

Drainage urbain et changement climatique : limites de la modélisation

Mohammed MOUJAHID¹, Laila STOUR², Ali AGOUMI³

¹ Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, Maroc- e-mail : mohammed.moujahid@gmail.com

² Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, Maroc- e-mail : stourl@gmail.com

³ Ecole Hassania des Travaux Publics Casablanca, Maroc –e-mail : agoumi.ali@gmail.com

RÉSUMÉ. – L'urbanisation entraîne des modifications importantes du cycle hydrologique naturel par l'augmentation des surfaces imperméables et par la création de réseaux de drainage pour permettre l'évacuation et/ou le stockage des eaux de pluie. La conception des réseaux de drainage urbain repose généralement sur l'analyse des historiques de pluies disponibles. Le point commun entre les méthodes de conception d'un réseau de drainage urbain est le recours à des modèles Pluie-Débit pour tenter de décrire le comportement d'un bassin versant urbain vis-à-vis de la « grandeur pluie » étant la base du cycle hydrique dans la ville [Mailhot *et al.*, 2005]. Or, dans un contexte de Changement Climatique (CC), la variation de l'intensité et de la fréquence des précipitations constitue une incertitude majeure qui conditionne la fiabilité et les limites des résultats de ces modèles [Oudin, 2008]. Cet article a pour objectif de :

- 1) Décrire et évaluer qualitativement les principales sources d'incertitudes pour un modèle Pluie-Débit en milieu urbain dans un contexte de CC ;
- 2) Analyser la fiabilité des résultats des modèles Pluie - Débit vis-à-vis de la récurrence des événements pluvieux extrêmes modifiée par le CC et ses effets attendus ;
- 3) Donner un aperçu sur les pratiques classiques au niveau du dimensionnement des réseaux de drainage urbain tant au niveau national qu'au niveau de pays avancés dans ce domaine ;
- 4) Présenter des approches nouvelles et innovantes; testées dans certains pays développés; en vue d'une amélioration des méthodes de conception classique des réseaux de drainage urbain, pour tenir compte du nouveau contexte climatique attendu pour les prochaines décennies.

Mots-clés : Changement climatique, événements extrêmes, drainage urbain, modélisation, période de retour

Urban drainage and climate change: limits of the modeling

ABSTRACT. – Urbanization leads to significant changes in the natural hydrologic cycle by increasing impervious surfaces and the creation of drainage systems for evacuation and/or storage of rainwater. The design of urban drainage networks is generally based on the analysis of available historical rainfall. The common point between methods of the design of urban drainage network is the use of rainfall-runoff models to attempt to describe the behavior of a watershed urban presented by the “greatness rain” being the basic of water cycle in the city [Mailhot *et al.*, 2005]. However, in the context of Climate Change (CC), the variation in the intensity and frequency of rainfall presents a major uncertainty that affects the reliability and the limitation of the results of these models [Oudin , 2008]. This article aims to:

- 1) Describe and qualitatively assess the main sources of uncertainty in a rainfall-runoff model in urban areas in the CC context ;
- 2) Analyze the reliability of model results rainfall-runoff vis-a-vis the recurrence of extreme rainfall events as amended by the CC and its expected effects ;
- 3) Provide an overview on conventional practices in the design of urban drainage networks both nationally and at the level of advanced countries in this field ;
- 4) Provide new and innovative approaches tested in some developed countries for improved methods of conventional design of urban drainage network taking into account the new climate expected in the coming decades.

Key-words: Climate change, extreme events, urban drainage, modeling, return period

I. INTRODUCTION

La gestion du cycle de l'eau en milieu urbain se base sur la mise en place d'un certain nombre d'infrastructures pour assurer le drainage des eaux pluviales, ce qui représente un acquis considérable pour nos sociétés urbaines [Mailhot *et al.*, 2005]. La récente prise de conscience de la détérioration rapide de nos infrastructures de drainage urbain a aussi

mis en exergue les risques que font peser les aléas climatiques et météorologiques sur le fonctionnement et la durabilité de certains ouvrages. D'où l'importance de considérer le CC avec son impact prévu sur le cycle hydrologique qui devrait se traduire pour certaines régions, par des modifications significatives des régimes de précipitations et par une plus grande probabilité d'occurrence d'événements pluvieux dits intenses [Mailhot *et al.*, 2007a].

