

Modélisation de l'impact de la collecte des eaux pluviales sur l'atténuation des crues dans le bassin du Bouskoura et perspectives d'adaptation au changement climatique

Moulay Driss HASNAOUI¹, Ahmed BOUZIANE², Driss OUAZAR³, Mohamed ALAOU⁴,
Youness BOUDAOU⁵, Achraf HADINE⁶

^{1, 4} *Ministère Délégué auprès du Ministère de l'Energie des Mines de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau, Rue Hassan Ben Chekroun, Agdal-Rabat, Maroc - e-mail: hasnaouimd@gmail.com*

^{2, 3, 5, 6} *Laboratoire d'Analyse des Systèmes Hydrauliques (LASH), Ecole Mohammadia d'Ingénieurs(EMI), Université Mohammed V, Av Ibn Sina, BP765, Agdal – Rabat, Maroc - e-mail: ouazard@gmail.com*

RÉSUMÉ. – Pour faire face aux défis d'urbanisation et du changement climatique au Maroc, à l'initiative du département de l'eau, nous avons entamé ces dernières années une réflexion sur le développement de l'axe de la collecte des eaux pluviales (CEP). Le bassin du Bouskoura est pris comme pilote, retenu car une expérience intégrée peut être envisagée par sa forte urbanisation et industrialisation, doté d'infrastructures de taille tels que l'aéroport, l'autoroute, une promotion urbanistique en expansion et en même temps comprenant une partie rurale. La modélisation est faite à l'aide de modèles hydrologiques, HEC-HMS pour la reconstitution de l'hydrogramme théorique naturel faute de mesures hydrologiques sur le bassin et le modèle STORM pour étudier l'effet intégré des ouvrages de CEP sur les plans socio-économiques et environnemental du bassin et de sa dépendance de son environnement. Sur la base de simulations continues faites avec des données climatiques issues de modèles de ré-analyses en l'absence de données climatiques mesurées au sol, la modélisation a permis de mesurer l'impact de la gestion des eaux pluviales sur l'environnement de manière générale et sur le cycle hydrologique en particulier notamment par l'atténuation de l'ampleur des crues, l'économie dans la consommation de l'eau potable, l'impact de l'arrosage des espaces verts, de la recharge artificielle de la nappe et de la réduction des gaz à effets de serres. Ce travail constituera dans le futur un système d'aide à la décision pour suivre le développement durable de l'urbanisation dans ledit bassin.

Mots-clés : Collecte des Eaux Pluviales, Gestion Intégrée des Ressources en Eau in situ, Unité Hydrologique Homogène, Développement Durable des Bassins versants, Création d'espaces intelligents.

Modeling the impact of the rainwater harvesting on flood mitigation in the Bouskoura basin and its prospects adaptation to climate change

ABSTRACT. – To face the challenges of urbanization and climate change in Morocco, within the initiative of the Department of Water, we started working recently on the development of rainwater harvesting (RWH). The Bouskoura basin is the pilot site selected, because an integrated water resources management (IWRM) approach may be considered due to rapid urbanization and industrialization, and hosting wide facilities such as airport, highway, many expanding urban areas promotion and including 64% of rural areas. Hydrological modeling was carried out through HEC-HMS model for the reconstitution of theoretical natural hydrograph because of the lack of hydrological measurements and STORM model to study the integrated effect of the water harvesting facilities on the socio-economic and environmental aspects of the basin and its relationships with its environment. Continuous simulations are made based on data from climate models re-analysis because of the lack of ground measured climate data. Modeling was used to measure the impact of storm-water on the environment in general and on the hydrological cycle in particular including mitigation of flood magnitudes, the substantial drinking water costs reduction, the impact obtained from watering green spaces, the artificial recharge of the aquifer and the reduction of greenhouse effect gas emissions. We need to put emphasis on the fact that these in situ IWRM developed in this case, can lead to creation of smart spaces from smart projects through smart cities to smart watersheds. The results are promising and show that flood mitigation for the Bouskoura basin is 46% of the peak flow. The other advantages are of useful importance in domestic use, infiltration to the aquifer, etc. The impacts for each unit such as airport, roads, administrative or industrial buildings are measured in this case. We can conclude that if more space is urbanized more the impact is important. The information carried out will provide in the future a decision support system to monitor sustainable urbanization development in the basin.

Key-words: Storm water Harvesting, In situ Integrated Water Resources Management, Homogeneous Hydrological Unit, Sustainable Development of Watersheds, Smart Spaces.

I. INTRODUCTION

Le Maroc est un pays où la rareté des ressources en eau se fait de plus en plus sentir. D’ici 2025, la dotation par habitant descendra sous le seuil du stress hydrique des 500 m³/habitant/an avec l’effet de la croissance démographique. Il connaît une urbanisation conséquente provoquant une imperméabilisation du sol favorisant le ruissellement notamment dans les bassins urbains et la baisse importante des niveaux des nappes conjuguée à la surexploitation par les usagers agricoles. Alors, si on ajoute l’effet du changement climatique, qui entraîne à la fois deux phénomènes contradictoires : d’une part des sécheresses sévères et d’autre part des inondations intenses provoquant des dégâts importants, l’impact se trouvera ainsi aggravé davantage.

