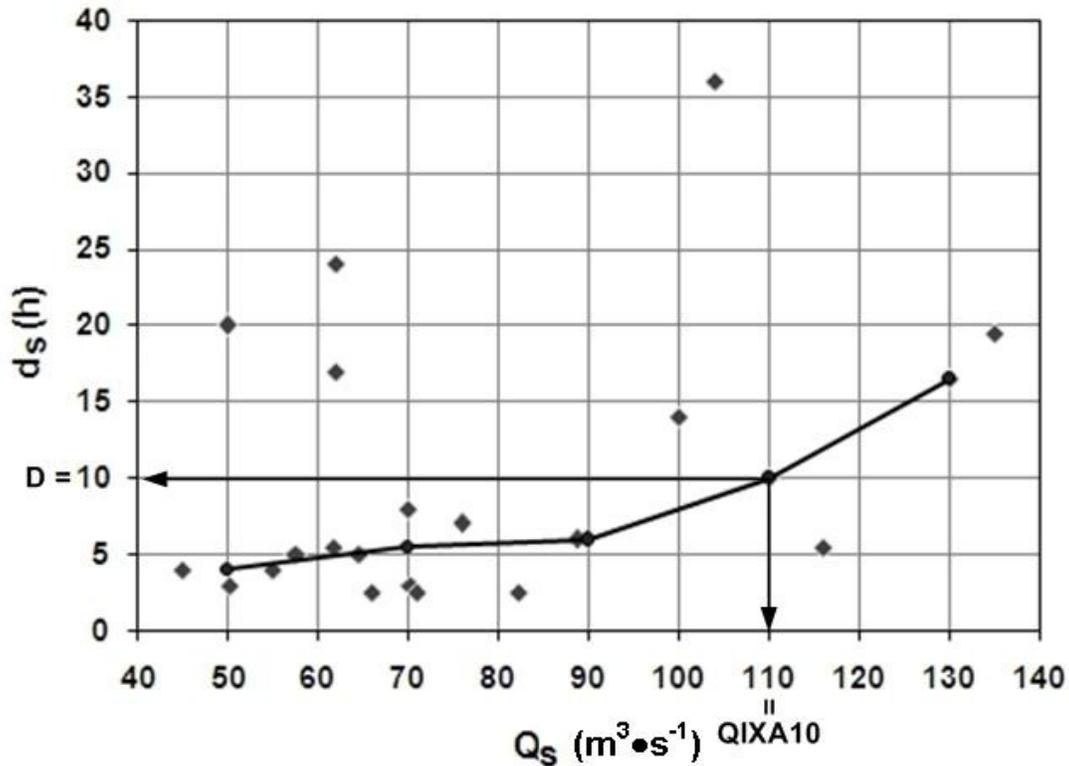


Figure 3. Estimation de la durée caractéristique de crue du bassin versant de l'oued Mekerra.
Estimation of the characteristic flood duration of the oued Mekerra catchment.

Le choix des plus forts débits caractéristiques VCd, qui correspondent aux épisodes de crues de chaque chronique annuelle, permet de former une série des débits moyens (Volumes) caractéristiques sur une durée continue d, maXimal (VCXd) (GILARD, 1998).

Selon cet échantillonnage, les séries VCXd de l'oued Mekerra (Figure 4) sont indépendantes homogènes, stationnaires et ne présentent pas de singularité, suivant les tests relatifs à l'échantillonnage de GRUBBS et BECK (1972), MANN et WHITNEY (1947) et de WALD et WOLFOWITZ (1943). L'ajustement des séries VCXd selon la loi du Gumbel (Figure 5) est satisfaisante. Les tests d'adéquation : coefficient de corrélation PPC (Probability Plot Correlation) (FILLIBEN, 1975; VOGEL, 1986), de Kolmogorov – Smirnov KS et de la Racine de l'Écart Quadratique Moyen (RMSD), montrent que les séries VCXd proviennent d'une population de Gumbel.

Les quantiles VCXdT de débits moyens (volume) maxima, pour une durée d et de période de retour T, peuvent être facilement calculés. Ils traduisent le Débit – durée – Fréquence (QdF) local issu de l'ajustement statistique à la loi de Gumbel.

4. APPLICATION DES MODÈLES QdF DE TYPE BASSIN DE RÉFÉRENCE

Un modèle QdF de type bassin de référence permet de traduire sous une forme synthétique opérationnelle la grande variabilité spatio-temporelle des débits VCXd d'un bassin versant, observés ou non (GALEA et PRUDHOMME, 1994). La représentation formelle des modèles QdF en VCX (est :

Pour $0,5 \leq T(\text{an}) \leq 20$: généralisation d'une loi exponentielle à deux paramètres adaptée aux valeurs extrêmes, en fonction de d/D et QIXA10 :

$$\frac{VCXdT}{QIXA10} = \frac{A_q \left(\frac{d}{D} \right) \ln T + B \left(\frac{d}{D} \right)}{QIXA10} \quad (3)$$

Pour $20 < T(\text{an}) \leq 1\ 000$: généralisation de la forme d'extrapolation du gradex esthétique par le gradex des pluies maximales (MICHEL, 1982) en fonction de d/D et QIXA10 :