La conception et le dimensionnement des ouvrages de drainage urbain reposent sur une analyse des probabilités d'occurrence d'événements de pluies intenses, résumées par les fameuses courbes Intensité Durée Fréquence (IDF). Ces courbes sont la principale variable d'entrée pour les modèles Pluie- Débit. L'estimation de ces courbes repose sur l'hypothèse de la stationnarité relative du climat, c'est-à-dire sur «un climat futur qui n'est autre qu'une reproduction ou presque du climat passé». Cette hypothèse est aujourd'hui compromise en relation avec le CC vu les modifications spatio-temporelles des précipitations qu'il devrait entraîner [Mailhot *et al.*, 2008 ; Mailhot et Duchesne, 2010].

A ce jour, les Modèles de Circulation Générale (MCG) et les modèles dérivés prévoient mal le changement futur possible des précipitations en particulier à l'échelle locale [temporelle et spatiale]. Ce qui constitue une source d'incertitudes majeure qui limite la fiabilité des modèles pluie/débit et des courbes IDF [Mailhot *et al.*, 2008 ; Oudin, 2008] : La conception d'ouvrages dimensionnés correctement devient de plus en plus difficile. D'où l'intérêt porté ces dernières années aux recherches menées sur cet aspect. Il s'agit de recherches avec pour objectif de revoir les critères et procédures de conception des ouvrages de drainage urbain afin d'y intégrer les impacts possibles du CC en particulier au niveau de la récurrence des événements extrêmes [Maillot *et al.*, 2005 ; Maillot *et al.*, 2007a,b ; Maillot *et al.*, 2008].

L'objectif du présent article est de donner un aperçu sur les problèmes posés au niveau de la modélisation du drainage urbain dans le contexte de CC et sur les conséquences qu'ils entraînent au niveau du dimensionnement et fonctionnement des réseaux.

II. VILLE ET CC : CYCLE HYDROLOGIQUE ET DRAINAGE URBAIN

L'urbanisation entraîne des modifications importantes du cycle hydrologique naturel par l'augmentation des surfaces imperméables, la réduction du couvert végétal et la construction de réseaux de drainage en vue de limiter l'accumulation de l'eau sur les surfaces urbaines en temps de pluie. À ces modifications, s'ajoute aussi la mise en place d'ouvrages et d'infrastructures visant à créer un « cycle hydrique » parallèle, dont les objectifs sont l'évacuation des eaux usées et pluviales afin d'assurer le maintien de conditions d'hygiène appropriées [Maillot *et al.*, 2005]. Ces infrastructures sont assujetties à la variabilité et aux aléas climatiques. La conception de ces systèmes repose, pour une bonne part, sur l'expérience climatique passée en matière d'intensité, de fréquence, et de probabilités d'occurrence des pluies intenses [Mailhot *et al.*, 2005 ; Mailhot *et al.*, 2007 ; Mailhot *et al.*, 2008]. Or, dans un contexte de CC, ces conditions risquent de changer vu la modification spatio-temporelle des précipitations attendue. Une intensification des événements extrêmes pourra avoir pour conséquence, pour ces ouvrages, une augmentation des risques de refoulement et d'inondation en secteurs urbains et une détérioration de la qualité des cours d'eau récepteurs [Mailhot *et al.*, 2006a,b]. Les impacts économiques et sociaux de ce type d'événements peuvent être considérables [Bourque, 2000 ; Mehdi *et al.*, 2006 ; Lemmen *et al.*, 2008].

Le réseau de drainage urbain a pour fonction de permettre l'évacuation et/ou le stockage des eaux de pluie. À ce titre, la conception de ces réseaux (conduites, collecteurs,

intercepteurs, pompes, etc.) repose sur l'analyse des historiques de pluie disponibles. Le point commun entre les différentes méthodes de conception du réseau de drainage urbain est le recours aux courbes dites d'Intensité-Durée-Fréquence (IDF) qui s'appuient sur une analyse des événements météorologiques extrêmes passés. D'où l'importance de s'interroger sur l'impact du CC sur les récurrences des événements extrêmes dans le cadre du drainage urbain [Maillot *et al.*, 2005].