En fait, la diminution par habitant des ressources en eau au Maroc [Hasnaoui (2), 2011] est due à l’explosion démographique, au développement socio-économique, à l’impact des changements climatiques qui se ressent d’année en année, à la surexploitation excessive des ressources en eau notamment souterraines et aux pertes dans l’adduction, la distribution et l’usage de l’eau.

Ceci, nous incite de plus en plus à nous interroger sur la possibilité de recours à des ressources en eau alternatives. Dans cette optique, le développement des systèmes de collecte des eaux pluviales (CEP) est devenu une réalité incontestable.

Le présent article s’intéresse à l’aspect de la gestion in situ durable et intégrée de l’eau dans le bassin du Bouskoura. Nous allons évaluer les potentialités de la CEP dans ce bassin et illustrer l’impact de la mise en place de ces techniques à travers la modélisation hydrologique en perspectives d’atténuation des effets des inondations, d’économie de l’eau potable dans l’usage domestique, d’arrosage des espaces verts (AEV), d’alimentation artificiellement la nappe (RA), d’économie sur le dimensionnement d’ouvrages d’assainissement et d’eau potable, de rendre naturel le cycle hydrologique dans le bassin de manière générale, et de suivre, contrôler et maîtriser l’impact de l’urbanisation en particulier.

II. LOCALISATION DE LA ZONE D’ETUDE

Le bassin du Bouskoura est situé (figure 1) du côté de l’océan Atlantique du Maroc dans la partie Sud de la ville de Casablanca. La superficie du bassin versant s’étend sur environ 255 km². Le bassin est entre les Latitudes ou parallèles 32°10’ et 32°40’ et les Longitudes ou méridiennes 4° 00’ et 5°00’.

III. CARACTERISATION DE LA ZONE DU BASSIN VERSANT

La partie du bassin de Bouskoura objet de cette réflexion est situé à 10 Km au sud de Casablanca. Actuellement le bassin du Bouskoura est caractérisé par une faible urbanisation par rapport à sa surface totale, concentrée aux centres de Bouskoura et de Nouacer et par une dominance des surfaces destinées encore à l’agriculture. Au fil des années, sous l’effet de l’urbanisation, le lit de l’Oued Bouskoura en aval de la partie du bassin étudié a cédé la place à la ville. Mais à la périphérie sud de la métropole, l’oued Bouskoura est toujours présent et ce sont ses débordements en période de crue qui inondent la zone aval. Cependant, l’urbanisation future du grand Casablanca s’oriente vers le sud par le lancement de grands chantiers. En effet, le bassin du Bouskoura connaîtra d’année en année une intensification de l’urbanisation.

III.1. Aspects climatiques

Le climat, sous l’influence de l’océan atlantique, est caractérisé par une semi aridité favorable, dont la température peut atteindre en moyenne 13°C en hiver et 31°C en été. Le taux des précipitations annuelles est d’environ 350 mm.

III.2. Aspects topographiques et hydrologiques

Sur le plan topographique, le bassin du Bouskoura est doté d’un relief constitué de collines dont l’altimétrie varie entre 60 et 240 NGM. Faute de disponibilité, d’images satellites haute résolution nous avons digitalisé les courbes de niveaux et les points cotés de différentes cartes topographiques à 1/25000^{ème} couvrant ledit bassin [Guessous, 2012], [Djeri-Wake, 2012] et [Stoffner, 2012], pour générer le modèle numérique de terrain (MNT) de la figure 2a. Le bassin versant du Bouskoura est ainsi délimité au point exutoire de coordonnées X=290950 et Y=329730 (figure 2a) au niveau de son entrée dans sa partie aval où le réseau d’assainissement urbain avait pris place. Pour des besoins de spatialisation de l’analyse, le bassin est segmenté en 35 sous bassins (figure 2b).

Les principales statistiques des caractéristiques géométriques (superficies, périmètres, longueurs) et de pentes des sous bassins et cours d’eau ainsi que du temps de concentration sont déterminés pour l’ensemble des sous bassins. Les superficies des sous bassins versants sont d’une moyenne de 728 ha, les périmètres d’une moyenne de 17,2 km, des pentes d’une moyenne de 2,2%, des temps de concentration d’une

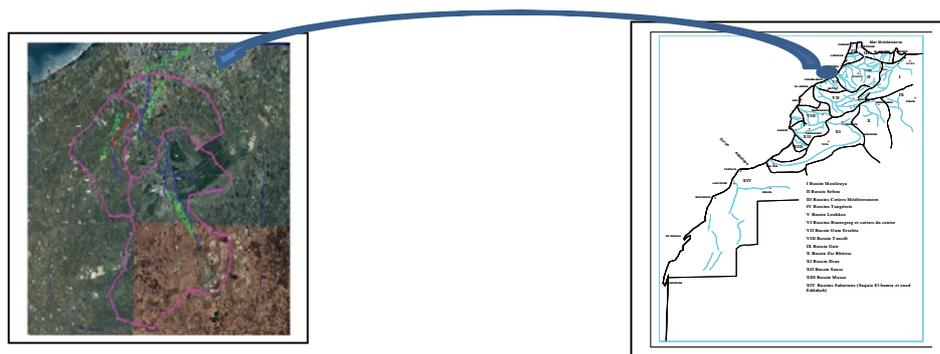


Figure 1 : Localisation géographique du bassin de Bouskoura.