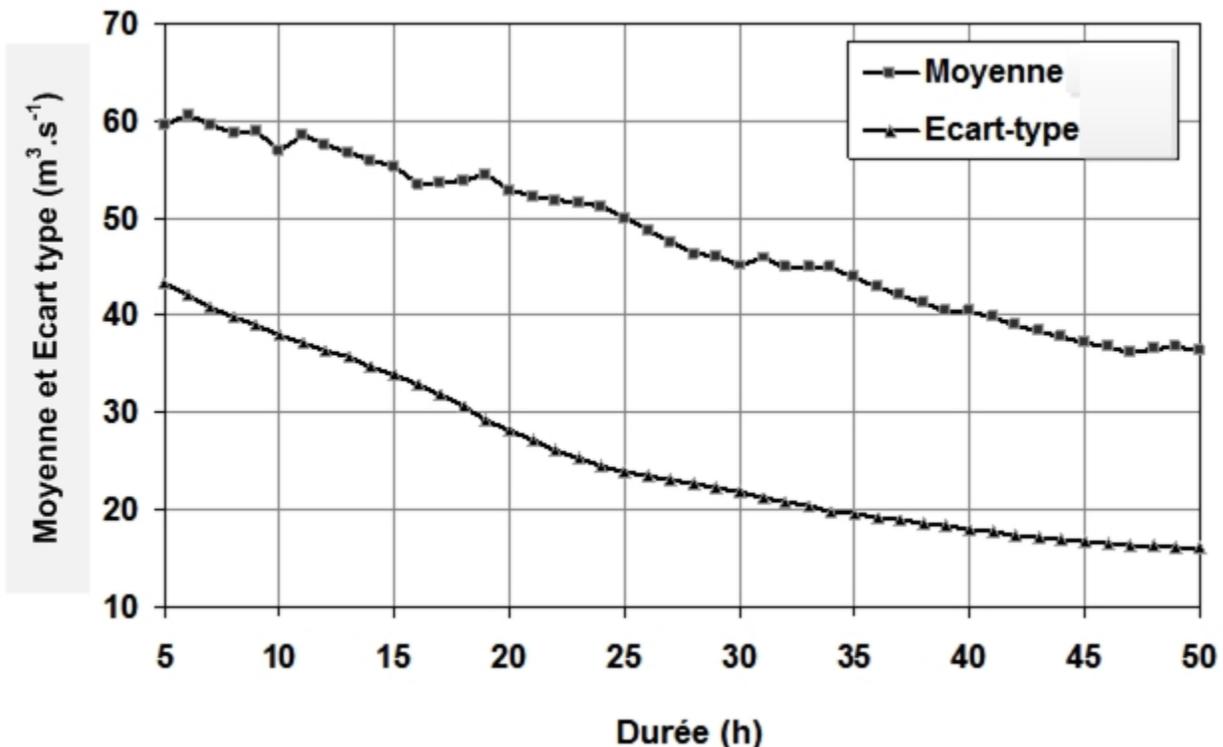


Figure 4. Caractéristiques principales des séries des débits moyens (Volume) maxima VCXd (Débit moyen (Volume) Caractéristique maXimal de durée d) de l'oued Mekerra.
Principal characteristics of the maxima mean flow samples (VCXd) of oued Mekerra.