III. TENDANCE FUTURE DE LA PLUVIOMÉTRIE

L'estimation des impacts du CC sur la performance des systèmes de drainage urbain exige plus qu'une analyse des tendances historiques avec aussi une analyse des projections climatiques futures. En effet, il est crucial de connaître comment évolueront, au cours des prochaines décennies, les événements auxquels les systèmes de drainage sont les plus sensibles, à savoir les événements de pluies intenses (durée de 5 min à 24 h). La principale difficulté de telles estimations provient essentiellement du fait que les événements de pluies intenses sont des phénomènes locaux, dont l'échelle spatiale est beaucoup plus petite que celle actuellement simulée par les modèles climatiques [Mailhot *et al.*, 2008].

Plusieurs auteurs ont montré que les événements de pluies intenses seraient plus fréquents dans le climat futur et que les modifications les affectant seraient plus importantes que celles affectant les moyennes (mensuelles ou saisonnières) de précipitations [Frei *et al.*, 1998 ; Trenberth *et al.*, 2003 ; Emori et Brown, 2005 ; Amraoui *et al.*, 2010]. À titre d'exemple, citons l'étude de Grum *et al.* [2006] sur l'évolution des intensités de pluies extrêmes, en utilisant des MCG, qui a montré que les événements pluvieux extrêmes d'une heure de durée seront deux fois plus fréquents au cours de la période 2071-2100 qu'ils ne l'ont été pendant la période 1979-1996. Selon ces auteurs, malgré les incertitudes associées à ces projections, la tendance est claire : les événements de précipitations extrêmes qui affectent les systèmes de drainage urbain deviendront plus fréquents avec le CC [Mailhot *et al.*, 2008].

IV. INCERTITUDES EN HYDROLOGIE URBAINE LIÉES AU CC

Le traitement des données de pluie a pour objectif de déterminer les caractéristiques statistiques de ces séries, permettant d'inférer sur les probabilités d'occurrence d'événements similaires dans le futur. L'objectif de l'évaluation des intensités de pluie en climat futur est d'exprimer les résultats issus des projections climatiques sous forme de courbes IDF qui constituent les données d'entrée principales pour les modèles de simulation hydrologique. Or plusieurs sources d'incertitudes sont à considérer dans les résultats de ces analyses.

Le concept de période de retour, semblable à la définition de la notion de risque, repose sur l'hypothèse fondamentale de stationnarité, c'est-à-dire sur l'hypothèse que les différentes caractéristiques statistiques des 'pluies intenses' ne varient pas en fonction du temps. Cette hypothèse permet d'estimer les probabilités d'occurrence future d'événements dits extrêmes à partir de l'analyse statistique des

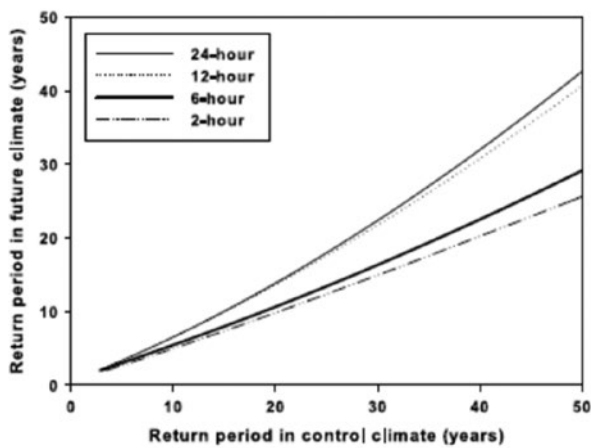


Figure 1 : Comparaison des périodes de retour en climats présent et futur [Mailhot et al., 2007b].