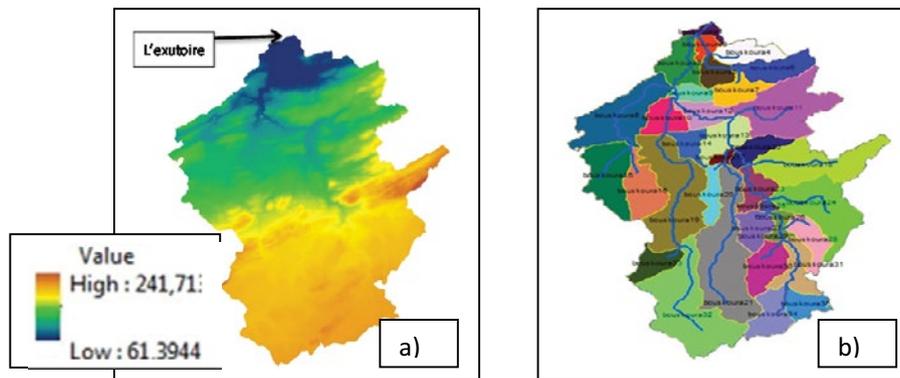


Figure 2 : a) limite et exutoire du bassin versant du Bouskoura et b) détermination des cours d'eau et délimitation des sous bassins.

moyenne de 250 minutes et des cours d'eau d'une longueur moyenne de 3, 2 km avec une pente en moyenne de 5%.

III.3. Aspects géologiques

Le bassin du Bouskoura se trouve en bordure de la plaine de Berchid [Ruhard,1975] où on rencontre des schistes siluriens et dévoniens intercalés de niveaux plus gréseux (quartzite) (primaire), qui apparaissent sous l'aspect de rochers (les sokhrate) très caractéristiques dans le paysage. On rencontre également des formations miocènes (au tertiaire et quaternaire) constituées de marnes sableuses fossilifères, attribuées au Vindobonien en particulier à proximité de l'hippodrome d'Anfa et du quartier l'Oasis en aval du bassin.

Le substratum imperméable n'est couvert que d'une épaisseur de sol de faible profondeur, entre 20 cm en collines à 1 m au niveau des berges des cours d'eau. Ce qui témoigne de l'existence de faibles réserves pour le stockage d'eau en souterrain.

III.4. Aspects sols, couvert végétal et occupation du sol : Unités Hydrologiques Homogènes (UHH)

Les sols dans le bassin sont à dominance sesquioxydes de fer dont la perméabilité se situe autour de 5,0 10⁻⁶ m/s selon des tests d'infiltration que nous avons effectué sur le terrain

[Guessous, 2012], [Djeri-Wake, 2012] et [Stoffner, 2012]. L'occupation du sol du bassin du Bouskoura est très variée avec une dominance agricole. Les différents types d'occupations ont été digitalisés à partir d'une image satellite. Les détails sur les différentes unités ont été déterminés sur des images «Google» (figure 3).

IV. METHODOLOGIE

Le bassin versant étant caractérisé par des UHH prenant en considération toutes sources de variation de sols, de pentes, de couvert végétal, d'infrastructure, d'occupation de sol, à travers, l'usage des informations cartographiques, des images satellites, des images «Google» ainsi que des systèmes d'information géographique (SIG).

La modélisation hydrologique (MH), en l'absence d'évènement averses-crues, a été faite à travers HEC-HMS et STORM pour mieux cerner les paramètres du ruissellement.

IV.1. Modèles hydrologiques utilisés HEC-HMS et STORM

HEC-HMS [US Army Corps of Engineers, 2001] est un logiciel de MH déterministe et conceptuel, considéré de nos jours comme universel. C'est un modèle distribué

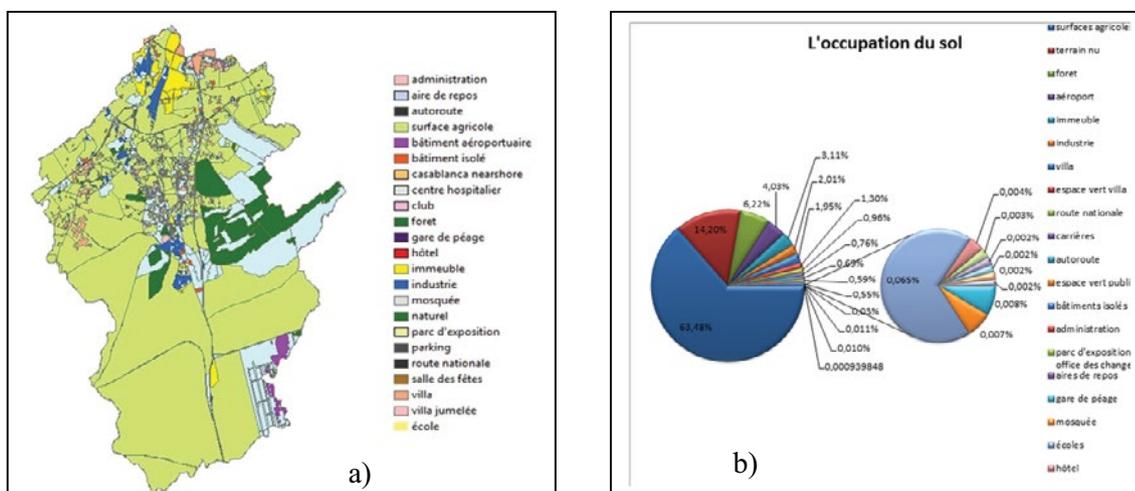


Figure 3 : a) Carte d'occupation du sol en UHH du bassin du Bouskoura et b) Importance en surfaces des différentes occupations (UHH).