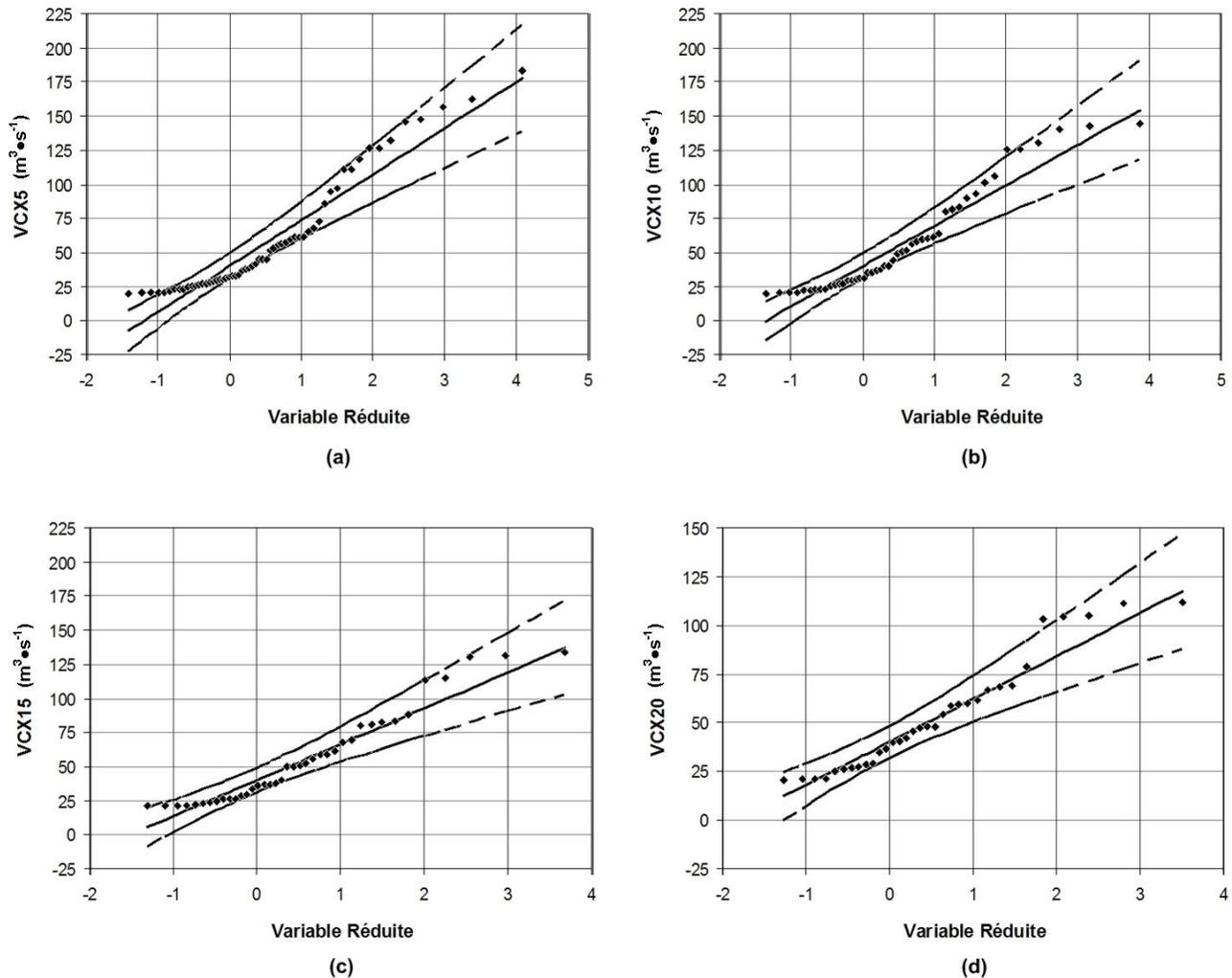


Figure 5. Ajustement de la loi de Gumbel aux séries des débits moyens maxima VCXd (Débit moyen (Volume) Caractéristique maXimal de durée d) de durées d = 5, 10, 15 et 20 h.
Fitting of the Gumbel distribution to the maxima mean flow samples (VCXd) with d = 5, 10, 15 & 20 h.

$$\frac{VCXdT}{QIXA10} = \frac{VCX10d}{QIXA10} + \frac{A_p \left(\frac{d}{D}\right)}{QIXA10} \ln \left(1 + \frac{A_q \left(\frac{d}{D}\right)}{A_p \left(\frac{d}{D}\right)} \left(\frac{T-10}{10}\right) \right) \quad (4)$$

Avec, VCX10d, le quantile décennal du débit volume est obtenu à partir de l'équation 3.

A_q , B et A_p sont respectivement le gradex des débits, le paramètre de position de la loi exponentielle et le gradex des pluies; ils sont explicités en fonction de d/D par :

$$\frac{A_q \left(\frac{d}{D}\right)}{QIXA10} = \frac{1}{x_1 \frac{d}{D} + x_2} + x_3 \quad \frac{B \left(\frac{d}{D}\right)}{QIXA10} = \frac{1}{x_4 \frac{d}{D} + x_5} + x_6 \quad (4a)$$

$$\frac{A_p \left(\frac{d}{D}\right)}{QIXA10} = \frac{1}{x_7 \frac{d}{D} + x_8} + x_9$$

Pour déterminer x_1, x_2, \dots, x_9 , trois bassins versants ont été choisis comportant une longue série de données de qualité à pas de temps variables et représentant des régimes constatés. Ces bassins permettent d'aborder une typologie des régimes de crue. Il s'agit de GILARD (1998) :

- station de la Dragne à Vandenesse, région Bourgogne;
- station du Roubion à Soyans, région Rhône-Alpes;
- station de la Mimente à Florac, région Languedoc-Roussillon.

Ces stations ont été choisies par le Cemagref (GILARD, 1998) pour la qualité et la fiabilité de leurs données, et en raison du contexte hydrométéorologique auquel elles appartiennent. Le modèle de Vandenesse est représenté par une station placée largement sous influence océanique. Le modèle de Soyans s'appuie sur une station située un peu à l'écart du sillon rhodanien et il prend en compte des influences plus continentales. Quant au modèle de Florac, il s'appuie sur une station placée sous influence méditerranéenne.

Suivant la disponibilité des données hydro-pluviométriques au niveau des trois bassins versants (Vandenesse, Soyans et Florac), les paramètres $x_1, x_2, x_3, \dots, x_9$ ont été définis pour chaque modèle QdF en VCX (Tableau 1).

Entre les quantiles VCXdT estimés localement par la distribution de Gumbel et les VCXdT issus du modèle QdF de type bassin de référence, l'illustration graphique pour comparer ces quantiles (Figure 6) permet dans un premier lieu de localiser le bassin versant de l'oued Mekerra pour telle ou telle période de retour par rapport aux bassins versants (Vandenesse, Soyans et Florac).