événements passés. Or, le CC remet en cause cette hypothèse [Mailhot et al., 2007b]. En effet, des études ont montré qu'une augmentation de 20% des intensités de pluie en climat futur conduirait à des dysfonctionnements deux fois plus fréquents pour un réseau de drainage urbain dimensionné pour une période de retour de 5 ans, soit un niveau de service de 2,5 ans [Jobin et al., 2001]. L'étude de Ashley et al. [2005] indique que le risque d'inondation urbaine devrait augmenter d'un facteur au moins égale à 2 pour tous les scénarios considérés. Ceci rejoint les résultats de l'étude de Mailhot et al. [2007b] qui ont conclu que les périodes de retour pourraient augmenter d'un facteur égale à 2 en climat futur par rapport au climat présent pour des événements de 2 heures et 6 heures (Cf. figure 1). Ainsi, un événement qui surviendrait tous les 50 ans en climat actuel risquerait de se produire tous les 25 à 30 ans en climat futur (considérant le CC) [Mailhot et al., 2007b].

Face à cette situation, les dernières années ont montré le besoin urgent d'adopter des mesures pour améliorer la quantification des variables d'entrée des modèles en hydrologie urbaine à travers une mise à jour des courbes IDF et des pluies de projet considérant les différents scénarios possibles en relation avec le CC.

V. CONCEPTION DES OUVRAGES DE DRAINAGE URBAIN DANS UN CONTEXTE DE CC

V.1. Aperçu sur les pratiques actuelles

L'utilisation des courbes IDF permet de sélectionner la fréquence et la durée correspondante de la pluie pour concevoir les ouvrages de drainage urbain. Par ailleurs, la fréquence de la pluie utilisée pour la conception des réseaux varie d'une ville à l'autre. Pour certaines villes on utilise une seule fréquence pour tous les réseaux, tandis que pour d'autres villes on a recours à des fréquences différentes pour les conduites mineures, les collecteurs et les réseaux majeurs¹.

Les praticiens, au Maroc, ont recours à l'utilisation des courbes IDF établies par la Direction de Météorologie Nationale (DMN) au pas de temps de 5 minutes pour des périodes de retour de 2, 5 et 10 ans. Quant à la forme de la pluie du projet, elle est généralement de type double triangle pour la représentation de l'intensité de pluie en fonction du temps. Le dimensionnement du réseau de drainage urbain se base, généralement, sur l'une des méthodes permettant le calcul de la valeur de débit maximum (méthode rationnelle ou celle de Caquot). A titre d'exemple, les formules de Caquot utilisées pour la région du nord au Maroc [Amendis, 2003] sont présentées en encadré 1.

V.2. Vers une amélioration des critères de conception

Pour faire face à la non adaptation des méthodes de dimensionnement des réseaux au nouveau contexte climatique, et à l'échelle internationale, des villes sont devenues une référence avec la proposition d'approches tenant compte du CC dans la conception de leurs ouvrages de drainage urbain [Mailhot et al., 2008]. A titre d'exemple, pour la région de Chicago aux Etats Unis, Guo [2006] a suggéré une augmentation de 17 % du diamètre de toutes les nouvelles conduites installées par rapport à un dimensionnement traditionnel pour faire face à l'intensification future des pluies extrêmes.

1. Au Canada par exemple, notons le cas du réseau mineur pour lequel la fréquence retenue varie de 1 fois dans 2 ans pour Laval et Québec et jusqu'à 1 fois dans 25 ans pour la ville de Sherbrooke [Mailhot et al., 2008].

Encadré 1 : Formules de Caquot utilisées pour la région du nord au Maroc [Amendis, 2003]

$$\text{Pluie d'occurrence 10 ans : } Q = m \times 1.275 \times I^{0.2771} \times C^{1.1939} \times A^{0.791} \quad (1)$$

$$\text{Pluie d'occurrence 5 ans : } Q = m \times 0.981 \times I^{0.2777} \times C^{1.1943} \times A^{0.7912} \quad (2)$$

$$\text{Pluie d'occurrence 2 ans : } Q = m \times 0.566 \times I^{0.2800} \times C^{1.1960} \times A^{0.7900} \quad (3)$$

