USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE DU MAROC

CONCEPTS DE BASE DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

APPORTS ET PRINCIPES D'UTILISATION DES OUTILS HEC, HEC-HMS ET HEC-RAS, PLATEFORME D'INTEGRATION WMS ET OUTIL RIBASIM

FASCICULE 0 : CONTEXTE ET PREAMBULE GENERAL

DATE : JUIN 2013 **MEC DOCUMENT 136fr**

Ce document a été préparé par DAI pour évaluation par l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID).

COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE DU MAROC

CONCEPTS DE BASE DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

APPORTS ET PRINCIPES D'UTILISATION DES OUTILS HEC, HEC-HMS ET HEC-RAS, PLATEFORME D'INTEGRATION WMS ET OUTIL RIBASIM

FASCICULE 0 : CONTEXTE ET PREAMBULE GENERAL

Soumis à USAID/Maroc, Bureau de croissance économique - Objectif d'aide n° 3 : Réduction des barrières au commerce et à l'investissement

Par DAI

Numéro de contrat : EEM-I-00-07-00009-00 : Ordre de mission : EEM-I-07-07-00009

L'opinion de l'auteur de ce document engage uniquement la responsabilité de ce dernier et ne reflète pas nécessairement le point de vue de l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) ni celui du Gouvernement des États-Unis

Programme Compétitivité Economique du Maroc

8, rue du Rif

Souissi

10 000 Rabat

Maroc

Tel: (212) 05 37 63 05 59

Fax: (212) 05 37 63 05 61

andrew_watson@dai.com

Http://www.mecprogram.ma

SOMMAIRE

Contexte 1

Préambule Général/Introduction 5

La modélisation hydrologique 5

Le laminage hydrologique (Flood Routing) 5

La modélisation hydraulique 6

Objectifs des études hydrologiques et hydrauliques 6

Modèles hydrologiques et hydrauliques 7

Organisation des tutoriels/guides 8

Fascicule 1 Introduction à la Modélisation en Hydrologie 8

Fascicule 2 Modélisation en Hydrologie - HEC HMS 8

Fascicule 3 Modélisation en Hydraulique - Régimes Permanents 8

Fascicule 4 Modélisation en Hydraulique - Régimes Non Permanents 8

Fascicule 5 Modélisation en Hydraulique HEC RAS 8

Fascicule 6 Plateforme WMS 8

Fascicule 7 Outil de planification et simulation RIBASIM 8

CONTEXTE

L'Agence de Bassin Hydraulique de la Moulouya est le principal organisme public chargé de la planification des ressources hydriques et la gestion au niveau du bassin hydrographique. Ses principales tâches sont :

- Production en quantité et qualité des ressources en eau et de surveillance de la qualité, y compris les eaux de surface et les eaux souterraines ;
- Évaluation périodique des ressources en eau au niveau du bassin hydrographique ;
- Planification des ressources hydriques et affectation aux différents secteurs utilisateurs: l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable et industrielle, etc.
- Application des dispositions du droit de l'eau pour assurer la gestion appropriée des ressources en eau ;
- Mise en place d'une base de données sur les ressources en eau au niveau du bassin hydraulique.

L'ABHM dispose d'un système d'information qui a été constitué au fur et à mesure de son développement depuis sa création au cours des dernières décennies pour répondre aux besoins spécifiques de certains projets ou suite à la demande de ses partenaires. L'ABHM a accumulé d'importantes bases de données sur les ressources en eau qui devrait l'aider à planifier et à gérer correctement les ressources en eau au niveau du bassin. Mais les bases de données actuelles ne sont pas encore bien organisées et l'acquisition de données, le traitement et l'exploitation sont encore insuffisants et souvent très pénibles.

Compte tenu de la complexité des questions sur lesquelles l'ABHM est interpellée (Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE), Maîtrise de l'impact de l'agriculture irriguée sur l'environnement…. etc.), et de l'intégration des systèmes d'information sur l'eau imposée par la nécessité de la GIRE, le système existant est appelé à évoluer pour répondre au mieux aux préoccupations de temps de réponse dans le traitement de l'information, de communication et d'échange d'information en interne et avec l'extérieur…etc.

Les prérequis pour une gestion efficiente de l'eau sont :

- Maîtrise des données scalaires et spatiales à une certaine résolution;
- Connaissance approfondie des processus: Échelles temps et espace ;
- Ensemble/Jeu de Modèles mathématiques ;

- Autres outils d'aide à la prise de décision (Analyse des données, Exploration des données, etc.) ;
- SI : Intégration Données -SIG -Modèles- Connaissances.

Un élément important d'un système d'information de ressources en eau est la connaissance des caractéristiques du système hydrologique, notamment :

- bassins et sous-bassins,
- ruisseaux et réseau hydrographique,
- aquifères,
- plaines inondables,
- entrepôts/carrières,
- zones humides,
- divers usages de l'eau,
- décharges,
- autres écosystèmes (SIBE, etc.)