(spatialisé) utilisé dans notre étude surtout pour modéliser l'écoulement naturel et de disposer d'une base de comparaison pour STORM. Ce dernier est un logiciel permettant de modéliser le cycle de l'eau avec des ouvrages de captages en milieu urbain. Il a été créé par le bureau d'étude allemand IPS par les Prof. Dr. Friedhelm Sieker et Dr. Heiko Sieker [Sieker F. et Sieker H., 2011]. La simulation STORM pour le bassin du Bouskoura a été faite avec et sans ouvrages de CEP [Boudaoud et Hadine, 2013].

La simulation sur STORM nécessite également la comparaison des données pluviométriques, de températures et d'évaporation. Pour l'évaporation et les températures, on s'est contenté de moyennes mensuelles interannuelles. La pluviométrie par contre a été traitée de manière très détaillée comme on le verra ci-après.

IV.2. TRAITEMENT PLUVIOMETRIQUE

IV.2.1. Calcul des relations intensité-Durée-Fréquence (I-D-F)

L'absence de données pluviométriques à des pas de temps fins (inférieurs à 24 heures) nous a poussé à rechercher l'information longue durée à partir des données de ré-analyse de modèles météorologiques (MM) au pas de temps journalier. Les séries de données pluviométriques utilisées proviennent des MM de l'Environnement Canada [Guillaume, 2013]. Le choix est fait sur le point le plus proche du bassin de Bouskoura ayant comme longitude = W 7.4799805 et latitude = N 33,439999 et le MM choisi est le modèle HADCM3Q0.

L'objectif est de reconstituer des précipitations de courtes durées (pas de temps horaire) à partir des précipitations journalières. L'approche utilisée et validée consiste en la création des données maximum annuelles sur des pas de temps de 1 à 10 jours. Les valeurs des périodes de retours de 2 à 200 ans ont été déterminées par l'ajustement à la loi de Gumbel. Ensuite pour chacune des périodes de retour la loi de Montana a été ajustée pour obtenir les relations I-D-F nécessaires à la formulation des averse de projets et par conséquent les paramètres de la loi de Montana a et b sont déterminés selon le modèle :

$$I(t, T) = a(T)t^{-b(T)} \quad \text{pour } t > 24 \text{ heures} \quad (1)$$

Où $I(t, T)$ indique l'Intensité de la pluie sur la durée t en minutes et de période de retour T ans, $a(T)$ et $b(T)$ les paramètres de la loi de Montana, t la durée de l'averse en minutes et T la période de retour en ans.

Le modèle (1) a été adopté pour $t < 24$ heures moyennant sa validation avec les IDF obtenues sur des données de courtes durées observées sur Casablanca. La comparaison entre les paramètres de Montana des IDF des deux sources de données pour les paramètres a et b montre que la valeur de b est en moyenne de -0,43 pour les observations au sol (Casablanca) et de -0,52 pour le MM soit une différence de 17,3 % tandis que la valeur de a à l'inverse présente une différence autour de 20% de moins pour le MM par rapport aux données observées pour Casablanca.

IV.2.2. Transformation des pluies journalières en pluies horaires

Pour des simulations continues par STORM, les relations I-D-F ont été utilisées pour transformer les pluies journalières du MM en pluies horaires selon la période de retour de chaque pluie journalière.

IV.3. Température et évaporation

Les données de température et d'évaporation sont considérées pour la simplicité de la simulation comme étant constantes sur toute la période de simulation. Ils sont pris comme des valeurs moyennes dans la région.

IV.4. Quelques bonnes pratiques (BP) de collecte des eaux pluviales

Les techniques utilisées sont amplement décrites et illustrées dans [Hasnaoui (1), 2011], [Konig, 2011] et [www.agire-maroc.org, 2011]. Les techniques utilisées en milieu urbain ont plusieurs objectifs : infiltration et RA des nappes, l'amélioration du taux d'évaporation, la satisfaction des besoins domestiques et enfin l'AEV et par conséquent l'atténuation des inondations.

En dehors des réservoirs de stockage (Métfia pour le Maroc et citernes ailleurs) pour la satisfaction des besoins domestiques et l'abreuvement du cheptel ou des dérivations au fil de l'eau pour l'épandage des crues ou la collecte des eaux souterraines par les systèmes de Khétara, les techniques utilisées en milieu rural concernent surtout la conservation de l'eau et du sol.