Avec :

Q : Débit de pointe au cours de la pluie en aval du bassin versant, en m³/s ;

I : est la pente moyenne du bassin versant en mètre/mètre le long du chemin hydrologique ;

C : Coefficient de ruissellement du bassin versant, compris entre 0 et 1, qui est pris égal au coefficient d'imperméabilisation ;

A : Surface totale du bassin versant en hectares ;

m : Coefficient multiplicatif correctif qui dépend de l'allongement du bassin versant ;

L'approche qui a progressé le plus dans ce sens est celle recourant à des critères de conception en conditions non stationnaires [Mailhot et Duchesne, 2011]. En effet, l'un des grands défis conceptuels et techniques liés au CC tient à la nécessité d'une redéfinition de plusieurs concepts clés actuellement utilisés lors de la conception des ouvrages et infrastructures. Le niveau de service d'un ouvrage de drainage a été établi toujours en fixant la période de retour T (Cf. équation (4)) de façon à ce que [Mailhot *et al.*, 2008]:

a. Cette période de retour demeure inchangée durant toute la durée d'opération de cet ouvrage ;

b. La probabilité qu'un tel événement survienne au début de la mise en opération est la même qu'à la fin de sa vie utile.

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad [\text{Mailhot et Duchesne, 2010}] \quad (4)$$

Où $F(x)$ désigne la probabilité d'observer pour une année donnée un événement de pluie d'intensité inférieure à x

La non stationnarité des régimes climatiques exige, plus qu'avant, le besoin de définir un critère de conception équivalent à la période de retour en régime stationnaire afin de permettre l'évaluation de la probabilité d'occurrence des événements dépassant les critères de dimensionnement durant la période d'opération de l'ouvrage/infrastructure. Cet indicateur, équivalent à la période de retour en régime stationnaire, pourra être utilisé comme critère de conception, de sorte à assurer un niveau de risque acceptable durant toute la durée de vie utile de l'ouvrage.

Mailhot et Duchesne [2010] ont proposé une approche pour la redéfinition des critères de conception basée sur une règle qui permet d'établir le niveau de service à considérer lors de la conception dans un contexte de CC. Cette règle repose sur la linéarisation de la fonction reliant la période de retour et le temps. En résumé, la règle de conception, proposée par les auteurs [Mailhot et Duchesne, 2010], demande que soient précisés :

1) Le ratio de la période de retour des événements extrêmes considérés (en précisant la durée de ces événements) au terme des 100 prochaines années par rapport à la période de retour actuelle (exprimé par le paramètre α) selon les projections climatiques disponibles ;

2) La durée de vie utile de l'ouvrage ou de l'infrastructure considérés (t_d) ;

3) La période de retour critique qui correspond à la période de retour qui serait considérée dans un contexte sans CC (T_c) ;

4) L'année de référence t_c , qui correspond à l'année où la période de retour effective sera égale à la période de retour critique, exprimée en fonction de la fraction de la durée de vie utile de l'ouvrage ($\beta = \frac{t_c}{t_d}$).

Une fois ces paramètres sont fixés, l'équation (5) est utilisée pour estimer la période de retour de conception T_0 :

$$T_0 = T_c \left[1 - \frac{(1 - \alpha) \cdot \beta \cdot t_d}{100} \right]^{-1} \quad [\text{Mailhot et Duchesne, 2010}] \quad (5)$$

En considérant les hypothèses suivantes :

1) La période de retour des événements extrêmes diminuera de moitié au cours des 100 prochaines années ($\alpha = 0,5$) ;

2) L'année de référence est fixée à la moitié de la durée de vie utile de l'ouvrage considéré ($\beta = 0,5$).

L'expression (5) devient :

$$T_0 = \frac{T_c}{[1 - 0.0025 \times t_d]} \quad [\text{Mailhot et Duchesne, 2010}] \quad (6)$$

Ainsi, par exemple, selon cet ensemble d'hypothèses, il faudra utiliser une valeur de période de retour de 133 ans pour un ouvrage dont la durée de vie utile estimée est de 100 ans et pour lequel la période de retour critique (ou moyenne) souhaitée est de 100 ans (Cf. Tableau 1).