Pour améliorer l'organisation et la gestion des informations sur l'eau dans le Bassin de Moulouya, l'ABHM souhaiterait dans le cadre du projet MEC :

- capitaliser et mettre en cohérence l'ensemble des informations existantes;
- améliorer la qualité de l'organisation de l'information, et d'analyse des données;
- développer davantage la représentation cartographique et l'analyse spatiale des données sur l'eau au bassin de la Moulouya;
- rendre l'information accessible à divers degrés (Intranet et Internet),
- organiser le partage de l'information grâce à l'échange d'information sous Internet notamment avec l'ORMVAM.

Dans le cadre du Projet MEC financé par l'US AID, un programme de renforcement des capacités de l'ABHM avec un accent particulier sur les systèmes d'information a été mis en œuvre pour les aider à mieux gérer l'eau dans la région de Moulouya.

Le projet comporte cinq volets d'activités interconnectées :

- Activité 1: diagnostic comprenant l'étude de l'existant en matière de l'utilisation de des technologies de l'information et de la communication en général, et des Systèmes de Gestion

de Bases de Données (SGBD), des Systèmes d'Information, des Systèmes d'Information Géographique (SIG), ou de Systèmes d'Aide à la Prise de Décision basés sur des critères ou des Modèles (SAPD), ainsi que l'analyse participative des contraintes et des opportunités des systèmes irrigués.

- Activité 2: sur la base des données et des connaissances obtenues par l'activité 1, élaborer une vision stratégique d'implémentation d'un SIG Eau à l'ABHM de l'initiation à la mise en œuvre pratique sur toute la zone ABHM.
- Activité 3: aide au choix et à l'acquisition des outils matériels et logiciels de base (stations de travail SIG, GPS PDA, Arc GIS et Arc Pad)
- Activité 4: renforcement des capacités en termes d'apprentissage des outils spatiaux SIG, GPS et cartographie numérique, synthèse, communication et diffusion des leçons apprises de l'expérience et des enseignements issus de la mise en œuvre de projets pilotes choisis par les apprenants, modélisation et simulation hydrologique et hydraulique.
- Activité 5: élaboration d'un manuel de procédures et d'orientations stratégiques pour une vision d'un SIG global et durable Eau multi-objectifs.
- Activité 6: élaboration d'une série de guides et manuels sur les aspects modélisation et simulation des systèmes hydrologiques et hydrauliques : objet de cette série de fascicules.

Dans le cadre de cette série, on aborde les aspects liés à la complexité de la modélisation et la simulation des systèmes hydrauliques depuis la problématique des données objet de rapports précédents, les aspects processus physiques, les méthodes et modèles les plus communément utilisés notamment la suite HEC (HEC HMS, HEC RAS, HEC DSS View, ainsi que la plateforme d'intégration WMS. Un outil de planification et simulation (RIBASIM) sera aussi pleinement démontré.

En parallèle des formations spécifiques sont planifiées et des cas spécifiques pédagogiques et réels dans la région Moulouya sont illustrés et traités par les participants avec un accompagnement régulier pour un vrai transfert de connaissances et pratiques. L'idée globale est de leur apprendre à apprendre par eux mêmes.

Dans ces tutoriels, on donne les concepts de base de la modélisation et la simulation avec un accent particulier sur la modélisation hydrologique et hydraulique et une brève description des modèles mentionnés. On conclue par la présentation de la plateforme WMS intégrant les deux modèles dans un environnement à base géographique.

Ces tutoriels sont organisés comme suit :

Fascicule 1 Introduction à la Modélisation en Hydrologie

Fascicule 2 Modélisation en Hydrologie - HEC HMS

Fascicule 3 Modélisation en Hydraulique Régimes Permanents

Fascicule 4 Modélisation en Hydraulique Régimes Non Permanents

Fascicule 5 Modélisation en Hydraulique HEC RAS

Fascicule 6 Plateforme WMS

Fascicule 7 Outil de planification et simulation RIBASIM

PREAMBULE GENERAL/INTRODUCTION

Une approche de résolution de problèmes quasi universelle dans le domaine de l'ingénierie est de considérer un problème important (système) et le subdiviser en composants (sous-systèmes). Cette méthode d'analyse suppose que les composants sont plus gérables pour analyser et conduire à la résolution du plus grand problème plus efficacement et peut-être avec plus de précision.

Cette méthode de déconstruction d'un problème est parfois utilisée dans le domaine de l'hydrologie et de l'hydraulique. Dans une étude hydrologique, un bassin versant est délimité et analysé afin de déterminer l'hydrogramme de sortie qui sera produit sous des conditions météorologiques spécifiques.

LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE

La modélisation hydrologique est l'utilisation des mathématiques pour représenter l'écoulement de l'eau dans un bassin versant. Le bassin reçoit généralement de l'eau sous forme de précipitations. Une bonne partie de l'eau se déplace à travers le bassin versant via un réseau de cours d'eau et sort à un exutoire. L'eau peut également être accumulée dans les zones de stockage dans le bassin versant. La modélisation d'un système hydrologique peut être utile pour simuler ces différents processus précipitations-ruissellement (pluie-débit) dans un bassin versant. Les données peuvent être collectées et utilisées comme des éléments importants pour un modèle, tels que les précipitations et les données de jaugeage des cours d'eau. Ces données d'entrée sont combinées avec les processus hydrologiques différents, y compris des méthodes de routage, de perte et de méthodes de transformation. Ces modèles produisent une estimation du volume et du débit d'écoulement à différents éléments du bassin versant.

LE LAMINAGE HYDROLOGIQUE (FLOOD ROUTING)

Le laminage hydrologique (Flood Routing) est souvent utilisé pour étudier la propagation du débit dans un cours d'eau.

Le laminage hydrologique est une méthode mathématique pour prédire le changement de la taille et de la vitesse d'une onde de crue qui se propage le long des rivières ou à travers des réservoirs. C'est utile pour comprendre l'ensemble du mouvement de l'eau à partir de la pluie pour créer le ruissellement. Le laminage est essentiellement utilisé pour déterminer la vitesse d'écoulement instationnaire, le long d'un cours d'eau. Dans la plupart des cas, Le laminage hydrologique est utilisé

pour les bassins et les réservoirs de stockage. Essentiellement, l'équation de continuité est appliquée pour indiquer un stockage entre l'amont et les conditions en aval. Différentes méthodes ont été développées. En fonction de la méthode de calcul utilisée soit pour le laminage réservoir ou canal, la procédure de laminage peut être modifiée. La méthode de Muskingum est la plus couramment utilisée ; mais d'autres variantes existent.

LA MODÉLISATION HYDRAULIQUE

Les avantages et limites de l'approche laminage hydrologique (Flood Routing) sont bien connus. Dans certaines circonstances, les niveaux d'eau constituent un élément primordial pour la prévision des inondations, la gestion des cours d'eau et des plaines inondables, ainsi que pour la conception de certains ouvrages hydrauliques. L'approche hydraulique, devient alors incontournable et nécessaire pour le calcul des hauteurs d'eau atteintes par l'écoulement sous des conditions bien spécifiques

La modélisation hydraulique est l'utilisation des mathématiques pour représenter un système et faire des calculs pour estimer les composantes du mouvement des eaux dans le système, y compris l'écoulement, les élévations de la surface de l'eau, et la vitesse. Contrairement à un modèle hydrologique, un système hydraulique modèle peut intégrer différentes structures existantes (par exemple, pont / ponceau, barrage, ou station de pompage) le long de voies d'eau et permet de calculer le débit à travers ou autour de la structure, ce qui est utile pour la détermination de la performance relative de la structure en question. Un modèle hydraulique est également utile pour comprendre ce qui se passe à des profils distincts au sein du système et aussi à différents intervalles de temps, comme dans la modélisation en régime non permanent.

OBJECTIFS DES ÉTUDES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

Les eaux de ruissellement des bassins versants peuvent être fortement affectées par de nombreuses variables, y compris les précipitations et les effets de stockage également au sein du bassin versant. Il est donc nécessaire de comprendre à partir de quelle hauteur de précipitations sur un bassin versant, il y a une transformation en écoulement direct. La sélection d'une méthode de transformation appropriée pour la modélisation des processus hydrologiques devient importante parce que la méthode affecte le débit indiqué pour un sous-bassin spécifique ou un bief. Si ces débits sont en outre utilisés pour le routage hydraulique, alors l'élévation de la surface de l'eau peut être simulée pour le cours d'eau. Dans l'ensemble, ce qui signifie que l'amélioration de la prévision des écoulements dans un bassin versant et les élévations de la surface de l'eau dans un cours d'eau peuvent être analysées et peuvent être pris en compte lors de l'élaboration d'un plan de drainage.

Il est important de comprendre comment le processus global de détermination de la fréquence d'analyse peut influencer la précipitation estimée sur un bassin versant pour une période de temps donnée. En raison des différents champs d'application de ces différentes méthodes d'estimation de

fréquence des précipitations, l'effet que ces différentes estimations ont sur les élévations des eaux de surface et autres sorties hydrologiques et hydrauliques, est incertain. En examinant les différences entre les deux méthodes d'analyse de la fréquence et en utilisant les précipitations qui en résultent comme entrées dans les deux modèles hydrologiques et hydrauliques, les effets sur le drainage et l'ensemble des prédictions de risques d'inondation peuvent être analysés. Ces modèles hydrologique et hydraulique peuvent être vérifiés avec une précision relative en comparant les pics de sortie simulés et les élévations de la surface de l'eau avec des données réelles observées recueillies à partir d'un jaugeage du cours d'eau.