5. CHOIX DU MODÈLE QdF DE TYPE BASSIN DE RÉFÉRENCE

Vu l'indisponibilité des gradex des pluies pour différentes durées, les performances de l'un des modèles QdF de type bassin de référence sont évaluées dans un cadre utilisant le calage-validation. Deux critères ont été utilisés pour telle ou telle période de retour :

- Critère de Nash (Figure 7) (NASH et SUTCLIFFE, 1970). Le critère de Nash peut varier de ∞ à 1. La valeur optimale est 1 (calage parfait). Une valeur supérieure à 0,7 est habituellement considérée comme satisfaisante. Ce critère est exprimé par :

$$\text{Nash}(T) = 1 - \frac{\sum_{i=D/2}^{5D} (VCXiT - VCXiT^{\text{modèle}})^2}{\sum_{i=D/2}^{5D} (VCXiT - VCXT_{\text{moy}})^2} \quad (5)$$

où :

$$VCXT_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=D/2}^{5D} VCXiT}{1 + 5D - D/2} \quad (6)$$

- Critère de la tangente du droit linéaire (Figure 8), c'est-à-dire, si les éléments du modèle QdF de type bassin de référence et leurs homologues dans le QdF issu de l'ajustement statistique appartient à la première bissectrice, si cette tangente tend vers 1, le modèle QdF de référence est accepté. Ce critère est exprimé par :

$$\text{TL}(T) = \frac{\sum_{i=D/2}^{5D} VCXiT \cdot VCXiT^{\text{modèle}}}{\sum_{i=D/2}^{5D} (VCXiT)^2} \quad (7)$$

Les résultats de ces deux critères (Figures 7 et 8) montrent que le modèle QdF Soyans est meilleur dans le domaine des fréquences observables ($0,5 \leq T(\text{an}) \leq 100$), alors que dans le domaine des fréquences rares ($T(\text{an}) > 100$ ans), le modèle QdF de Florac est meilleur que le Soyans, et entre les deux modèles et suivant ces deux critères, il y a une légère différence dans le domaine des fréquences observables. En plus de ces critères, il y a aussi le contexte hydroclimatologique qui se trouve le bassin versant de l'oued Mekerra et la situation géographique de la station de Sidi-Bel-Abbès qui se trouve sous l'influence d'un climat méditerranéen, ce qui nous ramène à dire que le modèle QdF de référence de Florac est le modèle le plus adapté pour la prédétermination des crues de l'oued Mekerra.

6. MODÈLE QdF EN DÉBITS SEUILS

Les modèles QdF en débits seuils (QCX) répondent directement aux besoins hydrologiques d'une modélisation hydraulique intégrée du bassin versant. En effet, pour répondre à la demande sociale, notamment en matière de lutte contre les inondations, il est nécessaire de considérer les notions classiques de fréquence, mais aussi de durée de submersion ou de hauteur maximale. Toutes ces notions doivent être comparées entre elles pour que l'on puisse définir des objectifs de protection clairs et concevoir des aménagements capables de prendre en compte l'ensemble de ces demandes (GILARD *et al.*, 1993).

Tableau 1. Paramètres x_i des trois modèles QdF de référence en débits moyens maxima VCX (Débit moyen (Volume) Caractéristique maXimal).

Table 1. Parameters x_i of the three reference QdF models of maxima mean flow (VCX).

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
Vandenesse	2,635	6,190	0,010	1,045	2,385	0,172	1,083	1,750	0,000
Florac	1,120	3,560	0,000	0,950	3,180	0,039	1,560	1,910	0,085
Soyans	0,870	4,600	0,000	1,070	2,500	0,099	0,569	0,690	0,046