V. ANALYSE, DISCUSSION ET RESULTATS

Le bassin du Bouskoura étant subdivisé en UHH (voir §2.4., figure 3), la simulation est réalisée:

- pour l'ensemble du bassin pour mesurer l'impact global toutes UHH confondues ;
- pour chaque sous bassin (de 1 à 35) dans le but de connaître l'influence de l'ensemble des UHH de chaque sous bassin et identifier les zones à fort impact sur les écoulements ;
- pour l'ensemble des unités de chaque type d'infrastructure (UIH) (Industries, Aéroport, autoroutes, routes, établissements scolaires, administrations et bâtiments d'un certain type d'étages, villas d'un certain type, etc.) dans le but de mesurer l'importance de l'impact de chacune de ces unités prises séparément. L'objectif étant de spatialiser l'analyse en perspective de mettre en place un système d'aide à la décision (SAD) de suivi et de contrôle du développement de l'urbanisation dans le bassin.

V.1. Impact sur l'ensemble du bassin

La simulation continue avait montré que pour une crue importante identifiée en 2003 du 16 au 19 avril que les pratiques de la CEP permettent l'atténuation du débit de pointe. Le débit obtenu avec la mise en place des BP, a baissé jusqu'à 22,33 m³/s à l'exutoire alors que sans la mise en place d'ouvrages de CEP le débit est de 40,95 m³/s. La baisse du débit ruisselé est évaluée à 46 %. La figure 4 illustre les hydrogrammes : celui à l'état naturel (Courbe inférieure (C. inf.)), celui sans ouvrages de CEP (Courbe moyenne (C. Moy.)) et celui avec ouvrages de CEP (Courbe supérieure (C. sup.)).

Les résultats de l'impact de l'application des BP dans la zone urbanisée conduit :

- à l'infiltration d'un volume supplémentaire de 420 223 m³ chaque année à travers la totalité du bassin, dont 392 366 m³ rejoint la nappe phréatique à travers les éléments d'infiltration ajoutés, soit 92 % du volume total infiltré.
- Stockage d'un volume par an de 780 564 m³, une quantité importante qui permettra de couvrir en moyenne 79 % des besoins domestiques en eau des usagers.

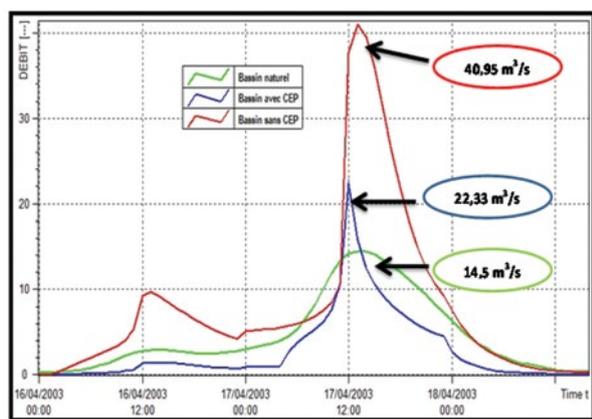


Figure 4 : Résultat de simulation continue sur l'ensemble du bassin avec extraction de la crue du 17 avril 2003.

La CEP dans le bassin du Bouskoura permettra d'économiser 79 % des besoins en eau domestique (eau potable) et donc d'épargner un volume de 780000 m³ sans compter les pertes dans les adductions de transferts du bassin du Bouregreg à 100 km au nord (à partir du Barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah) ou de l'Oum Errabia à environs 100 km au sud, les principales sources d'alimentation en eau du grand Casablanca. Ce volume sera réparti sur les UHH à hauteur de: 450000 m³/an pour les immeubles, 95661 m³/an pour les bâtiments isolés, 110148 m³/an pour les villas, 97170 m³/an pour l'aéroport, 40737 m³/an pour les industries et le reste pour les administrations, mosquées et hôtels, écoles, un centre hospitalier et un complexe sportif.

V.2. Impact des sous bassins

L'illustration est faite sur l'exemple du sous bassin Bouskoura N°13 (voir figure 2b) comme étant un bassin plus urbanisé et dont la composition détaillée en UHH est formée de zones agricoles, forêt, terrain nu, routes, autoroute et de zone urbanisée segmentée en ses moindre détails tels que les bâtiments isolés ou immeubles, les villas de différentes sortes, mosquées, écoles, centre hospitalier, industries de différentes natures, trottoirs, parking et espaces verts, etc.

En prévoyant des pratiques de CEP comme les billons dans les zones rurales, les citernes et les tranchées d'infiltration ou pavés drainants dans les zones urbaines, la simulation de la crue d'avril 2013 (figure 5), montre que

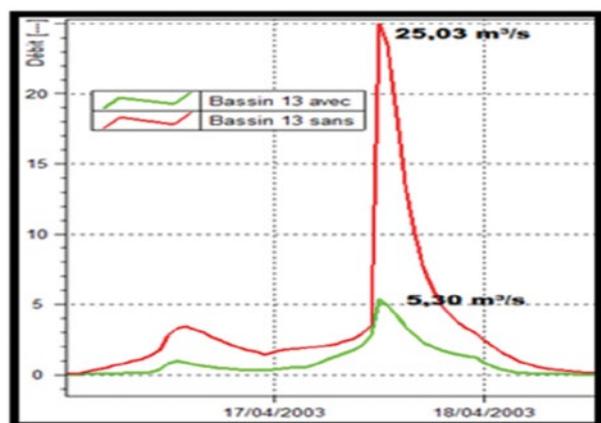


Figure 5 : Résultat de simulation de la crue d'avril 2003 pour le sous bassin N°13.

l'atténuation du débit de pointe avoisine les 80 % soit une baisse de 25 m³/s sans ouvrages de CEP (C. sup.) à 5,3 m³/s avec des ouvrages de CEP (C. inf.).