VI. PERSPECTIVES POUR LE MAROC

Le Maroc a connu durant les 20 dernières années des inondations de plus en plus importantes ; tant au niveau de leur intensité qu'au niveau de leur fréquence. Ce sont des crues éclairs ou des crues massives qui ont concerné différentes régions du royaume avec des pertes humaines et des dégâts économiques très importants dont à titre d'exemples les épisodes de : Casablanca – Mohammedia 1996, Tétouan/Nord du Maroc 2000, Mohammedia 2002, Errachidia 2006, Nord du Maroc, Al Gharb, Al Haouz, Le Sous 2009 et 2010 et Casablanca/région 2010 [SEEE, 2010].

Cette intensification des événements extrêmes a affecté le niveau de service des ouvrages de drainage urbain dans plusieurs villes du royaume. Par conséquent, une révision des critères de conception et de dimensionnement classique pour tenir compte de ce nouveau contexte climatique s'impose.

Dans ce sens, de nouvelles techniques et règles de dimensionnement des ouvrages doivent être développées au fur et à mesure que les connaissances concernant le CC s'améliorent. A cet effet, il est devenu clair que le dimensionnement des ouvrages doit dorénavant s'appuyer sur une mise à jour des courbes IDF et des pluies de projets pour les principales villes du Maroc. Cette mise à jour doit intégrer les données disponibles et tenir compte des modifications attendues dans l'intensité des pluies au cours des prochaines décennies. L'amélioration de la précision du concept de la période de retour en condition non stationnaire est devenue une nécessité pour assurer un niveau de service des ouvrages de drainage urbain considérant les scénarios de CC.

Il importe aussi de noter le besoin de conduire une analyse de faisabilité d'une nouvelle génération des modèles de simulations hydrologiques/hydrauliques du drainage urbain, pouvant intégrer les techniques alternatives (stockage, gestion à la source, etc.) ainsi que le contrôle dynamique des ouvrages en temps de pluie.

Tableau 1 : Période de retour de conception à considérer pour différentes périodes de retour critiques et différentes durées de vie utile [Mailhot et Duchesne, 2010].

Durée de vie utile (ans)	Période de retour critique				
	20	40	60	80	100
20	21	42	63	84	105
40	22	44	67	89	111
60	24	47	71	94	118
80	25	50	75	100	125
100	27	53	80	107	133

VII. CONCLUSION

Le CC aura un impact direct sur l'intensification (Intensité / Fréquence) des précipitations extrêmes au cours des décennies à venir. Les probabilités d'occurrence d'événements majeurs, dépassant les capacités actuelles d'évacuation des systèmes de gestion des eaux pluviales, devraient croître.

Cette évolution exige la mise en place progressive et adaptative de mesures (aménagements, ouvrages, infrastructures) visant à maintenir le niveau de risque en climat futur à ce qu'il était au moment de la conception première des ouvrages. Cette « mise à niveau climatique » doit se faire en fonction des projections climatiques disponibles, des incertitudes qui leur sont associées et de l'inévitable révision dont elles seront l'objet (la modélisation du climat étant appelée à s'affiner et à s'améliorer au fil des années à venir).

De même, il faut intégrer cette « mise à niveau climatique » dans un contexte plus large de réhabilitation/remplacement des infrastructures existantes, qui en sont pour plusieurs à la fin de leur cycle de vie. Dans ce sens, la conception des systèmes de drainage urbain doit intégrer dorénavant un volet « climatique ». Ce dernier vise essentiellement à assurer un meilleur suivi des événements d'une part et, d'autre part, à procéder à une révision périodique des références utilisées pour la conception (courbes IDF et scénarios de projections climatiques).

Mêmes incertaines, les projections climatiques demeurent essentielles pour une évaluation des tendances à moyen et long termes des performances des systèmes de drainage. Une révision périodique doit être prise en compte dans le processus global de planification et de gestion du drainage urbain considérant ce risque. Ce travail incombe aux spécialistes en climatologie et en CC, qui devraient régulièrement proposer une version à jour des projections climatiques de même qu'une évaluation critique des incertitudes.