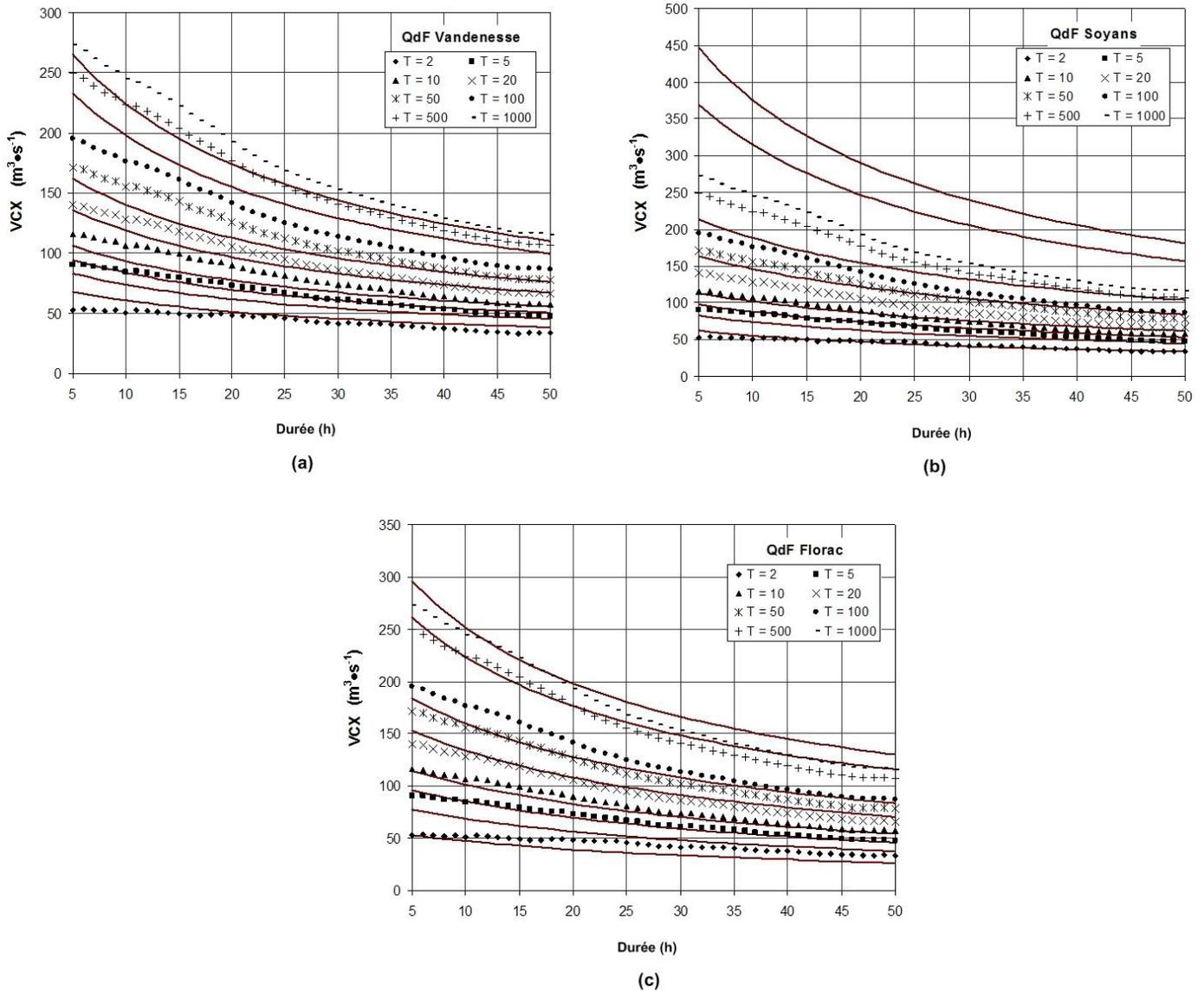


Figure 6. Comparaison entre les courbes QdF de référence et locales en débits moyens maxima VCXd (Débit moyen (Volume) Caractéristique maximal de durée d) de l’oued Mekerra.
 Comparison between reference QdF curves and the local QdF for oued Mekerra.

Les modèles QdF en débits seuils rendent possible une telle comparaison, puisqu’ils permettent de transformer toutes ces demandes en une variable comparable, correspondant à la période de retour d’une crue de durée nulle, autrement dit la période de retour du débit de pointe correspondant à l’objectif de protection. Par ailleurs, les entrées des modèles hydrauliques transitoires nécessitent des hydrogrammes de crue. Par cohérence avec le traitement des objectifs de protection, il est nécessaire d’établir, pour la modélisation hydraulique des aléas, des Hydrogrammes Synthétiques Mono-Fréquences (HSMF) qui répondent à cette attente.

D’après GALEA et PRUDHOMME (1993), l’élaboration des modèles QdF en débits seuils suit la même démarche que celle mise en œuvre pour les débits moyens (volumes) VCXd, mais il est clair que les modèles QdF en VCX et en QCX

sont définis pour le même bassin versant de référence, car les volumes qu’ils définissent sont cohérents avec les débits seuils. On admettra que l’on peut utiliser le modèle QdF en VCX, dans les mêmes conditions, pour le modèle QdF en QCX.

Le modèle QdF en QCX est identique au modèle QdF en VCX, c’est-à-dire que les équations 3 et 4 sont les mêmes, sauf que VCXdT est remplacé par QCXdT et les paramètres x_i ($i = 1, \dots, 9$) prennent les valeurs suivant le tableau 2, ce qui permet d’avoir l’expression du quantile QCXdT comme suit :

Pour $0,5 \leq T(\text{an}) \leq 20$:

$$QCXdT = 110 \left[\left(\frac{1}{3,05 \frac{d}{10} + 3,53} \right) \ln T + \frac{1}{2,13 \frac{d}{10} + 2,96} + 0,01 \right] \quad (8)$$