MODÈLES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

L'étude et la représentation des inondations sont réalisées en utilisant deux types de modèles: hydrologique et hydraulique.

La modélisation hydrologique simule la réponse hydrologique (débit) d'un bassin à une entrée donnée de la pluie. HEC-1 et HEC-HMS sont couramment utilisés pour les simulations hydrologiques. La modélisation hydraulique simule la réponse hydraulique (axes hydrauliques ou lignes d'eau en régime permanent et transitoire) d'un courant à une entrée donnée de débits. HEC-2 et HEC-RAS sont les deux modèles hydrauliques les plus fréquemment utilisés.

Les deux modèles hydrologiques et hydrauliques sont nécessaires pour procéder à l'analyse détaillée des crues dans un bassin versant

OUTIL DE PLANIFICATION ET SIMULATION

RIBASIM est un outil de simulation de bassins versants, développé et maintenu par WL | HYDRAULICS DELFT. RIBASIM est principalement utilisé pour la simulation du comportement des bassins fluviaux de conditions hydrologiques diverses. Le modèle lie l'approvisionnement en eau et la demande en eau à différents points d'intérêt dans le bassin et évalue une série de mesures liées à l'infrastructure et à la gestion opérationnelle et de la planification. RIBASIM (figure 1) est conçu pour le stockage et l'analyse des données des systèmes de ressources en eau.

RIBASIM a été utilisé et appliqué dans divers projets à travers le monde. RIBASIM propose des outils d'analyse, graphiques, conviviaux, sous Windows qui peuvent être utilisés dans des applications différentes. Le modèle est flexible pour la gestion des données et de l'application d'une série d'analyses et modèles de calcul. RIBASIM dispose de modules et d'outils pour simuler différents processus à l'échelle du bassin. Il dispose d'outils pour l'exploitation des réservoirs, l'utilisation de l'eau d'irrigation, les besoins en débit d'assainissement et débits d'environnement. La plate-forme RIBASIM est constituée de trois sous-systèmes qui reposent sur une interface graphique conviviale qui comprend des cartes, des graphiques, des fenêtres et d'icônes. Ces sous-systèmes sont les suivants:

- Un système de base de données: Ce sous-système comprend des composantes d'hydrologie, climat, démographie, infrastructures, utilisation et occupation des terres, donné sur les cultures et les règles de gestion des ressources en eau l'eau de l'ensemble du bassin.
- Les outils de simulation et planification: Ce sous-système comprend une série d'outils pour modéliser les processus hydrologiques pluie-débit; calculer la demande d'irrigation pour l'agriculture et l'irrigation; simuler l'allocation et la répartition de l'eau pour les usagers de l'eau; et calculer la production énergétique et les coûts de production pour toutes les centrales hydroélectriques dans le bassin.
- Les outils d'analyse: Ce sous-système contient des outils pour analyser, visualiser et interpréter les résultats en utilisant l'analyse de cas, présentation graphique et la gestion des cas.

RIBASIM calcule la distribution de l'eau dans le réseau de distribution principal et à l'intérieur des périmètres en simulant les débits et flux dans la rivière et les canaux de distribution, l'exploitation et opération des réservoirs (y compris la production d'hydroélectricité), et les ouvrages de dérivation. Le modèle simule l'allocation de l'eau aux usagers de l'eau dans les périmètres de l'eau et à l'intérieur d'un bassin hydrographique. L' attribution et allocation sont basées sur: 1) la demande en eau de tous les usagers de l'eau prenant/ayant de l'eau du système principal de distribution(réseau), 2) la disponibilité en eau (approvisionnement), 3) les caractéristiques du système de distribution et des installations de stockage (infrastructure), 4) règles de fonctionnement du système de distribution et des installations de stockage comme des réservoirs, canaux, pompes, barrages et siphons, et 5) les règles de gestion (priorités d'allocation).

RIBASIM adresse les questions liées à la planification de nombreux scénarios de développement futur, le changement climatique, l'expansion agricole et le développement industriel.

ORGANISATION DES TUTORIELS/GUIDES

Ces tutoriels sont organisés en fascicules comme suit :

Fascicule 1 Introduction à la Modélisation en Hydrologie

Fascicule 2 Modélisation en Hydrologie - HEC HMS

Fascicule 3 Modélisation en Hydraulique - Régimes Permanents

Fascicule 4 Modélisation en Hydraulique - Régimes Non Permanents

Fascicule 5 Modélisation en Hydraulique HEC RAS

Fascicule 6 Plateforme WMS

Fascicule 7 Outil de planification et simulation RIBASIM