Le présent article représente une première étape d'un projet de recherche qui est mené au nord du Maroc au niveau du bassin de l'Oued Martil et qui vise dans une seconde phase l'estimation des courbes IDF dans le contexte climatique futur pour la région de Tétouan.

VIII. REFERENCES

AMENDIS. (2003) — Schéma Directeur d'Assainissement Liquide de Tétouan. *Amendis Tétouan*

AMRAOUI A., SARR M.A., SOTO D. (2011) — Analyse rétrospective de l'évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest. *Géographie physique & Environnement*. **5** : 125-142

ASHLEY R.M., BALMFORTH D.J., SAUL A.J., BLANSKY D.J. (2005) — Flooding in the future - predicting climate change, risks, and responses in urban areas. *Water Science & Technology*. **52(5)** : 265-273

BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G. (2000) — Mesures en hydrologie urbaine et assainissement. *Tec et Doc, Paris*

BOURQUE A. (2000) — Les changements climatiques et leurs impacts. *Vertigo*. **1**

EMORI S., ET BROWN S.J. (2005) — Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate. *Geophysical Research Letters*. **32** : L17706

FREI C., SCHAR C., LUTHI D., ET DAVIES H.C. (1998) — Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophysical Research Letters*. **25** : 1431-1434

GRUM M., JORGENSEN A.T., JOHANSEN R.M., LINDE J.J. (2006) — The effect of climate change on urban drainage: an evaluation based on regional climate model simulations. *Water Science & Technology*. **54(6-7)** : 9-15

GUO Y. P. (2006) — Updating rainfall IDF relationships to maintain urban drainage design standards. *Journal of Hydrologic Engineering*. **11(5)** : 506-509

JOBIN D. (2001) — Impact & Adaptation of Drainage Systems, Design Methods & Policies. *Natural Resources Canada - Climate Change Action Fund: Impacts & Adaptation Contribution Agreement A330. Kijesipi, Gloucester, Canada*

LEMMEN D.S., WARREN F.J., LACROIX J., BUSH E. (2008) — *Vivre avec les changements climatiques au Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa*

MAILHOT A., DUCHESNE S. (2005) — Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain. *Vertigo*. **Hors-série**

MAILHOT A., DUCHESNE S., CAYA D., TALBOT G. (2007) — Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian regional climate model (CRCM). *Journal of Hydrologic Engineering*. **347(1-2)** : 197-210

MAILHOT A., DUCHESNE S., VILLENEUVE J.-P. (2007) — Les changements climatiques: enjeux et perspectives en matière d'infrastructures urbaines. *Contact Plus, la Revue de l'Association des Ingénieurs Municipaux du Québec*. **62** : 20-26

MAILHOT A., DUCHESNE S., LARRIVEE C., PELLETIER G., BOLDOC S., RONDEAU F., KUNGUMBI A., TALBOT G. (2008) — Conception et planification des interventions de renouvellement des infrastructures de drainage urbain dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques. *Rapport de recherche R-920, Institut national de la recherche scientifique. Centre Eau, Terre et Environnement, Québec*

MAILHOT A., DUCHESNE S. (2010) — Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change. *Journal of Water Resources Planning and Management*. **136** : 201-208

MAYELAN P., MUSY A. (1999) — *Hydrologie fréquentielle. HGA, Bucarest*

MEHDI B., MRENA C., DOUGLAS A. (2006) — S'adapter aux changements climatiques: Une introduction à l'intention des municipalités canadiennes. *Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), Québec*

UDIN L. (2008) — Incertitudes sur les paramètres des modèles Pluie-débit dans l'évaluation de l'impact du Changement Climatique. *Note d'avancement sur le projet REXHYSS*. 1-15

SEEE (2010) — *Seconde Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Secrétariat d'Etat Charge de l'Eau de l'Environnement, Rabat*

TRENBERTH K.E., DAI A., RASMUSSEN R.M., PARSONS D.B. (2003) — The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **84** : 1205-1217