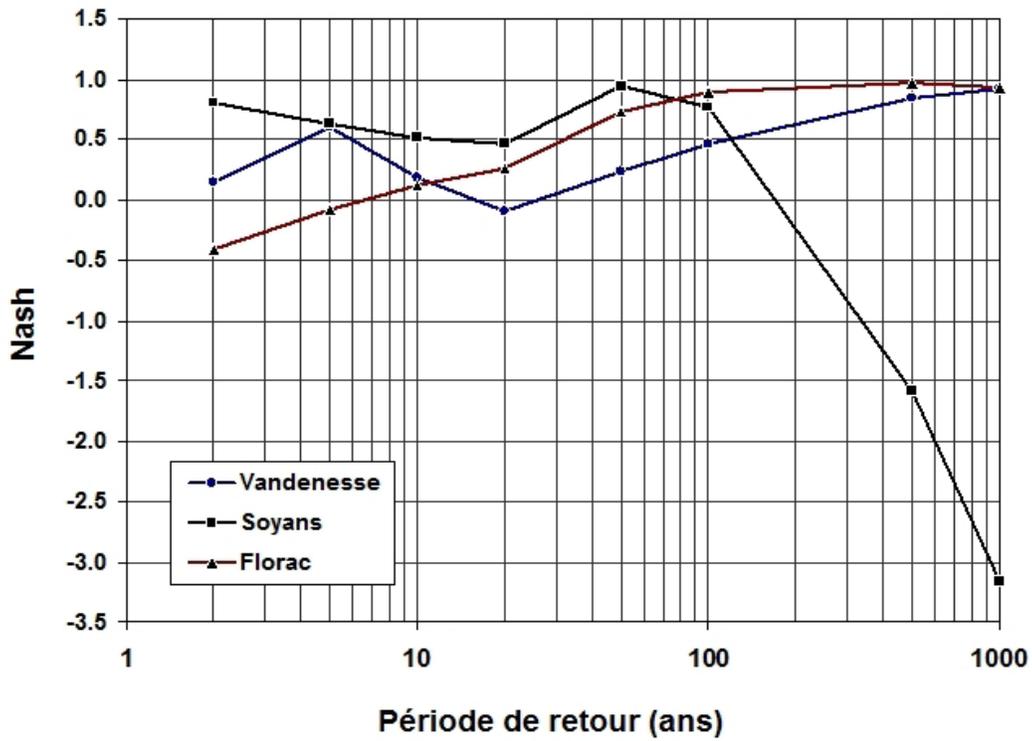


Figure 7. Coefficient de Nash entre les VCX (Débit moyen (Volume) Caractéristique maXimal) estimés localement et les VCX estimés par un modèle QdF de référence.
Nash coefficient between local VCX calculated by a statistical method and VCX calculated by the QdF model.

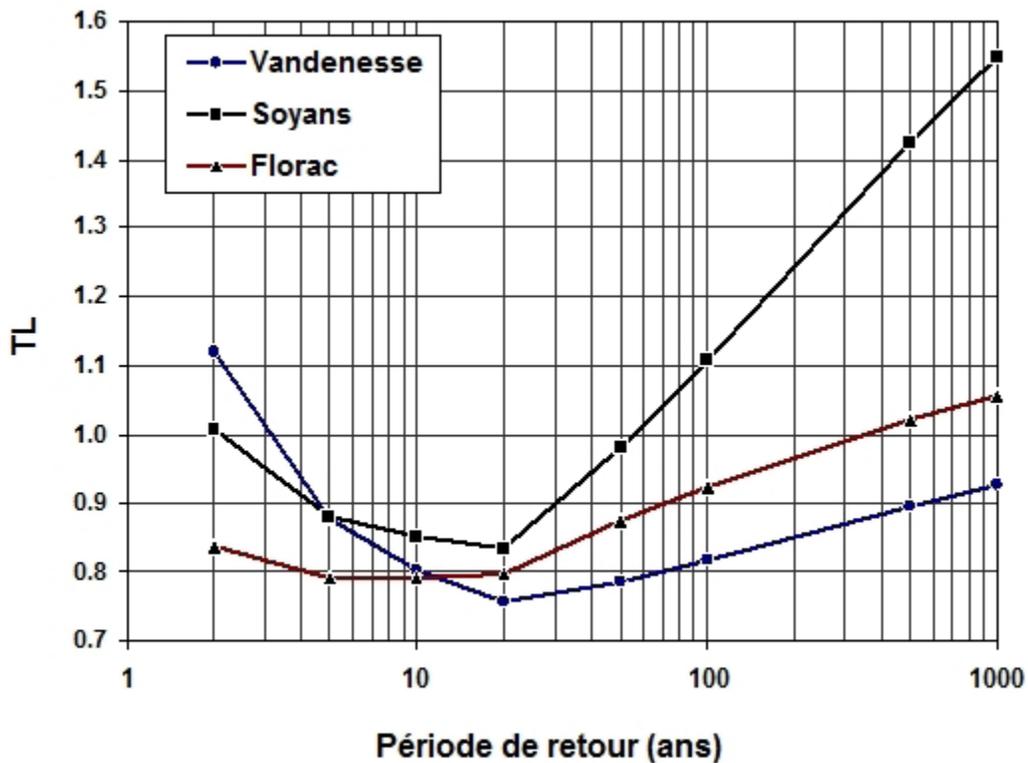


Figure 8. Critère de la tangente de la droite linéaire.
Tangent criterion.

Tableau 2. Paramètres x_i du modèle QdF de référence de Florac en débits seuil QCX (Débit (Q) seuil Caractéristique maXimal).