V.3. Impact global des unités de chaque type d'infrastructure

V.3.1. Impact des unités globales d'infrastructure homogène (UGIH)

Afin de mesurer l'impact des différentes UGIH à savoir en particulier celles des industries, des autoroutes, des routes nationales, des administrations, de l'habitat, ... relevées séparément montrent que les efforts de CEP permettront en plus de l'atténuation des crues comme le montre la figure 6 a à e, d'économiser les ressources en eau pour l'usage domestique et pour l'AEV et la contribution à la régénération du stock de la nappe éventuellement par la RA.

V.3.2. Impact particulier de l'unité (UGIH) Aéroport

Pour bien illustrer l'impact particulier des techniques de CEP sur la zone de l'aéroport, toutes les surfaces constituant l'aéroport ont été digitalisées en détail à savoir les pistes d'atterrissage, les terminaux, l'accueil VIP, les bâtiments aéroportuaires, les parkings et les espaces verts ainsi que le terrain nu. Nous avons réalisé une intégration des techniques de CEP pour cette unité à savoir pour l'atténuation des inondations, l'usage domestique, l'AEV, la RA de la nappe (infiltration) et la réduction de l'émission des gaz à effets de serres (GES).

L'impact sur l'atténuation des crues est illustré sur la figure 7. Il avoisine les 50% pour le débit de pointe et 67 % pour le volume de la crue d'avril 2003.

Les résultats obtenus sur les potentialités en volumes à collecter et à infiltrer pour les 13 ans de simulation entre 2000 et 2012 sont de 1263205 m³ dans des citernes de stockage et 2094423 m³ pour l'infiltration pour que la satisfaction des besoins domestiques soit de 34%.

Le volume moyen à stocker par année est de 97 170 m³. Ce volume, peut servir à arroser la totalité de l'espace vert associé à l'aéroport avec une dotation complémentaire de 1825 m³/ha/an (15 056 m³/8,25 ha/an) et permettra de satisfaire les besoins annuels en eau de climatisation pour les Terminaux 1 et 2 ainsi que pour l'accueil des personnalités importantes (VIP) avec un volume de 1095 m³/ha/an (5 080 m³/4,64 ha /an) ; le reste soit un volume de 77 034 m³ pourra servir à alimenter les chasses d'eau pour plus de 10 millions de passagers visiteurs.

V.3.3. Autres impacts

Par ailleurs, la CEP ne va pas seulement contribuer à préserver la zone aval des inondations, mais aussi elle va générer des gains financiers et environnementaux considérables.

En effet, en matière d'eau potable, l'économie d'un volume moyen de 780 564 m³/an à traiter dans la station du Bouregreg à Rabat qui fournit de l'eau potable à l'axe Salé-Casa, permettra, en plus de l'optimisation des bassins de traitement, un gain énergétique et une réduction des boues générées ainsi que des GES émis. Une estimation encore grossière de ces gains est donnés sur le tableau suivant.

VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

A travers cette réflexion, nous avons essayé d'appliquer une approche innovante pour le Maroc pour assoir les bases

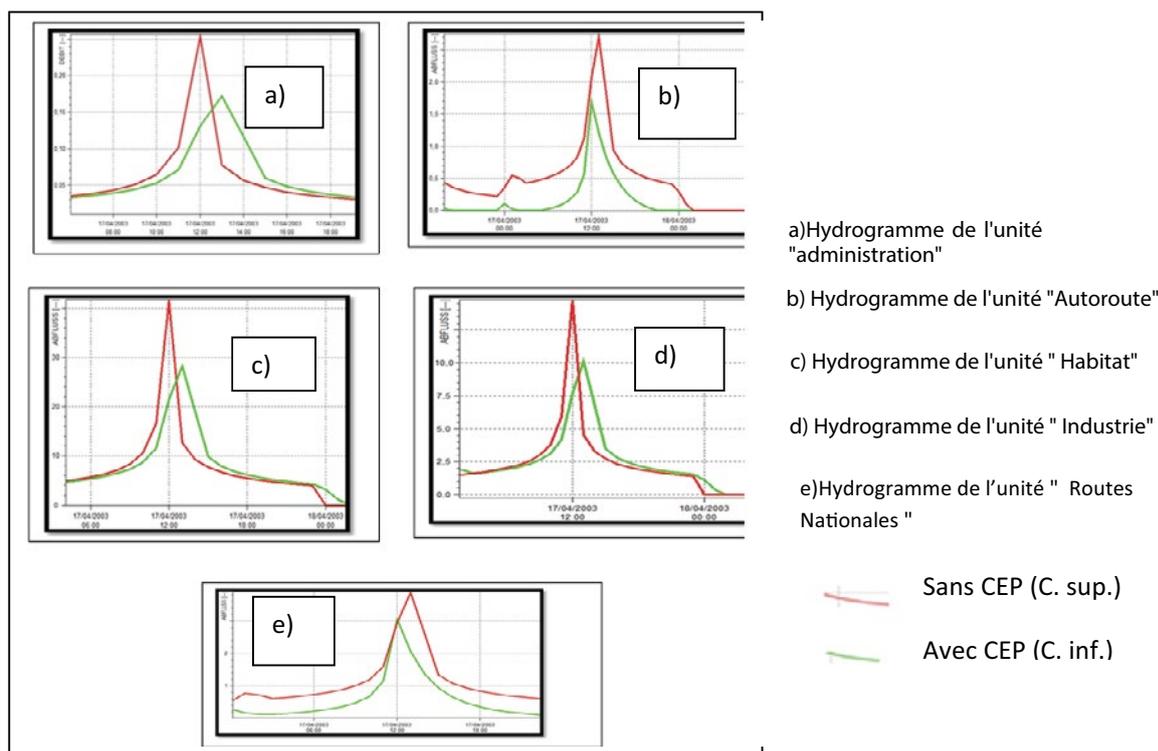


Figure 6 a,b,c,d et e : Hydrogrammes simulés sur les UGIH avec (C. inf.) et sans CEP (C. sup.).

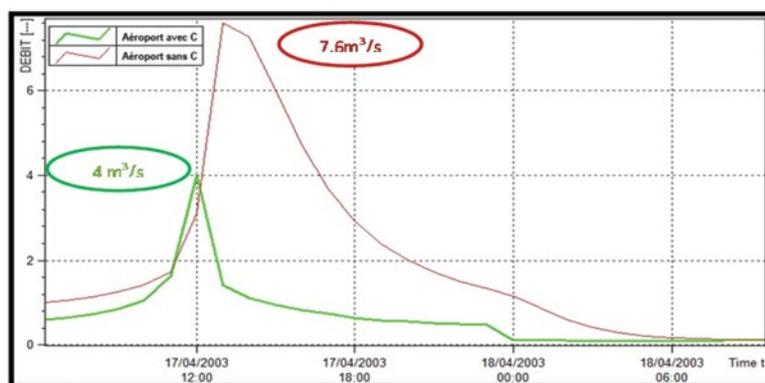


Figure 7 : Hydrogrammes simulés sur l'unité aéroport avec (C. inf.) et sans CEP (C. sup.).

Dépenses ou production	Unité		Gain/an
Énergie par m ³ produit	kWh/m ³	0,408	318 470 kWh
Dépense énergie par m ³ produit	Dh/ m ³	0,301	234 950 Dhs
Production des GES (production par énergie hydraulique)	gCO2eq/kWh	5	1,6 T CO2eq/kWh
Boues générés par m ³ produit par exemple	g/m ³	30	23,42 T

pour un DD des zones urbaines en particulier et des bassins versants en général connaissant une urbanisation importante et un développement socio-économique croissant. En visant la contribution à l'atténuation des inondations sur le bassin de Bouskoura, ladite réflexion a apporté une valeur ajoutée

quant à la gestion intégrée de l'eau de pluie in situ (GIRE) en adoptant une approche du bilan d'eau (ABE) [Sieker H., 2008].

Les résultats sont très prometteurs du point de vue économie de l'eau potable en utilisant l'eau de pluie pour

satisfaire des usages domestiques ne nécessitant pas l'eau potable, arroser des espaces verts, recharger artificiellement les nappes et contribuer à l'embellissement de nos villes par des bornes fontaines, des ruisseaux et/ou des bassins urbains auxquels on peut associer même une vie aquatique, tout en favorisant le taux d'évaporation pour alimenter l'atmosphère en humidité responsable des perturbations locales. Ainsi, la CEP génère des gains importants que ce soit aux niveaux financier, environnemental ou social. En effet, en plus de la réduction des émissions des GES principalement dans les industries, les débits de pointes des crues et leurs volumes se trouvent ainsi atténués pour non seulement rendre naturel le cycle de l'eau, les investissements dans les réseaux d'eau potable et d'assainissement, mais aussi des stations de traitement de l'eau potable ou de l'épuration des eaux usées sont suffisamment réduits, ainsi que les coûts des projets de transfert de l'eau potable pour l'usage domestique sur de longues distances.

En matière de GIRE à l'échelle globale jusque-là assez pratiquée, la GIRE in situ, doit occuper une place prépondérante les prochaines années. En effet, la GIRE in situ basée sur la CEP, contribuera à la création de projets et/ou d'espaces intelligents : bâtiments intelligents, villes intelligentes voir même bassins versants intelligents. C'est une approche concrète d'adaptation au changement climatique (ACC). Elle permettra d'atténuer par exemple le seuil du stress hydrique qui affectera en particulier le Maroc à partir de 2025. Par conséquent, son adoption s'impose de nos jours, dans l'aménagement des espaces urbains et ruraux sans qu'ils soient forcément menacés par les inondations. En effet, l'infrastructure de CEP, devra, dorénavant, faire partie de l'infrastructure de base en promotion immobilière (en création de nouvelles villes, en extensions urbaines ou dans la mise en place de l'infrastructure touristique), en équipement du territoire (Routes, autoroutes, industries, etc.) et surtout des habitudes de gestion de l'eau chez soi et de développement d'une réelle éthique d'utilisation de l'eau (EUE) dans la société même dans le cas d'abondance de cette ressource précieuse.