Table 2. Parameters x_i of the reference QdF Florac of the QCX.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
Florac	3,05	3,53	0,00	2,13	2,96	0,01	2,78	1,77	0,04

Pour $20 < T(\text{an}) \leq 1\,000$:

$$\begin{aligned}
 \text{QCXdT} = \text{QCXd10} + 110 & \left(\frac{1}{2,78 \frac{d}{10} + 1,77} + 0,04 \right) \\
 \ln \left(1 + \frac{\frac{1}{3,05 \frac{d}{10} + 3,53}}{\frac{1}{2,78 \frac{d}{10} + 1,77} + 0,04} \frac{T-10}{10} \right) & \quad (9)
 \end{aligned}$$

Avec QCXd10, le quantile décennal du débit seuil est obtenu à partir de l'équation 8.

Les courbes QdF en QCX peuvent être tracées à partir des expressions 8 et 9 de QCXdT (Figure 9).

7. CONCLUSION

En vue d'étudier les inondations de l'oued Mekerra, la modélisation QdF du régime de crue a été établie suivant les quantiles de débits volumes issus d'un ajustement statistique qui sont comparés, en tenant compte des caractéristiques du régime de crue du bassin versant (QIXA10 et D), aux différents quantiles homologues issus des modèles QdF de type bassin de référence de Vandenesse Florac et de Soyans développés au Cemagref.

Les séries VCXd obtenues par un échantillonnage qui tient compte des épisodes de crues observées sur l'ensemble des chroniques annuelles ont permis un ajustement satisfaisant de la loi exponentielle à deux paramètres. Pour l'application de modèles QdF régionaux de type bassin de référence (Vandenesse, Soyans et Florac), les deux paramètres locaux essentiels, le débit instantané maximal annuel décennal QIXA10 et la durée

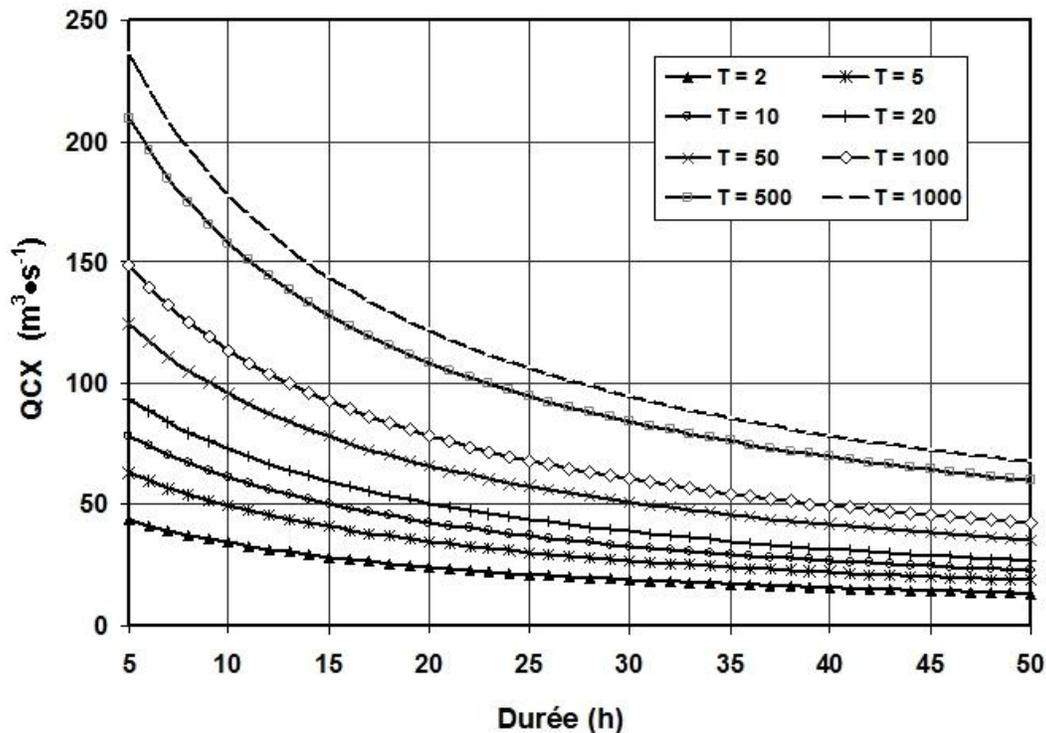


Figure 9. Courbes QdF en débits seuils QCX (Débit (Q) seuil Caractéristique maXimal) du bassin versant de l'oued Mekerra.

QdF curves of QCX for the oued Mekerra catchment.

caractéristique de crue du bassin versant D, ont pu être estimés à partir des données locales.

Suivant les critères de Nash et de la tangente de la droite linéaire, d'une part, et le contexte hydroclimatologique, d'autre part, le modèle QdF de Florac est plus adapté, ce qui permet de synthétiser et consolider les connaissances issues tant des observations hydrométriques que des simulations par des modèles conceptuels.

On pourra utiliser ces résultats pour déterminer le régime de crue sur le bassin versant de l'oued Mekerra et aux bassins versants et sous-bassins avoisinants, dans le cas où il y a une insuffisance de mesures, ou des courbes de tarages (GALEA *et al.*, 1997). Cependant, il est nécessaire d'élargir cette étude à d'autres bassins pour lesquels on dispose de longues chroniques de débits, afin de construire un modèle régional plus précis et adapté au contexte algérien.

La détermination du modèle QdF du bassin versant de l'oued Mekerra sur la base de l'étude des VCX et, par conséquent, la détermination du modèle QdF en QCX qui permet de calculer les Hydrogrammes Synthétiques Mono – Fréquences, fournit un outil très important pour l'étude et la prédétermination de l'aléa et la vulnérabilité qui sont les facteurs essentiels du risque des inondations.

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CTGREF, SRAE, DIAME, SH (1980-1982). Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versant. Fascicule 2 : la méthode SOCOSE, Information technique n°38-2 (juin 1980) ; Fascicule 3 : la méthode CRUPEDIX.
- FILLIBEN J.J. (1975). The Probability plot correlation test for normality. *Technometrics*, 17, 111-117.
- GALEA G., P. JAVELLE et N. CHAPUT (2000). Un modèle débit-durée-fréquence pour caractériser le régime d'étiage d'un bassin versant. *Rev. Sci. Eau*, 13, 421-440.
- GALEA G. et C. PRUDHOMME (1997). Notions de base et concepts utiles pour la compréhension de la modélisation synthétique des régimes de crue des bassins versants au sens des modèles QdF. *Rev. Sci. Eau*, 10, 83-101.
- GALEA G. et C. PRUDHOMME (1994). Modèles débit-durée-fréquence et conceptualisation d'un hydrogramme de crue synthétique : validation sur le BVRE de Draix. *Hydrol. Continent.*, 9, 139-151.
- GALEA G. et C. PRUDHOMME (1993). Characterization of large scale variations in river flow behaviour with reference to hydrological macro-regionalization. Dans : *International FRIEND Conference*. Technische Universität Braunschweig, octobre 1993, pp. 11-15.
- GILARD, O. (1998). *Les bases techniques de la méthode Inondabilité*. Édition Cemagref, 207 p.
- GILARD, O., G. OBERLIN, B. CHASTAN et P. GIVONE (1993). Inondabilité : une méthode pour gérer rationnellement l'occupation des sols en lit majeur. Dans : *Réunion de la V^e Section du CGGREF*, Paris, France, 17 novembre 1993.
- GRUBBS, F. et G. BECK (1972). Extension of sample sizes and percentage points for significance tests for outlying observations. *Technometrics*, 14, 847-854.
- GUILLOT, P. et D. DUBAND (1967). *La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies*. Journées de SHF, question 1, rapport 7, Paris, France.
- JAVELLE P. (2001). *Caractérisation du régime des crues : le modèle débit-durée-fréquence convergent. Approche locale et régionale*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble, 267 p.
- JAVELLE P., T.B.M. OUARDA, M. LANG, B. BOBEE, G. GALEA et J.-M. GRESILLON J.-M. (2002). Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index-flood method. *J. Hydrol.*, 258, 249-259.
- JIN, P. et G. GALEA (1990). *Modélisation et descriptifs synthétiques des connaissances régionales en crues; représentativité spatiale et domaine de validité*. Cemagref, Lyon. DEA ULPS/ENGEES. Strasbourg.
- MANN H.B., et D.R. WHITNEY (1947). On the test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Statistic.*, 18, 50-60.
- MARGOUM, M. (1992). *Estimation des crues rares et extrêmes : Le modèle AGREGEE. Conception et première validations*. Thèse de doctorat, École des mines de Paris, Cemagref Lyon, GIS Hydrologie FRIEND-AMHY, 252 p.
- MEUNIER, M. (2001). Regional flow – duration – frequency model for the tropical island of Martinique. *J. Hydrol.*, 247, 31-53.
- MICHEL, C. (1982). *Extrapolation par la méthode de GRADEX*. Note interne n° KG 03.05.82, Cemagref-Antony, Division hydrologie.

- NASH, J.E. et J.V. SUTCLIFFE (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I – A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10, 282-290.
- NERC (National Environmental Research Council) (1975). *Estimation of flood volumes over different durations*. Flood Studies Report, Vol. 1, Chapter 5, 243-264.
- OBERLIN, G., H. Ben MANSOUR et R. ORTIZ (1989). Generalization and standardization for three types of flow-duration-frequency curves in flood regime description and transfer. Dans : *FRIENDS in Hydrology*. Proceedings of 1st FRIEND symposium, Bolkesjö, Norvège, AISH Pub. N° 187.
- SAUQUET, E., G. GALEA et M. BESSENASEE (2004). Caractérisation du régime des hautes eaux en débit-durée-fréquence. Application au contexte algérien. *Houil. Blanc.*, 5, 80-85.
- VOGEL, R.M. (1986). The probability plot correlation coefficient test for the normal, log-normal and gumbel distributional hypothesis. *Water Resour. Res.*, 22, 587-590.
- WALD A. et J. WOLFOWITZ (1943). An exact test for randomness in the parametric case based on serial correlation. *Ann. Math. Stat.*, 14, 378-388.
- YAHIAOUI, A. (1997). *Contribution a une étude comparative des méthodes d'estimation des crues. Cas du bassin versant de oued Mina w. Relizane*. Thèse de Magister. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique de Blida, Alégie, 120 p.