Pour un développement rationnel de la CEP, d'autres mesures d'accompagnement sont nécessaires à savoir: une adaptation intégrée et non sectorielle des législations et règlements (les lois de l'eau, de l'environnement, de l'urbanisme et de l'aménagement de l'espace, du développement rural ainsi que la charte communale [Hasnaoui, 2013]), une sensibilisation grand public et la création de profils de cadres du DD par la dispense d'une formation adaptée.

Enfin, à l'issue de cette réflexion, nous disposons des éléments pertinents pour développer une prise de conscience chez le citoyen et le décideur, élaborer une stratégie de DD du secteur de la CEP et, comme valeur ajoutée particulière, élaborer un SAD pour la gestion de l'urbanisation et du développement socio-économique du bassin du Bouskoura.

VII. REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance au support :

— De la Coopération Allemande GIZ sur le Programme d'appui à la gestion intégrée des ressources en eau (AGIRE) du Ministère Délégué auprès du Ministère de l'Energie des Mines de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau du Maroc.

— De l'Initiative IRIACC sur le projet intitulé FACE : Mieux s'adapter au changement climatique au Canada et en Afrique de l'Ouest, projet numéro : 106372-013 de l'Ecole Mohammadia d'Ingénieurs (EMI) de l'Université Mohamed V Agdal, Rabat
— Ainsi que de l'Agence du Bassin Hydraulique (ABH) du Bouregreg-Chaouia.

VIII. REFERENCES

- BOUDAUD Y., HADINE A. (2013) — *Conception et Dimensionnement des Ouvrages de Collecte des Eaux Pluviales dans le bassin du Bouskoura, Projet de Fin d'Etudes (PFE), EMI, Rabat, Maroc*
- DIJER-WAKE L. (2012) — *Conception et Dimensionnement des Ouvrages de Collecte des Eaux Pluviales dans le bassin du Bouskoura, Projet de Fin d'Etudes (PFE), Faculté des Sciences et Techniques de Mohammadia, Mohammadia, Maroc*
- GUESSOUS Y. (2012) — *Conception et Dimensionnement des Ouvrages de Collecte des Eaux Pluviales dans le bassin du Bouskoura, Projet de Fin d'Etudes (PFE), EMI, Rabat, Maroc*
- HASNAOUI M. D. (2011) — (1) La collecte des eaux pluviales vers une stratégie pour le Maroc. *GIZ- Atelier sur le captage et l'utilisation des eaux pluviales, programme d'Appui à la Gestion intégrée des ressources en Eau (AGIRE) Maroc, 2-3 Février 2011, Agadir, Maroc*
- HASNAOUI M. D. (2011) — (2) Climate change, impact and adaptation in Morocco, water resources management for attenuation and perspectives of development. *International Conference on Climate Change in the MENA Region, Berlin, Germany, April. 28-29*
- HASNAOUI M. D. (2013) — Report of the workshop on awareness campaign and capacity building for legislators (National Assembly Members) and other stakeholders in the water sector on the utilization, management and protection of the Gambia Basin. *Workshop ISESCO, 28th – 30th Mai, Banjul, Gambia. 76 pp*
- KONIG W. K. (2011) — Système domestique de captage des eaux pluviales- techniques et exemples internationaux. *Atelier sur le captage et l'utilisation des eaux pluviales, GIZ- programme AGIRE Maroc, 2-3 Février 2011, Agadir, Maroc*
- RUHARD J. P. (1975) — *La plaine de Berchid et la basse Chaouia entre Casablanca et Mohammedia, Plaines et Bassins du Maroc Atlantique, Ressources en Eau du Maroc, Ministère des Travaux Publics et des Communications, Direction de l'Hydraulique, Division des Ressources en Eau, Edition du Service Géologique du Maroc. 37 pp*
- SIEKER F., SIEKER H. (2011) — *STORM copyright 1999-2011. Ingenieurgesellschaft, mbH*
- SIEKER H., ZWEYNET U. (2008) — Water balance approach to urban planning. *Third SWITCH Scientific Meeting, Belo Horizonte, Brazil*
- STOFFNER F. (2012) — *Conception et Dimensionnement des Ouvrages de Collecte des Eaux Pluviales dans le bassin du Bouskoura. Mémoire de Master, Institut für geographische Wissenschaften, Freie Universität Berlin, Berlin, Allemagne*
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2010) — *Hydrologic Modeling System-Hydrologic Engineering Center (HEC-HMS 3.5), Institute For Water Resources, August 10th, 2010*
- WWW.AGIRE-MAROC.ORG (2011) — *Atelier sur le captage et l'utilisation des eaux pluviales. Programme AGIRE Maroc, 2-3 Février 2011, GIZ, Agadir, Maroc*